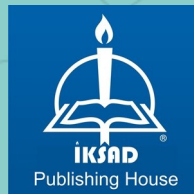


YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER VE BİLİMSEL ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜLDAL



YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER VE BİLİMSEL ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜLDAL

YAZARLAR

Prof. Dr. Gencay SARIİŞİK

Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ

Prof. Dr. Ramazan KATIRCI

Doç. Dr. Aslı GİRAY

Doç. Dr. İrfan UÇKAN

Doç. Dr. İsmail TOPCU

Doç. Dr. Onur SEVLİ

Dr. Öğr. Üyesi Javad JANGI GOLEZANI

Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Şafak ATAŞ

Öğr. Gör. Taner DİNDAR

Arş. Gör. Taha OĞUZ

Ahmet Berk EZBER

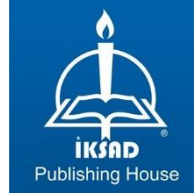
Fatma Nur ERDOĞMUŞ

Mahmut EV

Melis ÖDER

Oğuz ÖZYOLDAŞ

Süleyman ERTEN



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 Publisher: 2014/31220)
TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2023©

ISBN:978-625-367-325-3
Cover Design: İbrahim KAYA
October / 2023
Ankara / Turkey
Size = 16x24 cm

İÇİNDEKİLER

EDİTÖRDEN / ÖNSÖZ

Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜLDAL.....1

BÖLÜM 1

KOMPANZASYON ÖNEMİ VE ÖRNEK HESAPLANMASI

Öğr. Gör. Taner DİNDAR, Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ.....5

BÖLÜM 2

TIBBİ GÖRÜNTÜ ANALİZİNDE AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKA ÜZERİNE ÇALIŞMALARIN BİR İNCELENMESİ

Mahmut EV, Doç.Dr. Onur

SEVLİ.....19

BÖLÜM 3

DESİKANT NEM ALMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ ve UYGULAMALARI

Doç. Dr. İrfan UÇKAN.....59

BÖLÜM 4

YAPAY ZEKA ve BİLİNÇLİ BEYİN DALGALARI

Doç. Dr. Aslı GİRAY.....79

BÖLÜM 5

KABLOSUZ HABERLEŞMEDE KULLANIM ALANI OLAN In KATKILI $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ (BZN) MİKRODALGA MALZEMELERİN KARAKTERİZASYONU

Doktora Öğrencisi Oğuz ÖZYOLDAŞ.....101

BÖLÜM 6

A356 ALAŞIMININ ISIL İŞLEM YÖNTEMİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Doç. Dr. İsmail TOPCU.....115

BÖLÜM 7

SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ve ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ULUSLARARASI STANDART ve YÖNETMELİK KRİTERLERİ DOĞRULTUSUNDA İNCELENMESİ

Süleyman ERTEN, Fatma Nur ERDOĞMUŞ, Melis ÖDER, Ahmet Berk EZBER, Dr. Öğr. Üyesi Şafak ATAŞ, Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ.....133

BÖLÜM 8

ENDÜSTRİYEL SERAMİK SOFRA EŞYASI ÜRETİMİNDE BÜNYE KOMPOZİSYONLARININ GELİŞTİRİLMESİ

Prof. Dr. Gencay SARIŞIK.....153

BÖLÜM 9

MİKRODALGA MEME KANSERİNİN GÖRÜNTÜLENMESİNDE KULLANIM İÇİN ATEN TASARIMI

Dr. Öğr. Üyesi Javad JANGI GOLEZANI.....175

BÖLÜM 10

KROM KAPLAMA TEKNOLOJİSİ ve ANALİTİK İNCELENMELERİ

Prof. Dr. Ramazan KATIRCI, Arş. Gör. Taha OĞUZ.....195

BÖLÜM 11

ELEKTROKAPLAMA İLE NİKEL KAPLAMA

Prof. Dr. Ramazan KATIRCI, Arş. Gör. Taha OĞUZ.....219

ÖN SÖZ

Bu kitap, çok çeşitli teknik konuları ele alan bir derlemedir ve çeşitli uzmanlık alanlarını kapsayan önemli bilgiler sunar. Kitap, elektrik enerjisi kompanzasyonundan başlayarak, desikant nem alma sistemlerine, malzeme karakterizasyonundan yapay zekanın tıp alanındaki uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede konuları içermektedir. Her bölüm, konusunda uzman yazarlar tarafından kaleme alınmış ve güncel araştırmaları temel alarak hazırlanmıştır. Bu kitap, endüstri profesyonelleri ve akademisyenler için değerli bir referans kaynağıdır ve farklı teknik konuları ele alan birçok perspektifi bir araya getirerek okuyuculara zengin bir bilgi sunar.

"Kompanzasyon Önemi ve Örnek Hesaplaması" başlıklı bu bölüm, elektrik enerjisi kompanzasyonunun önemini ve örnek hesaplamalarını içerir. Faz kaymalarını düzeltmek ve güç faktörünü artırmak amacıyla kullanılan bu yöntemi açıklar. Bireysel, grup ve merkezi kompanzasyon türlerini ele alır ve hesaplama parametrelerini anlatır. Aşırı kompanzasyonun zararlarına da değinir.

"Tıbbi Görüntülerde Açıklanabilir Yapay Zeka Konulu Çalışmaların İncelemesi" başlığı altında, tıp alanındaki derin öğrenme ve açıklanabilir yapay zeka (XAI) araştırmalarını özetliyor. Özellikle COVID-19 ve tıbbi görüntü analizi konularına odaklanıyor. Araştırmalar, derin öğrenme modellerinin tıp uygulamalarındaki önemini gösteriyor ve açıklanabilir modellerin doktorlara daha iyi anlayış sağlıyor.

"Desikant Nem Alma Sistemleri: Çalışma Prensipleri ve Uygulamaları" başlıklı bölüm, desikant nem alma sistemlerinin çalışma prensiplerini ve uygulamalarını özetler. Bu sistemler, enerji maliyetlerini azaltma potansiyeli sunar.

"Yapay Zeka ve Bilinç: İnsan Zekasıyla Makine Zekası Arasındaki Sınırlar" başlıklı derlememiz, yapay zeka ve bilinç arasındaki ilişkiyi araştırıyor. İnsan zekası ve bilincinin karmaşıklığını anlamak, yapay zeka teknolojilerinin sınırlarını çizmekte bize rehberlik

edebilir. Bu çalışma, yapay zekanın insan bilincine etkilerini ve gelecekteki olası senaryoları inceliyor. Detaylar ilerleyen sayfalarda.

"In Katkılı BZN Mikrodalga Malzemelerinin Kablosuz Haberleşme Uygulamaları İçin Karakterizasyonu" başlıklı çalışma, In katkılı Bi.5Zn0.92Nb1.5O6.92 (BZN) mikrodalga malzemelerinin karakterizasyonunu sunmaktadır. Bu yeni dielektrik seramiklerin üretimi ve In katkısının BZN seramiklerinin fiziksel ve dielektrik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kablosuz haberleşme teknolojileri için potansiyel taşıdığını göstermektedir. Uzmanlar için önemli bir kaynak sunmaktadır.

"A356 Alaşımının Isıl İşlem Yöntemi ile Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi" başlığı altında gerçekleştirilmiş ve A356 alaşımının ısıl işlem yöntemiyle mekanik özelliklerini artırma potansiyelini incelemiştir. Araştırma sonuçları, bu yöntemin alaşım dayanımını ve tokluğunu artırma konusundaki etkisini vurgulamaktadır, böylece otomotiv endüstrisinde daha yaygın bir kullanım için fırsatlar sunmaktadır.

"Soğutma Sistemlerinin ve Çevresel Etkilerinin Uluslararası Standart ve Yönetmelik Kriterleri Doğrultusunda İncelenmesi" başlığı altında, soğutma sistemlerinin çevresel etkilerini uluslararası standartlar ve yönetmelikler ışığında ele almaktadır. Sera gazı emisyonları, yeşil vergiler, karbon fiyatlandırma sistemleri gibi önemli konulara odaklanarak, Türkiye'nin çevre düzenlemelerine uyumu da göz önüne alınmıştır.

"Endüstriyel Seramik Sofra Eşyası Üretiminde Bünye Kompozisyonlarının Geliştirilmesi" başlıklı bölüm, seramik üretimindeki bünye kompozisyonlarının kritik önemini ele alıyor. Analizler, alkali oksit dengesizlikleri ve bağlanma sorunlarını açığa çıkarıyor. Ancak merak uyandıran bir nokta da sıcaklık kaybıyla ilgili. Tünel fırın uygulamalarında yaşanan bu kayıp, dikkat çekici bir sonuç. Sonuçlar, seramik üretiminde daha iyi performans için yeni bünye çalışmalarının gerekliliğini gösteriyor.

"Mikrodalga Meme Kanseri Görüntülemesi İçin Anten Tasarımı" başlıklı bölüm, 4 GHz ile 9 GHz arasında çalışabilen ve yakın alan yüzey ölçümü için kullanılabilen bir anten tasarımını detaylı olarak ele almaktadır. Tasarımın amaçları, boyutları ve performansı bu bölümde incelenmektedir. Tasarımın mikrodalga meme kanseri görüntüleme sistemlerindeki potansiyel kullanımı da vurgulanmaktadır.

"Krom Kaplama Teknolojisi ve Analitik İncelemeleri" başlıklı bölümde, krom kaplama teknolojisinin temel prensiplerini ve bu kaplamanın analitik incelemelerini detaylı bir şekilde ele almaktadır. Krom kaplama sürecinin adımları, kullanılan kimyasalların etkisi ve kaplama kalitesini değerlendiren analitik yöntemler bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmektedir. Krom kaplamanın endüstriyel uygulamaları ve bu alandaki son gelişmeler de bu bölümde detaylı bir şekilde tartışılmaktadır.

Bölüm başlığı "Elektrokaplama ile Nikel Kaplama" olan bölümde, elektrokaplama teknolojisinin temel prensiplerini ve nikel kaplamanın nasıl gerçekleştirildiğini ayrıntılı bir şekilde ele almaktadır. Elektrokaplama sürecinin adımları, katkı maddelerinin kritik rolü ve kaplama kalitesini etkileyen faktörler derinlemesine incelenmektedir. Ayrıca, nikel kaplamanın endüstriyel uygulamaları ve bu alandaki son gelişmeler de bu bölümde kapsamlı bir şekilde tartışılmaktadır. Bu bölüm, elektrokaplama alanına ilgi duyanlar için temel bir kaynak olacaktır.

Kitabın içeriği üzerinde kullanılan her türlü bilgi, kaynak ve sorumluluk yazarlar tarafından üstlenilmiştir. Yazarlar, kendi çalışmalarını ve araştırmalarını kaynak göstererek bu kitap için özgün ve güvenilir bir içerik sunmaya odaklanmışlardır. Kitabın her bir bölümü, ilgili uzmanlık alanının önde gelen isimleri tarafından yazılmış ve bilimsel kaynaklara dayalı olarak hazırlanmıştır. Bu nedenle, kitapta sunulan bilgilerin güvenilirliği ve doğruluğu yazarlar tarafından sağlanmıştır.

Ayrıca, belirtilmelidir ki, kitapta ifade edilen fikirler ve görüşler yazarların kişisel görüşleri ve uzmanlık alanlarına dayanmaktadır. Bu görüşler, kitabın editörü veya yayın 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, IKSAD Yayınevi' nin destek ve katkıları, bu kitabın yayınlanmasını mümkün kılmıştır. IKSAD Yayınevi' ne içten teşekkürlerimizi sunarız; onların profesyonellikleri ve kitap projemize verdikleri destek, bu çalışmanın başarılı bir şekilde tamamlanmasında büyük önem taşımıştır.

Okuyucularımıza da teşekkür etmek isteriz. Bu kitap, sizin gibi meraklı ve bilgiye aç bir kitlenin taleplerini karşılamak amacıyla hazırlandı. Umarız bu kitap, teknik konulara olan ilginizi daha da artırır ve bilgi dünyanızı genişletir. Bu projede emeği geçen herkesi içtenlikle tebrik ederiz ve bu kitabın, teknik alanlardaki araştırma ve gelişmeleri teşvik etmeye katkı sağlamasını umarız.

Dr. Öğr. Üyesi Serkan Güldal

BÖLÜM 1

KOMPANZASYON ÖNEMİ VE ÖRNEK HESAPLANMASI

Öğr. Gör. Taner DİNDAR¹, Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8417410>

¹ Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksek Okulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye, tdindar@ankara.edu.tr- 0000-0002-4112-2114

² Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, kayel@kocaeli.edu.tr- 0000-0002-0819-3420

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisine ihtiyaç her geçen gün artmaktadır, enerji krizi ile karşılaşmamak için bir taraftan enerji kaynakları araştırılırken, bir taraftan da mevcut sistemlerin verimli çalışması için çalışmalar devam etmektedir. Verimli çalışmaların arasında istenmeyen güç olan reaktif gücün yok edilmesi de bulunmaktadır. Konu üzerinde farklı kompanzasyon çeşitleri uygulanmaktadır (Kocabaş, 2006).

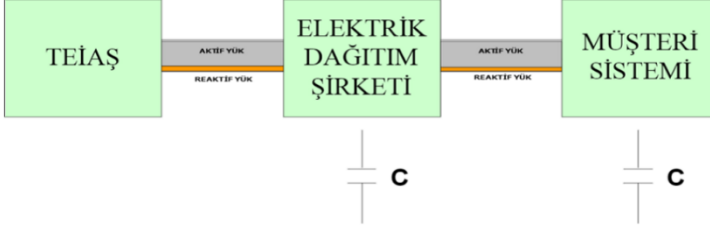
Kompanzasyon her yerde uygulanmamaktadır. Konutlarda sözleşmeye uygun olan aktif sayaçlar bağlanmaktadır. İşletmelerde sözleşme gücü 9 KW sonrası reaktif ve kapasitif sayaçlar kullanılmaktadır. Sözleşme gücü 9 KW ile 29,9 KW arası olması durumunda %33 reaktif sınır, %20 kapasitif sınırı geçtiğinde istenilmeyen durum ortaya çıkmaktadır. Bu durumda da sözleşme gücü 30 KW üstü %20 reaktif sınır, %15 kapasitif sınır aştığı zaman faturalarda ceza bedeli oluşmaktadır (Enerji Portalı, 2023).

Reaktif güç kompanzasyonunda reaktif akım yapılan kompanzasyon sayesinde karşılanacağı için iletim hatlarından (şebekeden) çekilen akımda azalma olacaktır. Akımın azalması dolayısı ile hatların daha az yüklenmesine neden olacaktır. Bu sayede yine aşırı yüklenmeler önlenmiş olacaktır (Ersamut Rıza, 2009).

İşletmelerde reaktif güç harcaması fazla olduğunda güç katsayısı düşmektedir. Güç katsayısının düşmesi ile birlikte gerilim düşümü ve kayıpların arttığı görülmektedir. Bu durumda var olan enerji kullanımında verim düşüklüğüne neden olmaktadır. Son yıllarda kullanılan enerjiyi daha verimli olabilmesi için Alternatif akım iletim sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler sayesinde talep kontrolü, regülasyon olayında düzeltmeler, güç kalitesinde iyileştirmeler sağlanmaya çalışılmıştır (Carlak & Kayar, 2019).

Enerji verimliliğinde sistem kompanze edilirken aslında şebeke harmoniklerinin azaltılması sağlanmaktadır (Bilki, 2008). Bu bölümde kompanzasyon yapılırken kullanılan malzemelerin parametrelerin hesabının nasıl yapılacağı araştırılmıştır.

Şekil 1'de elektrik dağıtım sistemi aktif ve reaktif yükler gösterilmiştir. Elektrik üretiminden müşteriye elektrik taşırken sistemde yüklerin takibi yapılmalıdır.



Şekil 1: Şebeke elektrik dağıtım sistemi (Enerji Portalı, 2023).

Elektrik enerjisini üretim yeri olan santrallerden tüketim yeri olan abonelere kadar kayıpları olmaktadır. Bu sistem Şekil 1’de verilmiştir. Bu kayıpları minimum seviyeye indirip enerji verimliliğini maksimum yapmak için kompanzasyon yapılmaktadır.

2. KOMPANZASYON ÇEŞİTLERİ

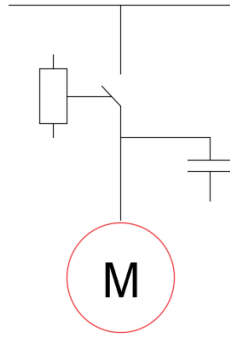
Kompanzasyon yapılmadan önce sistemden çekilen güce göre ve sistemin çalışmasının etkisine göre farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu nedenle önemlidir sistemin nasıl çalışacağını bilmek güç katsayısında iyi düzeltme yapılmasını sağlamaktadır.

2.1. Bireysel Kompanzasyon

İşletmelerde kullanılan reaktif güç çeken cihazlar bulunduğu sürece istenmeyen güç olan reaktif güç her zaman bulunacaktır. Enerjinin verimli kullanabilmek için de bu gücü kompanzasyon yaparak önlenmesi sağlanacaktır. Bireysel kompanzasyon özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Kondansatör için ayrı bir sisteme gerek yoktur.
- Büyük güçlü motorlarda kullanılır.
- Kondansatörler doğrudan yük çıkışlarına bağlanır.
- Kondansatörler endüktif yüklerin sigortasına bağlanırlar.
- Avantajı kendi içerisinde sistemin olmasıdır.
- Dezavantaj olarak değerlendirildiğinde ise kompanze edilmiş kısmın kondansatörü arızalandığı durumda reaktif ceza kaçınılmazdır.
- Periyodik bakım gerektirmektedir.
- Maliyetlidir.

Bireysel kompanzasyonun kapalı devre şeması Şekil 2’de verilmiştir. Kablo kayıplarını ve boyutları diğer türlere göre daha azdır.



Şekil 2: Bireysel kompanzasyon bağlantı şeması (Bilki, 2008).

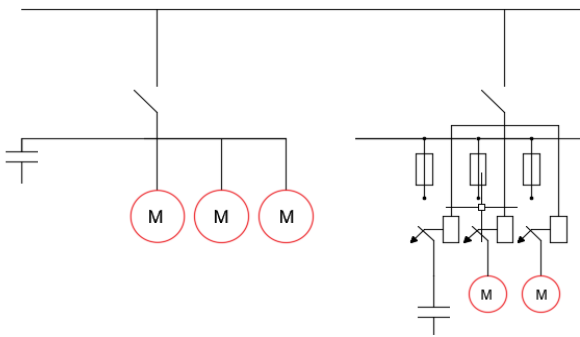
Bireysel kompanzasyon için kondansatör gücü denklem 1’de ifade edilmiştir.

$$Q_C = 0,9 * I_0 * U_n * 10^3 \text{ (KVAR)} \quad (1)$$

Burada I_0 akımı yol verme durumları hariç sabit alınması gerekmektedir.

2.2. Grup Kompanzasyonu

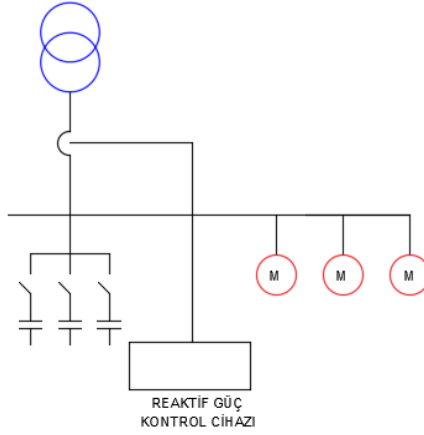
Bir tesiste motorların, aydınlatma ve diğer reaktif güç çeken makinelerin hepsinin bir arada bulunduğu sistemlerdir. Tek yerden kontrolü sağlanmaktadır. Şekil 2’de görüldüğü üzere Grup kompanzasyonda kondansatörleri eklerken sisteme özel anahtarlarla bağlanmaları gerekmektedir.



Şekil 3: Grup kompanzasyon devre şeması (Bilki, 2008).

2.3. Merkezi kompanzasyon

Bu kompanzasyon türünde farklı yüklerde farklı zamanlarda tüketicilerin reaktif güç kullanımları dikkate alınarak yeterli sayıda kondansatörün sisteme alıp veya sistemden çıkartma yapılmaktadır. Sistem otomatik veya manuel ayarlanıp akım ile gerilim arasındaki güç katsayısı o aralıkta kalmaktadır. Şekil 4’de merkezi kompanzasyon devre şeması verilmiştir. Burada sistem tek yerden kontrol edilmesi güç katsayısının belli aralık da yer almasını sağlamaktadır.



Şekil 4: Merkezi kompanzasyon devre şeması (Bilki, 2008).

Yük tesisi için günün farklı zamanlarda elde edilen yük eğrileri belirlenmesi gerekmektedir. Yüklenme eğrisine göre kompanzasyon türü seçilmelidir. Günlük yükleme eğrisi Şekil 5’de verilmiştir. Merkezi kompanzasyon farklı yüklerde farklı reaktif güç ihtiyaçlarında devreye alınmaktadır. Farklı zamanlarda ve yüklerde olduğundan dolayı da güç kontrol rölesi sisteme bağlanmaktadır. Bunlar dikkat edildiği durumlarda sistemin reaktif güç ayarlaması yapılacaktır (Şekkeli, 2006).



Şekil 5: Günlük yüklenme eğrisi (Kocabaş, 2006).

Son yıllarda kademe sayısı artırılarak merkezi kompanzasyondan daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Merkezi kompanzasyon dezavantajlarından maliyetinin fazla olmasıdır.

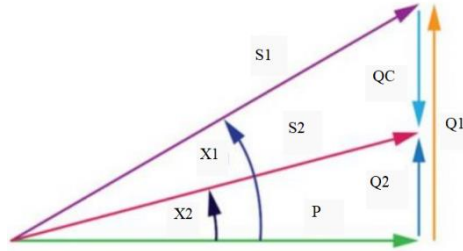
3. Kompanzasyon ve Güç

İletim hatlarında aktif, reaktif ve görünür güç vardır. Aktif güç lambaları yakan, motorları çalıştıran yani şebekede gerçek olan güçtür. Reaktif güç ise istenmeyen bir güçtür, alternatif akım sistemlerinin miktatsızlanması için devrede olur ve daha sonrasında bu gücü kullanılabilir hale getirmek için işlemler yapılır. Reaktif gücü çeken elemanlar, asenkron-senkron motorlar, bobinler, transformatörler, floresan, sodyum, neon lambalarının içerisinde bulunan balastlardır. Kompanzasyon hesabı yapılırken, dikkat edilmesi gereken sadece kompanzasyon için parametrelerin reaktif güç üzerinden yapılması değildir. Belli bir miktarda tüketilen aktif enerjide reaktif enerji tüketimini engellemektir. Aynı zamanda da değişmeyen reaktif güçlerde de aktif enerji tüketimini sağlamaktır. Burada reaktif enerji yani istenilmeyen enerjiyi düşürmek için aktif enerji harcansak yapılan işlemlerin hiçbir önemi kalmayacaktır. Kompanzasyonda önemli parametrelerden birisi gerekli kondansatörün değerinin hesaplanmasıdır. Bunun için farklı yollar bulunmaktadır;

- Sistemdeki aktif gücü bilerek kompanzasyon tablolarından yararlanarak kondansatör ve diğer parametrelerin bulunması,
- Sistemde aktif ve reaktif güç sayaçları varsa kondansatör parametresinin hesaplanması,

- Sistemde ampermetre, voltmetre ve aktif sayaç varsa kondansatör parametresinin hesaplanması,

Burada güç hesabında yapılmak istenen kondansatörün değerini doğru seçip kondansatörden geçen akım ile devreden çekilen akımın reaktif bileşenini azaltılması sağlanmaktadır. Bu durumda da $\cos(x)$ değeri büyümektedir. Şekil 6'da kompanzasyon güç katsayısı değer açıları gösterilmiştir. Burada, kompanzasyonda kullanılacak kondansatörün değerini hesaplamak için güçler arasındaki açı önemlidir. Bu yüzden açı hesabı yapılmalıdır.



Şekil 6: Kompanzasyon güç katsayısı gösterilişi (Motsa, 2023).

Q1: Kompanzasyon sistemi olmadan reaktif güç, Q2: Kompanzasyon sistemi ile reaktif güç, QC: Kapasitör gücü, P: Aktif güç, X1: Kompanzasyon olmadan güç açısı, X2: Kompanzasyondan sonra güç açısı

Elektrik Şebekelerinde üç farklı güç vardır;

$$P = U \cdot I \cdot \cos(x)$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin(x)$$

$$S = U \cdot I$$

$$\tan(x) = \text{Reaktif Güç (Watt)} / \text{Aktif Güç (VA)}$$

$$Q_c = P \cdot (\tan(X1) - \tan(X2))$$

P: Aktif gücü ifade eder, birimi Watt'dır.

Q: Reaktif gücü ifade eder, birimi VAR'dır.

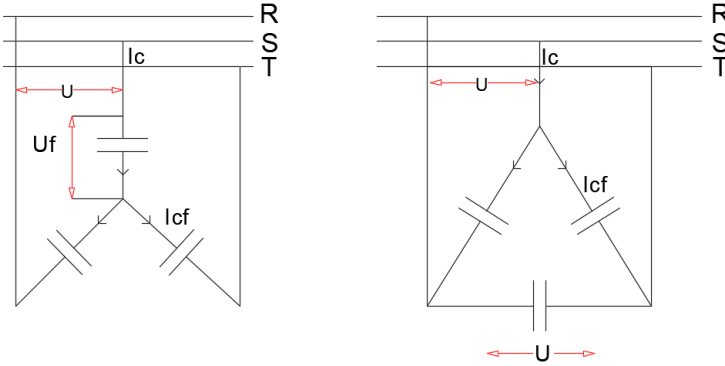
S: Görünür gücü ifade eder, birimi VA'dır.

Qc: Kompanzasyon için gerekli olan güç, birimi VAR'dır.

4. Kondansatör seçilmesi

Güç katsayısı düzeltmede kondansatör değerleri önemli bir yere sahiptir. Hatalı seçildiğinde veya kademe durumu doğru yapılmadığında reaktif güç yansımaya devam etmektedir. Kondansatörleri kademeli olarak yapılması gerekmektedir ve ilk kademedeki kondansatörün değeri diğer kondansatör değerlerine göre düşük olmalıdır. Bir sistem düşünülürse 45 KVAR kondansatörler bağlanacak ise, 5, 10, 10, 10, 10 sıra ile 5 kademe şeklinde röle tercih edilmesi gerekmektedir. Bu şekilde güç katsayısında iyileştirme olabilmektedir. Bunun nedenlerinden en önemlilerden bir tanesi de gece şebekede aydınlatmaların girmesi ve diğer çoğu yükün devrede olmamasıdır. Yük azaldığından küçük değerli kondansatör devreye girer böylelikle sistem endüktif cezaya girmemektedir.

Şekil 7’de kondansatörlerin yıldız ve üçgen bağlantı şekilleri verilmiştir. Üç fazlı tesislerde kondansatör değeri, aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.



Şekil 7: Kondansatörlerin bağlanma şekilleri (Bayram, 2000).

$$QC = (1,73 * U * I_c) / (1000) \text{ KVAR}$$

U: Hat gerilimi, I_c : Kondansatör akımı

Faz ve hat gerilimleri arasında farkın izolasyon bakımından bakıldığında ve maliyeti azaltmak amacıyla alçak gerilim tesislerinde üçgen bağlama tercih edilmektedir (Bayram, 2000).

5. Kompanzasyon değerlerinin “k” faktörü ile hesaplanması

Kompanzasyonda gerekli kondansatörün gücünün hesaplanması için $\tan x$ değerinin bilinmesi gerekmektedir. Elektrik faturasında aktif ve reaktif

enerji bulunduğu için $\tan x = \text{Reaktif Güç} / \text{Aktif Güç}$ formülünden hesaplanmaktadır. 100 bilgisayar ve 530 adet floresan lamba ve diğer elektrik-elektronik cihazlar için bir işletmede 2022 yılında günlük ortalama tüketim için 61,5 kWh/gün enerji harcadığı düşünülmektedir. Ortalama tüketim için akım ile gerilim arasındaki faz açısı da 0,64 derece çıkmaktadır.

Önemli olan bu değeri 1'e yaklaştırmaktır. Çalışmamızda 0,95'e yaklaştırmak için hesaplamamız yapılacaktır. Bunun için kompanzasyon "k" faktörü tablosundan yararlanılmaktadır.

Tablo 1: Kompanzasyon "k" faktörü tablosu (Kontrol kalemi, 2023)

ARZU EDİLEN COS Ø'ye YÜKSELTEK İÇİN "k" FAKTÖRÜ CETVELİ																
	Cosp2	0.70	0.75	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97
	tgp2	(1.02)	(0.88)	(0.75)	(0.70)	(0.64)	(0.62)	(0.59)	(0.57)	(0.53)	(0.48)	(0.43)	(0.36)	(0.33)	(0.29)	(0.25)
Cosp1	tgp1															
4.44	2.29	1.27	1.40	1.53	1.58	1.64	1.66	1.69	1.71	1.75	1.80	1.85	1.92	1.95	1.99	2.03
0.45	1.98	0.96	1.10	1.23	0.28	1.34	1.36	1.39	1.41	1.45	1.50	1.55	1.62	1.65	1.69	1.73
0.50	1.73	0.71	0.85	0.98	1.03	1.09	1.11	1.14	1.16	1.20	1.25	1.30	1.37	1.40	1.44	1.48
0.52	1.64	0.62	0.76	0.89	0.94	1.00	1.02	1.05	1.07	1.11	1.16	1.21	1.28	1.31	1.35	1.39
0.54	1.56	0.54	0.68	0.81	0.86	0.92	0.94	0.97	0.99	1.03	1.08	1.13	1.20	1.23	1.27	1.31
0.56	1.48	0.46	0.60	0.73	0.78	0.84	0.86	0.89	0.91	0.95	1.00	1.05	1.12	1.15	1.19	1.23
0.58	1.41	0.39	0.53	0.66	0.71	0.77	0.79	0.82	0.84	0.88	0.93	0.98	1.05	1.08	1.12	1.16
0.60	1.33	0.33	0.45	0.58	0.63	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.85	0.90	0.97	1.00	1.04	1.08
0.62	1.27	0.25	0.39	0.52	0.57	0.63	0.65	0.68	0.70	0.74	0.79	0.84	0.91	0.94	0.98	1.02
0.64	1.20	0.18	0.32	0.45	0.50	0.56	0.58	0.61	0.63	0.67	0.72	0.77	0.84	0.87	0.91	0.95
0.66	1.14	0.12	0.26	0.39	0.44	0.50	0.52	0.55	0.57	0.61	0.66	0.71	0.78	0.81	0.85	0.89
0.68	1.08	0.06	0.20	0.33	0.38	0.44	0.46	0.49	0.51	0.55	0.60	0.65	0.72	0.75	0.79	0.83
0.70	1.02		0.14	0.32	0.32	0.38	0.40	0.43	0.45	0.49	0.54	0.59	0.66	0.69	0.73	0.77
0.72	0.96		0.08	0.27	0.26	0.32	0.34	0.37	0.39	0.43	0.48	0.53	0.60	0.63	0.67	0.71
0.74	0.91		0.03	0.21	0.21	0.27	0.29	0.32	0.34	0.38	0.43	0.48	0.55	0.58	0.62	0.66
0.76	0.86			0.16	0.16	0.22	0.24	0.27	0.29	0.33	0.38	0.43	0.50	0.53	0.57	0.61
0.78	0.80			0.11	0.10	0.16	0.18	0.21	0.23	0.27	0.32	0.37	0.44	0.47	0.51	0.55
0.80	0.75			0.05	0.05	0.11	0.13	0.16	0.18	0.22	0.27	0.32	0.39	0.42	0.46	0.50
0.82	0.70					0.06	0.08	0.11	0.13	0.17	0.22	0.27	0.34	0.37	0.41	0.45
0.84	0.65						0.03	0.06	0.08	0.12	0.17	0.22	0.29	0.32	0.36	0.40
0.86	0.59								0.02	0.06	0.11	0.16	0.23	0.26	0.30	0.34
0.88	0.54										0.06	0.11	0.18	0.21	0.25	0.29
0.90	0.48											0.06	0.12	0.15	0.19	0.23
0.92	0.43												0.07	0.10	0.14	0.18
0.94	0.36													0.03	0.07	0.11

Tablo 1 incelendiğinde şebekedeki faz açısı ile kompanzasyon için gerekli olan faz açısının kesiştiği nokta "k" faktörünü vermektedir. Buradan $Q_c = k \times P$ formülü kullanılarak 53,505 kVA çıkmaktadır. Kompanzasyonda kullanılacak kondansatör gücü 60 kVA belirlenmektedir.

Tablo 2: Kompanzasyon pano devre elemanları seçim tablosu

	Besleme Hatlı Elemanları					Kompanzasyon Kademelerindeki Devre Elemanları								
	Nominal Akım A	Otomatik Şalter A	Kablo NYY mm ²	Ana bara mm ² Cu	Kademe Barası mm ² Cu	Sigorta	Kontaktör.	Otomatik Sigorta	Kademe Kablosu NYY mm ²	Deşarj Dirençleri				
						NH tip	A	A	A	Otomatik		Sabit		
						A	A	A	A	KOhm	W	KOhm	W	
5	7,6	16	3x2.5	-	-	16	9	16	3x2.5	31	4	205	3	3x33
10	15	25	3x4	-	-	25	16	25	3x4	15	4	102	5	3x66
15	22	40	3x6	-	-	36	32	40	3x6	10	6	68	8	3x99
20	29	63	3x6	-	-	50	32	50	6	6.8	6	51	10	3x132
25	36	100	3x6	-	-	63	40	63	6	1.5	6	41	12	3x165
30	43	100	3x6	-	-	80	45	80	6	1.5	6	34	15	3x198
40	58	100	3x10	25x3	25x3	100	63	100	10	1.5	6	25	20	3x264
50	72	125	3x16	25x3	25x3	125	80	125	16	1.5	6	20	25	3x330
60	87	125	3x25	25x3	25x3	160	90	-	25	1	12	17	30	
80	115	160	3x35	25x3	25x3	200	115	-	35	1	12	14	34	

Tablo 2 incelendiğinde kompanzasyonda kullanılacak olan kondansatör gücü 60 kVA olduğu durumda kullanılacak sigorta değeri 160 amper, kontaktör değeri 90 amper, kablo değeri 25 mm² sabit direnç değeri 17 kohm ve 30 watt gücünde olacağı görülmektedir.

6. Aşırı kompanzasyonun zararları

Elektrik ile çalışan ve manyetik alan üreten cihazların hepsi aktif gücün yanında reaktif güçte çekmektedir. Bunlardan bazıları transformatörler, asenkron motorlar, led aydınlatma elemanları ve ısıtıcılardır. Bu cihazlar elektrodinamik prensibine göre manyetik alan üretebilmek için reaktif güç kullanmak durumundadır.

Yani manyetik alan üretebilmek için mıknatıslanma akımını kullanmak durumundadırlar. Bu yüzden aktif güç olduğu gibi reaktif güçte olmak zorundadır. Bu durumda işletmeler kompanzasyon yapmaktadırlar fakat aşırı kompanzasyon reaktif akımı sıfıra indirirse işletme araçlarının veriminde düşüş olacaktır, bu da istenmeyen bir durumdur. Burada reaktif güç rölesi akım değerini ölçmektedir. Reaktif güç rölesi ile akım ölçülürken akım trafosu kullanılmaktadır. Alçak gerilim tesislerinde röle direkt olarak alçak gerilim barasına bağlanmıştır.

7. SONUÇ

Bu bölümde kompanzasyon tanımı, çeşitleri ve örnek bir hesaplama yapılmıştır. Bununla birlikte tüketici açısından avantajları ve doğru yapıldığı takdirde enerji verimliliğinin artacağı anlatılmıştır. Gerçekleştirilecek

kompanzasyon ile iletim hatlarında da fazla yüklenme durumu söz konusu olmayacaktır, daha az görünür güç ile daha fazla aktif güç kullanılmış olacaktır. Hatta aşırı yüklenme olmayacağından ısınma da meydana gelmeyecektir.

Reaktif güç rölesini doğru seçmek çok önemlidir, endüktif ve kapasitif yüklerin oranlarının doğru belirlenmesi, kondansatör değerlerinin doğru seçilmesi, kademelerinin yüklere göre seçilmesi sistemin verimli çalışmasını etkileyecektir.

Dinamik yük fazla ise mutlaka kademe sayısı artırılmalıdır, değişken yüklerde farklı zamanlarda kademeler devreye girmelidir. Sistemde kesintisiz güç kaynakları bulunmaktadır, enerji kullanımı olmadığı durumlarda reaktif cezaya yansiyabilmektedir. Bu yüzden güç kaynakları ile yeni nesil kompanzasyon türlerine geçilmektedir.

KAYNAKÇA

- Bayram, M., (2000). Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Bilki, F., (2008). Yüksek Lisans Tezi. Reaktif Güç Kompanzasyonu Eğitim Seti Tasarımı. Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Carlak, H., & Kayar, E. (2019). Volt VAR/Regulation In Energy Transmission Systems Using SVC and STATKOM Devices. Balkan Journal Of Electrical & Computer Engineering, 424-433.
- Ersamut R., (2009). Yüksek Lisans Tezi. Statik Var Kompanzasyonu Sistemlerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması, 26-32. İstanbul, Türkiye: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kocabaş, E., (2006). Yüksek Lisans Tezi. Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Simülasyonu. İstanbul, Türkiye: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şekkeli M., S. A. (2006). Yeni Bir Yaklaşımla Reaktif Güç Kontrol Rölesi Dizaynı ve Uygulaması. KSÜ. Journal of Science and Engineering,9(1), 56-60.
- Erişim adresi: 09.07.2023 <https://www.enerjiportali.com/kompanzasyon-nedir-cesitleri-nelerdir/>
- Erişim adresi: 09.07.2023 <https://www.kontrolkalemi.com/kompanzasyon-icin-kondansator-hesabi/cos-fi-k-faktoru-2/>
- Erişim adresi: 26.09.2023 <https://www.motsa.com.tr/kompanzasyo-reaktif-guc-cozumleri/>

BÖLÜM 2

TIBBİ GÖRÜNTÜ ANALİZİNDE AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKA ÜZERİNE ÇALIŞMALARIN BİR İNCELEMESİ

Mahmut EV¹

Onur SEVLİ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8417418>

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Burdur, Türkiye
mahmutev@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-4201-7738

² Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Burdur, Türkiye
onursevli@mehmetakif.edu.tr, ORCID ID 0000-0002-8933-8395

GİRİŞ

Tıbbi görüntü analizi, modern sağlık hizmetlerinin kritik bir bileşenidir ve doğru teşhisler yapılmasını sağlayarak tedavi kararlarına rehberlik eder. Yapay Zeka (AI), tıbbi görüntü analizi alanında dönüştürücü bir teknoloji olarak ortaya çıkmış ve klinik uzmanların karmaşık hastalıkları teşhis etmesinde ve yorumlamasında etkili rol oynamaktadır. AI teknikleri, özellikle derin öğrenme algoritmalarının entegrasyonu, tanısal doğruluğu, verimliliği ve hasta sonuçlarını iyileştirmek için yeni yollar sunarak bu alanda devrim yaratmıştır. Derin öğrenme algoritmaları, doktorlara tanı koymada yardımcı olmak için tıbbi görüntüleri analiz etmede kullanılırken, sağlık sistemi tarafından sağlanan yapıları ve hizmetleri iyileştirmektedir.

AI algoritmalarının sağlık hizmetleri sistemlerine artan entegrasyonu ile birlikte, bu modellerin karar verme süreçlerini anlamaya ve yorumlamaya yönelik artan bir ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, AI modellerinin şeffaf olmayışı ve karmaşıklığı, özellikle tıbbi alanda güven kazanma ve karar verme süreçlerini anlamada zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle AI sistemleri tarafından yapılan tahminler için şeffaf ve yorumlanabilir açıklamalar sağlamayı amaçlayan açıklanabilir AI tekniklerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

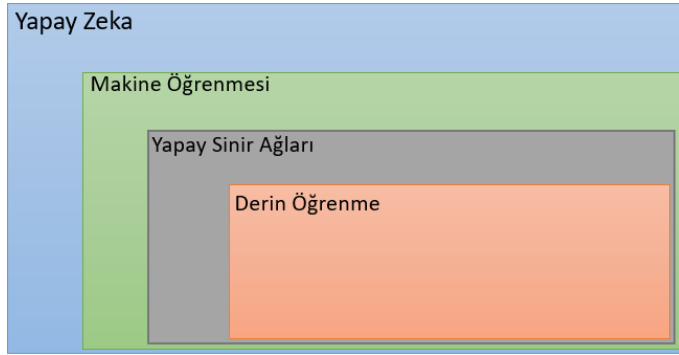
Bu çalışmanın amacı, AI'nin mevcut durumu tarafından sunulan sınırlamaları yumuşatmak olan olası tekniklerden birini, yani XAI'yi analiz etmek ve bu teknolojinin tıbbi görüntüleme alanında kullanım alanlarını incelemektir. Sağlık sektöründe böyle bir araca ihtiyaç oldukça fazladır.

1. YAPAY ZEKA

Gerçekte, çok sayıda algoritma, yapı ve bunları geliştirme yollarından dolayı AI'nin benzersiz bir tanımını vermek gerçekten karmaşıktır. (Das & Rad, 2020) AI'yi, insanlar gibi düşünebilen ve öğrenme, akıl yürütme, planlama, tahmin etme vb. dahil davranışlarını taklit edebilen makineler geliştirilerek gerçek yaşam deneyimlerinin ele alınma şekli olarak tanımlamaktadır. Genel olarak, AI'nin amacı, sorunları bilgisayarların doğruluğu ve hızıyla, ancak "düşünme" yoluyla, yani insanlara özgü bir zekayla çözebilen makineler yaratmaktır.

Yapay zekanın daha teknik bir tanımı (Haenlein & Kaplan, 2019) "bir sistemin dış verileri doğru bir şekilde yorumlama, bu tür verilerden öğrenme ve esnek uyarlama yoluyla bu öğrenmeleri belirli hedeflere ve

görevlere ulaşmak için kullanma becerisi” şeklinde ifade etmiştir. Bu tanımdan yola çıkarak diyebiliriz ki AI farklı varlıkların entegrasyonundan oluşan bir sistemdir. Bu varlıklar, donanım kaynakları, yazılım veya her ikisinin birleşimi olabilir ve bir mimari oluşturur. Bu sistemin belirli bir hedefe ve görevlere ulaşması gerekir, bu nedenle bu yapının farklı bölümleri, tanımlanmış bir hedefe ulaşmak için işbirliği yapar. Bunu yapmak için AI'nin dış verileri yorumlama yeteneğine ihtiyacı vardır, böylece dünyadaki bilgileri analiz edebilir ve görevi gerçekleştirmek için bunlardan yararlanabilir. Bir AI bilgiyi öğrenmek için kullanır, böylece her zaman hedefe ulaşmak için yapısını değiştirebilir ve esnek bir uyarlama kullanarak kendini güncelleyebilir. Bu nedenle, AI, bir bilgi öğrenme sürecinden başlayarak, bu verileri yorumlama ve belirli bir görevi gerçekleştirmek için bunlardan yararlanma yeteneğini geliştirdiği karmaşık bir sistem olarak tanımlanabilir. Yapay zekanın Şekil 1'de gösterildiği gibi makine öğrenmesi, yapay sinir ağları ve derin öğrenme olmak üzere iç içe alt dalları bulunmaktadır.



Şekil 1: Yapay zeka ve alt kümeleri şeması (I. Goodfellow vd., 2016).

Makine öğrenmesi

AI'nin bir alt kümesi olan Makine Öğrenimi (ML), tümevarımsal bir çıkarım sağlamak için bazı görevlerin performansını deneyimleyerek iyileştirme yeteneğine sahip bir dizi algoritma içerir (Mitchel, 1997). Bu algoritmalar, makinenin verilerdeki kalıpları anlamasına ve görünmeyen bir bilgiyi tahmin etme veya keşfetme konusunda uzman sistemler geliştirmesine yardımcı olur. ML, büyük miktarda veriyi analiz eden ve bazı karakteristik özellikleri çıkarmak veya veri popülasyonunu homojen kümeler halinde gruplandırmak için bunları manipüle eden sistemler geliştirmeye çalışan bir AI dalıdır. Günümüzde ML yaygınlaşmış ve teknoloji, araştırma, ekonomi ve tedarik zincirlerinin hemen hemen her alanında uygulanmaktadır. Denetimli,

denetimsiz teknikler, sinir ağları ve derin öğrenme kullanarak makinelerin bu temel kalıpları anlaması için birçok yol vardır.

Denetimli tekniklerde amaç, girdi özelliklerine dayalı olarak bir hedefi veya görünmeyen bir verinin değerini tahmin etmek/sınıflandırmak için kullanılabilecek eğitim verilerinden bir model bulmaktır. Örneğin, satılan ürünlerin sayısı veya olumlu kullanıcı incelemeleri gibi farklı girdi özelliklerine dayalı olarak bir ay içinde bir pazar platformuna abone olan aktif kullanıcıların tahmini olabilir. Eğitim setindeki giriş ve çıkış verisi çiftleri daha sonra ML modelinin açık parametrelerini kalibre etmek için kullanılır. Model başarılı bir şekilde eğitildikten sonra, giriş özelliklerinin yeni veya görünmeyen veri noktaları verildiğinde hedef değişkeni tahmin etmek için kullanılabilir. Denetimli öğrenme türüyle ilgili olarak, sayısal bir değer (örneğin, kullanıcı sayısı) tahmin edildiği regresyon problemleri ile tahmin sonucunun "bakanlar" veya "alıcılar" gibi kategorik bir sınıf bağlantısı olduğu sınıflandırma problemleri arasında daha fazla ayırım yapabiliriz.

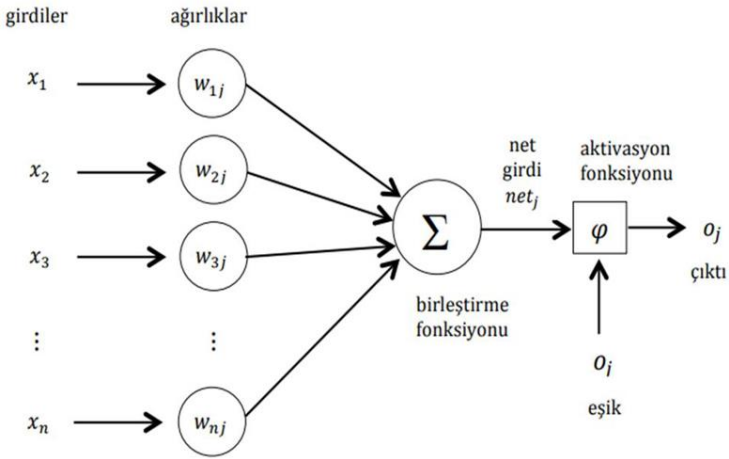
Denetimsiz tekniklerin amacı, yine bir eğitim verisine dayalı olarak, ancak bir çıktı niteliğini tahmin etmeden bir model bulmak veya bir veri kümesini açıklamaktır (Tan vd., 2016). Bu nedenle, eğitim verileri, ortak özellikleri paylaşan öge grupları veya yüksek boyutlu bir alandan daha düşük bir alana yansıtılan veri temsilleri gibi ilgili yapısal bilgileri bulma hedefiyle yalnızca x değişkenlerinden oluşur (Bishop & Nasrabadi, 2006). Elektronik pazarlarda denetimsiz öğrenmenin öne çıkan bir örneği, daha hedef gruba özel bir iletişim amacıyla müşterileri veya pazarları bölümlere ayırmak için kümeleme tekniklerinin uygulanmasıdır.

Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninden ilham alan bir tür ML algoritmasıdır. Her biri basit bir hesaplama yapabilen birbirine bağlı düğümlerden oluşan bir ağdan oluşurlar. Ağ, kendisine bir dizi girdi verisi ve istenilen çıktı verisi verilerek eğitilir. Ağ daha sonra girdi verilerini çıktı verileriyle eşleştirmeyi öğrenir. YSA'lar, sınıflandırma, regresyon ve tahmin dâhil olmak üzere çok çeşitli sorunları çözmek için kullanılabilir. Özellikle geleneksel istatistiksel yöntemlerle çözülmesi zor olan problemler için çok uygundur.

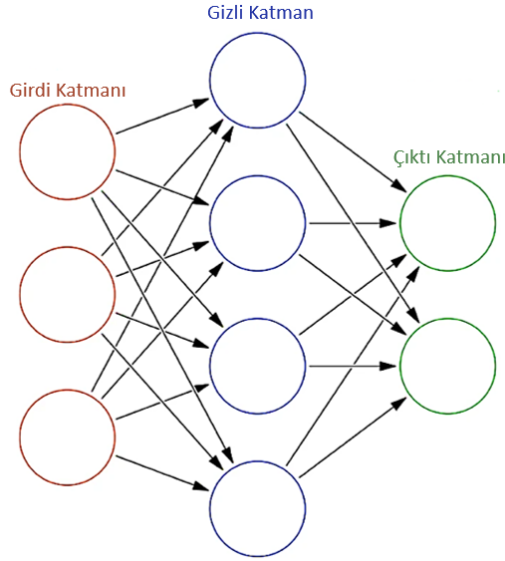
YSA, düğümler arasındaki bağlantıların ağırlıklarını ayarlayarak fonksiyona yaklaşmayı öğrenir. Ağırlıklar, geri yayılma adı verilen bir işlem kullanılarak ayarlanır. Geri yayılım, rastgele bir ağırlık kümesiyle başlayan

yinelemeli bir süreçtir. Ağ daha sonra bir dizi giriş verisi ve istenen çıkış verisi ile sunulur. Ağ daha sonra gerçek çıktı ile istenen çıktı arasındaki hatayı hesaplar. Ağırlıklar daha sonra hatayı azaltmak için ayarlanır. Bu işlem, hata yeterince küçük olana kadar tekrarlanır. Yapay bir veya daha fazla girdi alır, bu girdileri bazı ağırlıklar aracılığıyla bunların bir entegrasyonu olarak işler ve sonunda bu entegrasyon bir eşiği aşarsa kendini etkinleştirir. Her bir nöronun çıktısı, nöronun durumu olarak adlandırılır ve çıktının değerini belirleyen bir aktivasyon fonksiyonuna bağlıdır.



Şekil 2: Yapay sinir hücresinin yapısı (Öztürk & Şahin, 2018).

Yapay nöron, Şekil 2'de gösterildiği gibi, bir nöronun ağırlıklı girdileri aldığı, bu sinyalleri bütünleştirdiği ve toplam eşiği aşarsa, bu davranışı Şekil 2'de gösterildiği gibi tekrarlar. Bir yapay sinir ağının temel birimi yapay nörondur. Yapay nöronlar, insan beyninin temel birimleri olan biyolojik nöronlardan ilham alırlar. YSA Şekil 3'te de görüldüğü gibi yapay nöronların üç ana bölümden oluşur. Giriş bölümünde diğer nöronlardan veri alınır, Gizli bölümünde giriş verileri üzerinde basit bir hesaplama gerçekleştirir, çıktı bölümünde hesaplama sonucunu diğer nöronlara gönderir.



Şekil 3: Yapay sinir ağının yapısı (Zhang vd., 2019).

Ağırlıklar: Yapay nöronlar arasındaki bağlantılar ağırlıklıdır. Ağırlıklar, her bir nöronun diğer nöronlar üzerinde ne kadar etkiye sahip olduğunu belirler. Ağırlıklar eğitim sürecinde ayarlanır.

Eğitim: YSA'lar, onlara bir dizi girdi verisi ve istenen çıktı verisi verilerek eğitilir. Ağ daha sonra girdi verilerini çıktı verileriyle eşleştirmeyi öğrenir. Eğitim süreci yinelemelidir. Ağ, bir dizi giriş verisi ve istenen çıkış verisi ile sunulur. Ağ daha sonra gerçek çıktı ile istenen çıktı arasındaki hatayı hesaplar. Ağırlıklar daha sonra hatayı azaltmak için ayarlanır. Bu işlem, hata yeterince küçük olana kadar tekrarlanır.

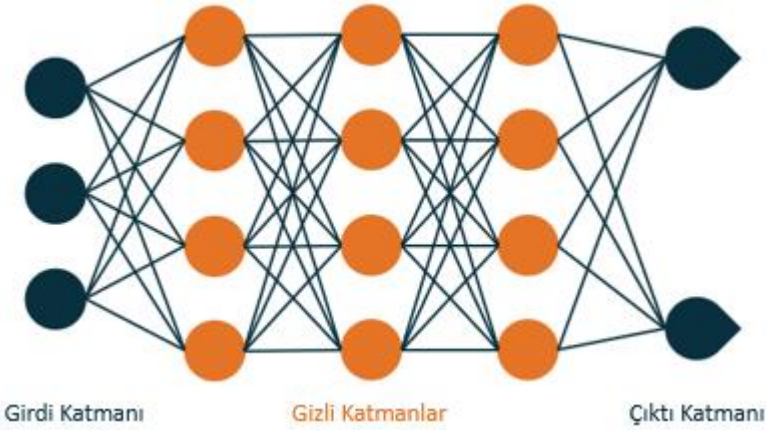
Fazla uydurma: YSA'lar, yeni veriler üzerinde düşük performansa yol açabilecek şekilde eğitim verilerine fazla uyum sağlayabilir (Kar vd., 2022). Aşırı uyum, ağ eğitim verilerini çok iyi öğrendiğinde ve yeni verilere genelleştiremediğinde gerçekleşir. Düzenli hale getirme ve erken durdurma gibi aşırı uyumu önlemek için kullanılacak bir dizi teknik vardır.

Yorumlana bilirlilik: YSA'ların yorumlanması zor olabilir, bu da nasıl karar verdiklerini anlamayı zorlaştırabilir. Görselleştirme ve özellik seçimi gibi YSA'ların yorumlana bilirliliğini geliştirmek için kullanılacak bir dizi teknik vardır (Kar vd., 2022).

YSA'ların gelecekte çok çeşitli uygulamalarda giderek daha önemli bir rol oynaması muhtemeldir. Halihazırda sağlık, finans ve imalat gibi çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. YSA'lar gelişmeye devam ettikçe, daha fazla endüstri ve uygulamada kullanılmaları muhtemeldir.

Derin öğrenme

Derin öğrenme, çok katmanlı yapay sinir ağlarının geliştirilmesine ve uygulanmasına odaklanan, verilerin karmaşık temsillerinin öğrenilmesini sağlayan ML'nin bir alt alanıdır(Ardakani vd., 2020). Derin öğrenme Şekil 4'te de gösterildiği gibi değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri öğrenmek için birden fazla gizli katmanı kullanan bir YSA türüdür. Verilerin hiyerarşik temsillerini öğrenmek için çok katmanlı yapay sinir ağlarını eğitmeyi içerdiğinden dolayı derin terimi kullanılmıştır. Derin öğrenme, görüntü sınıflandırma, doğal dil işleme ve konuşma tanıma dahil olmak üzere çeşitli görevlerde son teknoloji sonuçlara ulaşmak için kullanılmaktadır. Derin öğrenme algoritmaları, bir dizi veri üzerinde eğitilerek öğrenir.



Şekil 4: Derin sinir ağının yapısı.

Derin öğrenmenin başarısı birkaç faktöre bağlanabilir. Derin sinir ağlarının ham verilerden hiyerarşik temsilleri otomatik olarak öğrenme yeteneği önemli bir özelliğidir. Bu hiyerarşik öğrenme süreci, ağın katmanların derinliklerine indikçe giderek daha soyut özellikleri keşfetmesini sağlar ve sonuç olarak daha anlamlı ve ayırt edici bir modele yol açar. (Bengio vd., 2013), derin mimarileri eğitmenin teorik temellerini ve pratik

yönlerini tartışarak derin öğrenmeye kapsamlı bir genel bakış açısı ile ele almaktadır. Etiketli verileri kullanarak ağda ince ayar yapmadan önce yararlı ilk temsillerin öğrenilmesini kolaylaştıran denetimsiz ön eğitimin önemini vurgulamaktadırlar.

Derin öğrenmenin başarısına katkıda bulunan bir diğer önemli faktör, büyük ölçekli veri kümelerinin kullanılabilirliğidir. Veri toplama ve depolama yeteneklerindeki katlanarak büyüme, derin sinir ağlarını etkili bir şekilde eğitmek için hayati önem taşıyan, çok sayıda eğitim örneği kaynağı sağlamıştır. Özellikle, ImageNet veri seti (Deng vd., 2009), derin öğrenme yoluyla bilgisayar görüşündeki ilerlemeleri yönlendirmede önemli bir rol oynamıştır. Bu veri kümesi, derin sinir ağlarının karmaşık görsel temsilleri öğrenmesine ve nesne tanıma görevlerinde son teknoloji performans elde etmesine izin veren milyonlarca etiketli görüntü içermektedir (Krizhevsky vd., 2017).

Derin sinir ağlarının eğitimi, genellikle milyonları hatta milyarları aşan çok sayıda parametrenin optimize edilmesini kapsamaktadır. Bu optimizasyon sorunu tipik olarak, çok katmanlı sinir ağlarında gradyanları hesaplamak için yaygın olarak kullanılan bir algoritma olan geri yayılım kullanılarak ele alınır. Geri yayılım, hataları çıkış katmanından giriş katmanına verimli bir şekilde yayar ve tahmin edilen ve gerçek çıktılar arasındaki tutarsızlığı en aza indirmek için ağ ağırlıklarının ayarlanmasını sağlar. (Rumelhart vd., 1986) geri yayılım üzerine, bu algoritmanın matematiksel temellerini ve pratik uygulamasını anlamada temel bir referans görevi gören çalışma yapmışlardır.

Genel olarak, derin öğrenme, büyük ölçekli veri kümelerinden karmaşık temsilleri öğrenebilen yüksek düzeyde anlamlı modellerin geliştirilmesini sağlayarak ML alanında devrim yaratmıştır. Başarısı, görüntü ve konuşma tanımadan dili anlama ve makine çevirisine kadar çeşitli uygulamalarda belirgin olarak görülmektedir. Devam eden araştırmalar, yorumlana bilirlik, karşıt sağlamlık ve verimli eğitim algoritmaları gibi zorlukları ele almayı amaçlayan derin öğrenme tekniklerini iyileştirmeye ve genişletmeye devam etmektedir.

2. AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKA (XAI)

AI modellerinin doğruluğunun kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi ve doğrulanması gerekir. Bu da modellerin büyük ve çeşitli veri kümeleri üzerinde eğitilmesi, performanslarının titizlikle test edilmesi ve sonuçlarının yerleşik standartlarla veya uzman görüşleriyle karşılaştırılması ile mümkün olabilir. Modellerin sürekli olarak izlenmesi ve iyileştirilmesi, doğruluklarını korumak ve herhangi bir sınırlama veya önyargıyı ele almak için gereklidir.

AI sistemleri net ve yorumlanabilir sonuçlar sağlamalıdır. Tıbbi ortamlarda, sağlık uzmanlarının AI tarafından üretilen tahminlerin ve tavsiyelerin ardındaki mantığı anlaması çok önemlidir. Karar verme sürecini açıklayamayan kara kutu algoritmaları endişeleri artırabilir ve kritik sağlık hizmeti senaryolarında benimsenmesini engelleyebilir. AI sistemlerinin altında yatan mantık hakkında şeffaflık ve içgörü sağlayan XAI teknikleri geliştirmek için çaba gösterilmektedir. Her hastanın ve tıbbi durumun benzersizliği dikkate alınmalıdır. AI araçları, bireysel varyasyonlara uyum sağlayabilmeli ve belirli hasta özelliklerini hesaba katabilmelidir. Kişiselleştirilmiş tıp önem kazanıyor ve AI, tedavileri ve müdahaleleri bireysel hasta verilerine göre uyarlamada önemli bir rol oynayabilir.

AI'nin tıpta sorumlu ve etik bir şekilde uygulanmasını sağlamak için düzenleyici çerçeveler ve yönergeler geliştirilmektedir. Bu çerçeveler, veri gizliliği, bilgilendirilmiş onay, şeffaflık ve hesap verebilirlik gibi konuları ele almaktadır. AI uzmanları, sağlık uzmanları ve düzenleyici kurumlar arasındaki işbirlikleri, tıpta AI teknolojilerinin güvenli ve güvenilir kullanımını destekleyen standartlar oluşturmak için çok önemlidir.

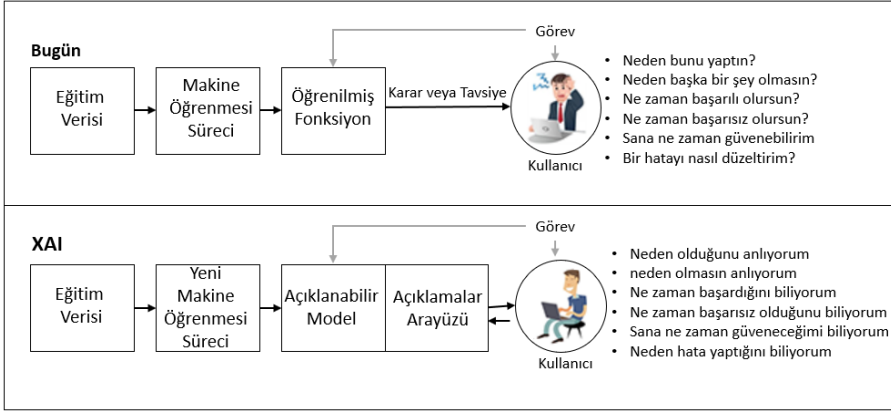
AI'nin tıptaki potansiyeli umut verici olsa da uygulanmasına dikkatle yaklaşmak, bu araçların tamamen doğrulanmış, doğru, yorumlanabilir ve tıp alanının özel ihtiyaçları ve zorluklarıyla uyumlu olmasını sağlamak önemlidir. Bunu yaparak, hasta güvenliğine ve iyiliğine öncelik verirken AI'nin faydalarından yararlanabiliriz. (Briganti & Le Moine, 2020). Bu zorlukları ele almak, araştırmacılar, sağlık uzmanları, politika yapımcılar ve düzenleyici kurumlar arasında disiplinler arası iş birliğini gerektirir. Yakın iş birliği, AI algoritmalarındaki ilerlemeleri sağlayabilir, net yasal çerçeveler oluşturabilir, kapsamlı eğitim programları sağlayabilir ve standardizasyon çabalarını teşvik edebilir. Bu sorunları ele alarak klinik uygulamada AI teknolojilerinin güvenini, kabulünü ve güvenli kullanımını artırabiliriz.

Karmaşık AI modellerinin potansiyelinden etkili bir şekilde yararlanmak, dikkatli değerlendirme ve uzmanlık gerektirir. Geliştiriciler, modellerin gerçek dünya senaryolarında iyi performans göstermesini sağlamak için fazla uydurma, optimizasyon, düzenleme ve genelleştirme gibi zorlukları ele almalıdır. Karmaşıklığın yorumlana bilirlik, açıklana bilirlik ve hesaplama kaynakları ile dengelenmesi, doğruluk ve güvenilirliğin son derece önemli olduğu tıp gibi alanlarda pratik uygulama için çok önemlidir.

Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı (DARPA 3 : Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nın bir araştırma ajansı), (Gunning vd., 2021) XAI programının aşağıdaki özelliklere sahip bir ML teknikleri paketi oluşturmayı amaçladığını söylüyor:

- Yüksek düzeyde öğrenme performansını (tahmin doğruluğu) korurken daha açıklanabilir modeller üretin.
- Kullanıcıların, yeni ortaya çıkan AI iş ortaklarını anlamasını, uygun şekilde güvenmesini ve etkili bir şekilde yönetmesini sağlayın.

Bu tür AI, sonuçları insanlar için daha anlaşılır olan algoritmalar yaratmayı amaçlamaktadır (Amiri vd., 2021). Sistemlerin sonuçlarını açıklamak için kullanabileceği çeşitli teknikler vardır; bazı açıklamalar doğal insan dili biçiminde olabilir, ardından mantıksal olarak birbirine bağlı cümleler olabilir veya sistem tarafından sağlanan sonuçlara en çok ağırlık veren özelliklerin doğrudan bir görünümünü vermeyi amaçlayan diyagramlar veya ısı haritaları gibi görsel biçimde olabilmektedir. Normal bir AI ile XAI potansiyel sonuçları arasındaki bir karşılaştırma, Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5: AI ve XAI arasındaki karşılaştırma (Arrieta vd., 2020).

Uzmanlar, makinenin çalışmasını engelleyen bir hatanın yanı sıra yanlış bir yapılandırmanın da yanlış sınıflandırmalara neden olabileceği durumları daha kolay ve doğru bir şekilde belirleyebilir. Bu, çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilen sorunların tespit edilmesi ve çözülmesi sürecini iyileştirmeye yardımcı olur.

Hatanın makinenin çalışmasını engellemesi durumunda, uzmanlar genellikle hata kodlarını veya arıza mesajlarını analiz ederek sorunun kökenini belirlemeye çalışırlar. Bu tür hatalar genellikle donanım veya yazılım sorunlarından kaynaklanabilir ve sistemin düzgün çalışmamasına yol açar. Uzmanlar, donanım bileşenlerini veya yazılım kodunu inceleyerek ve gerekli testler ve deneyler yaparak sorunu tanımlayabilir ve çözebilirler.

Diğer yandan, yanlış bir yapılandırmanın yanlış sınıflandırmalara yol açması durumunda, uzmanlar genellikle sistemin ayarlarını veya parametrelerini gözden geçirirler. Özellikle AI, veri analitiği veya ML gibi alanlarda çalışan sistemlerde, doğru yapılandırma ve parametre seçimi son derece önemlidir. Yanlış bir yapılandırma, örneğin veri ön işleme yöntemleri, model algoritması veya sınıflandırma eşik değerleri gibi faktörlerde hatalı bir ayarlamayı ifade edebilir. Uzmanlar, yapılandırma hatalarını tanımlamak için genellikle sistem üzerinde deneyler yapar, sonuçları analiz eder ve ardından düzeltici önlemler alır.

Uzmanların hem hata durumlarını hem de yanlış yapılandırma durumlarını daha kolay ve doğru bir şekilde belirleyebilmesi, genellikle deneyim, bilgi ve analitik becerilere dayanır. İyi bir uzman, sistemlerin işleyişini anlamak için gerekli bilgilere sahip olmalı ve hata tespit etme ve

çözme süreçlerinde etkili bir şekilde uygulamalıdır. Ayrıca, uygun araçlar ve izleme mekanizmalarının kullanılması da hatanın veya yanlış yapılandırmanın tespitini kolaylaştırır

Bir XAI tarafından üretilen bilgi, algoritmanın kendi önerilerini daha iyi anlayan son kullanıcılar için algoritmayı daha güvenilir hale getirme olanağı sunar. Özellikle tıp alanında, doktor ve hasta arasında yüksek düzeyde güven önemlidir, çünkü hastanın, uzmanın önerdiği şeyi yapmaya kararlı olduğu bir hastalığın teşhis ve tedavi sürecinde güven esastır. Benzer şekilde, tıbbi yardım teknolojisi de hastanın nasıl kararlar aldığını açıklayabilirse, hastanın güvenini kazanarak daha güvenilir olacaktır (Gunning vd., 2019).

a. Açıklanabilir yapay zeka neden kullanılmalı

Klasik bir AI'ye kıyasla, XAI'nin kullanımını zorlayan birçok motivasyon bulunmaktadır ve bu otomatik teknolojilerin kullanımıyla ilgili çeşitli sorunlar ortaya çıkmaktadır. İşte bu sorunlardan bazıları:

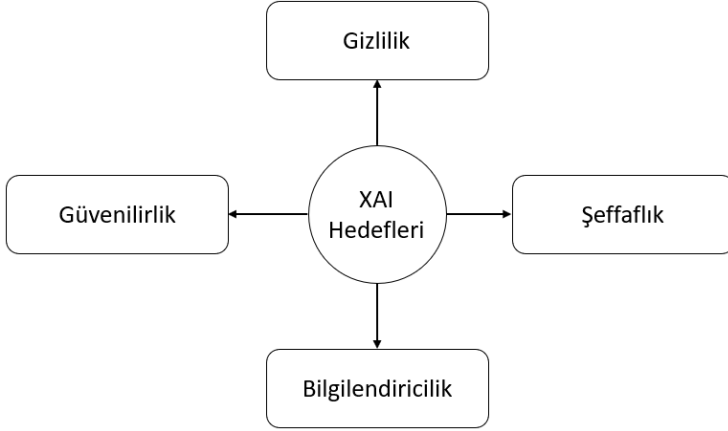
Gizlilik Sorunları: AI algoritmalarının kişisel verileri bilinmeyen bir şekilde toplaması, gizlilik sorunlarına yol açabilir. XAI, algoritmaların nasıl kararlar aldığını açıklamak ve verilerin nasıl kullanıldığını anlamak için daha fazla şeffaflık sağlayarak bu sorunu hafifletmeyi hedefler.

Güvenilirlik: Makine seçimi ile ilgili herhangi bir olumsuz olay, sigorta veya yasal sorumluluk sorunlarına yol açabilir. Örneğin, otonom bir aracın bir kaza yapması durumunda, sorumluluğun kimde olduğunu belirlemek karmaşık olabilir. XAI, algoritmaların karar süreçlerini izlenebilir ve anlaşılabilir hale getirerek, olası sorumluluk sorunlarının çözümüne katkıda bulunmaya amaçlar.

Şeffaflık: AI algoritmaları genellikle karmaşık ve anlaşılması zor olabilir. Bu durum, insanların AI'nin kararlarını kabul etmekte güçlük çekmelerine veya güvenmemelerine neden olabilir. XAI, algoritmaların karar süreçlerini şeffaf bir şekilde açıklamayı ve kullanıcıların bu kararları anlamalarını sağlamayı hedefler.

Bilgilendiricilik: XAI, kullanıcılara AI tarafından elde edilen sonuçları anlamaları ve bu sonuçlara dayanarak bilinçli kararlar vermeleri konusunda yardımcı olmayı amaçlar. XAI'nin kullanılması, son kullanıcıların AI'nin çalışma prensiplerini, sınırlamalarını ve potansiyel yan etkilerini anlamalarını sağlar.

Bu Şekil 6'da da gösterilen dört ana hedef, XAI'nin kullanımının önemini vurgular ve kullanıcıların AI sistemlerine güvenmelerini, kararları anlamalarını ve yönetmelerini kolaylaştırmayı amaçlar.



Şekil 6: Açıklanabilir yapay zekânın hedefleri.

(Amiri vd., 2021) araştırma makalesinde, klasik AI yerine XAI kullanımını haklı çıkarmak için dört temel neden vurgulayarak daha teknik bir analiz gerçekleştirmiştir. Bu nedenler şu şekilde özetlenebilir:

Doğrulama: XAI, AI sistemleri tarafından alınan kararlar için gerekçeler veya açıklamalar sağlamayı amaçlar. Klasik AI modelleri genellikle kara kutu görevi görerek belirli bir karara neden varıldığını anlamayı zorlaştırır. XAI teknikleri ise karar verme sürecini etkileyen temel faktörleri, kuralları veya özellikleri ortaya çıkararak şeffaflık sağlamaya çalışır. XAI, kararları gerekçelendirerek kullanıcıların güvenini, öz güvenini artırır ve AI sisteminin güvenilirliğini ve adilliğini değerlendirmelerine olanak tanır.

Kontrol: XAI, kullanıcılara AI sistemleri üzerinde daha yüksek düzeyde kontrol imkanı tanımaktadır. Geleneksel AI modelleri genellikle özerk olarak çalışır ve kullanıcılara karar verme sürecine müdahale etme veya etkileme konusunda sınırlı hak tanır. XAI yöntemleri, kullanıcılara AI sisteminin nasıl çalıştığına dair anlaşılır temsiller sunarak kullanıcıları güçlendirir. Bu şeffaflık, kullanıcıların potansiyel önyargıları belirlemesine, hataları düzeltmesine veya gerektiğinde kararları geçersiz kılmasına olanak tanır. XAI, kontrolü etkinleştirerek, AI sisteminin sonuçlarında kullanıcı katılımını ve hesap verebilirliği destekler.

Geliştirme: XAI, AI modellerinin performansını ve verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir. Klasik AI yaklaşımları, modelin güçlü yönleri, zayıf yönleri veya iyileştirme alanları hakkında içgörü sağlamadan öncelikle doğruluğu optimize etmeye odaklanır. XAI teknikleri, kullanıcıların iyileştirme veya değişiklik gerektirebilecek alanları belirleyerek AI modellerini analiz etmesini ve teşhis etmesini sağlar. Açıklamalardan ve yorumlana bilirlikten yararlanan XAI, kullanıcıların AI sistemine ince ayar yapmasına yardımcı olarak gelişmiş performans, sağlamlık ve güvenilirliğe yol açar.

Keşif: XAI, yeni bilgi ve farkındalıkların keşfedilmesini kolaylaştırır. Klasik AI modelleri genellikle kara kutular gibi çalışır ve bu da değerli bilgilerin çıkarılmasını veya altta yatan veriler hakkında daha derin bir anlayış kazanmayı zorlaştırır. XAI yöntemleri, kullanıcıların AI sisteminin iç işleyişini keşfetmesine, gizli kalıpları ortaya çıkarmasına ve kararlara katkıda bulunan önemli özellikleri veya faktörleri belirlemesine olanak tanır. XAI, keşfi teşvik ederek bilgi keşfini, etki alanı anlayışını ve çeşitli alanlarda potansiyel ilerlemeleri destekler.

Bu dört neden klasik AI yaklaşımlarının aksine XAI'nin önemini vurgulamaktadır. XAI, açıklamalar, kontrol, performans iyileştirme ve yeni keşifler için fırsatlar sağlamaya çalışarak sonuçta AI alanında güveni, anlayışı ve ilerlemeyi teşvik eder.

b. Açıklanabilir yapay zeka nasıl uygulanır

ML alanı, her biri problem çözmeye yönelik farklı yaklaşımlar sunan çok çeşitli algoritmaları kapsar. Benzer şekilde, bu modeller için açıklamaları ifade etmenin sayısız yolu vardır. Nasıl ki günlük hayatta açıklamalarımızı bağlama ve etkileşimde bulunduğumuz kişilere göre uyarlıyorsak, MLndeki yorumlanabilirlik yöntemleri de belirli ilkelere bağlı olarak değişebilmektedir. Mevcut literatür ve son teknoloji araştırmalar, bu yöntemleri üç ilkeye dayalı olarak sınıflandırmaktadır.

i. Karmaşıklığa Bağlı Açıklana bilirlik

Farklı yöntemleri ayırt etmenin ilk yolu, açıklanacak modelin karmaşıklığına göre algoritmaları gruplandırmaktır. Bu yaklaşım, AI modellerinin karmaşıklığına ve iç yapısına bağlı olarak yorumlanabilirlik yöntemlerinin seçilmesine olanak sağlar. XAI, AI'nin doğru çalışma

yeteneğiyle birlikte yorumlanabilir olma arasında sürekli bir denge sağlama çabası içerisinde.

AI modellerinin doğru çalışma yeteneği, karmaşık veri yapılarından örüntüleri tanıma, kararlar verme ve tahminler yapma gibi yetenekleri içerir. Bu nedenle, bazı AI modelleri karmaşık yapılara ve algoritmaların derinliklerine sahip olabilir. Bu tür karmaşık modeller, yüksek doğruluk elde etme potansiyeline sahip olabilir, ancak genellikle yorumlanması zordur. AI modellerinin doğru çalışma yeteneğiyle birlikte yorumlanabilirlik arasında bir denge bulunması gerekmektedir. XAI, bu dengeyi sağlama amacıyla farklı yöntemlerin geliştirilmesini ve kullanılmasını teşvik eder.

Bu nedenle, en doğrudan ve basit seçenek, doğası gereği yorumlanabilir bir algoritma oluşturmaktır. Bu yaklaşımda, toplam doğruluk seviyesini düşürerek yorumlanabilirliği sağlayan mümkün olduğunca basit bir model kullanılır. Bu model, tahminle birlikte açıklama gibi iki çıktı sağlar ve (Elton, 2020) makalesinde detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. (Islam vd., 2021)'de bu yorumlanabilirlik türleri saf şeffaf ve hibrit olarak belirtmişlerdir. Saf şeffaf alt yaklaşımda, temelde şeffaf olarak kabul edilen modeller kullanılırken, hibrit yaklaşımda şeffaf ve kara kutu modellerinin bir kombinasyonu bulunarak ve aralarında bir denge kurulmaya çalışılmıştır.

Bazı çalışmalarda, şeffaf bir modelin genel doğruluğunu artırmak için bazı parçalarının küçük kara kutu algoritmalarıyla değiştirildiği örnekler bulunmaktadır. Bu durumda, yorumlanabilirlik ve tahmin performansı arasında denge sağlanmaya çalışılmaktadır (Luštrek vd., 2021).

Bu yaklaşımlar, yorumlanabilirlik ile doğruluk arasında bir bağlantı kurma gerekliliğini vurgulamaktadır. Her uygulama için en uygun yöntemi seçmek, problemin özelliklerine, gereksinimlerine ve kısıtlamalarına bağlı olarak dikkatli bir değerlendirme gerektirebilir.

Diğer bir seçenek, post-hoc açıklama olarak adlandırılır. Bu yaklaşımda, öncelikle doğru, güvenilir ve karmaşık bir kara kutu model oluşturulur. Daha sonra, bu modelin çıktılarına çeşitli teknikler uygulanarak açıklamalar elde edilir. Bu şekilde, kara kutu modelin sonuçlarına açıklama getirilmeye çalışılır.

Post-hoc açıklama yaklaşımında, asıl hedef, birinci kara kutu algoritmasının nasıl çalıştığını anlamak için ikinci bir model oluşturmaktır. İkinci model, birinci modelin çıktılarından geriye doğru giderek hangi yolun

izlendiğini anlamaya çalışır. Bu ters süreç, çıktıların nasıl üretildiğini anlamak için kullanılır.

Post-hoc açıklama, yorumlanabilirlik için esas alınan bir yaklaşımdır çünkü genellikle karmaşık yapılara sahip olan kara kutu modellerin iç işleyişlerini açıklamak zordur. Bu yaklaşım, kara kutu modellerinin çıktılarına anlaşılabilmesi için kullanılabilir. Ancak, post-hoc açıklama genellikle birinci kara kutu modelin doğruluğunu azaltabilir ve bazen tam olarak açıklama sağlamakta sınırlı kalabilir.

Bu nedenle, post-hoc açıklama yaklaşımı, karmaşık kara kutu modellerin sonuçlarını anlamak ve açıklamak için bir araç olarak kullanılabilir. Ancak, her uygulama için en uygun açıklama yöntemini seçmek için dikkatli bir değerlendirme yapılması gerekmektedir, çünkü farklı teknikler farklı düzeylerde açıklama sağlayabilir.

İki yaklaşım arasındaki seçim, başlangıç algoritmasının ne kadar karmaşık olduğuna bağlıdır; az sayıda parametre kullanılıyorsa, ilk yöntemi uygulamak mümkündür, ancak karmaşıklık artarsa, post-hoc yorumlanabilirliği kullanmak daha iyi olacaktır.

ii. Kapsama bağlı açıklanabilirlik

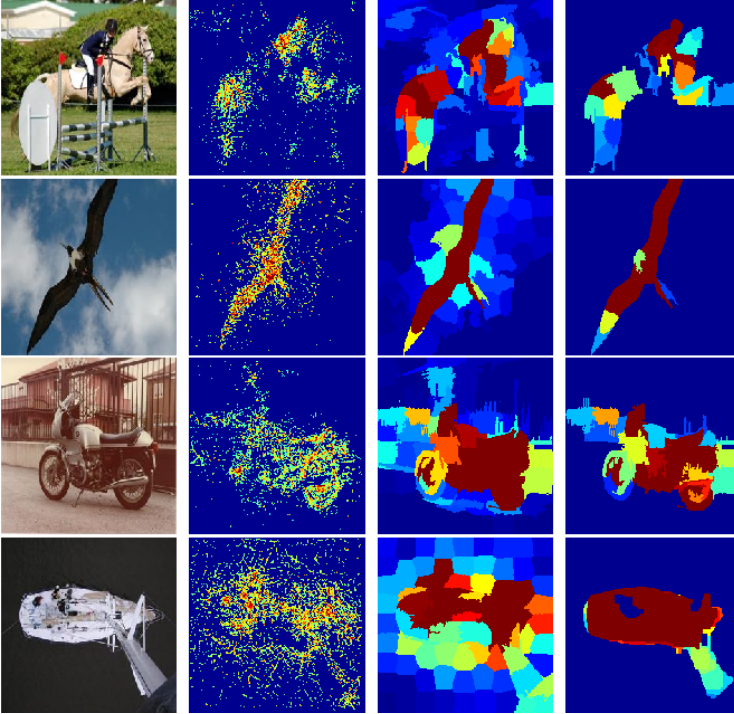
Otomatik sistemleri analiz ederken, yorumlanabilirliklerini inceleyebileceğimiz iki farklı bakış açısı vardır; genel ve yerel yorumlanabilirlik.

Genel yorumlanabilirlik: Bu yaklaşım, sistemdeki işleyişi genel olarak anlamayı hedefler. Bu, modelin iç mekanizmalarının ve girdilerden çıktılara nasıl ulaşıldığının anlaşılmasını içermektedir. Genel anlayış, sistemin bütünüyle ilgilenir ve genel bir resim sunmayı amaçlar. Örnekler arasında, özellik ağırlıklarını gösteren önem sıralamaları, karar yapıları veya genel model yapısı gibi yöntemler yer alır. Örneğin, sistemin hangi özelliklere odaklandığını, hangi veri noktalarının kararları etkilediğini ve nasıl bir sonuca ulaşıldığını anlamaya çalışır. Bu yaklaşım, modelin genel davranışını anlamada yardımcı olabilir.

Yerel yorumlanabilirlik: Bu yaklaşım, sistemden gelen her bir çıktıyı ayrı ayrı analiz etmeyi hedefler. Belirli bir çıktının nasıl üretildiğini anlamayı amaçlar. Bu yaklaşım, tek bir örnek veya çıktı üzerinde odaklanır ve sonuçların nasıl oluştuğunu anlamaya çalışır. Örneğin, belirli bir sınıflandırma kararının hangi özelliklere dayandığını veya bir tahminin hangi faktörlere

dayandığını anlamaya çalışır. Örnekler arasında, bir çıktının girdilere olan katkılarını gösteren öznitelik ağırlıkları, belirginlik haritaları veya örnek tabanlı açıklamalar gibi yöntemler yer alır. Bu yaklaşım, belirli bir çıktının nasıl üretildiğini anlamada yardımcı olabilir. Tipik olarak, vurgulanan özellikler, belirli çıktının tanımına en çok katkıda bulunanlardır. Bu yaklaşım, tüm süreci tek bir çözümde doğrudan öğrenmek yerine, ayrı bölümleri anlamayı tercih ettiğimiz ve ardından bunları genel bir bilgi oluşturmak için birleştirdiğimiz bilişsel sürecimize çok benzer.

Yerel yorumlanabilirlik tekniklerinin bir örneği, görüntü sınıflandırma görevinde kullanılan ve görüntüden çıkarılan ayrıntıları ve çıktıyı oluşturan belirleyiciyi gösteren yöntemlerdir. Şekil 7'de bu tür bir yaklaşımın bir örneği verilmiştir.



Şekil 7: Görüntü analizinde belirginlik haritaları (Pan & Jiang, 2016).

İlginç bir alternatif, ortak özelliklere sahip bir grup oluşturmak için iki grubun olumlu özelliklerini karıştırma olasılığıdır, ancak bu hala araştırma aşamasındadır.

iii. Model bağımlılığına bağlı açıklanabilirlik

Son kategoride, yorumlanabilirlik yöntemleri modele özgü veya agnostik olarak ayrılır. Modele özgü yorumlanabilirlik yöntemleri, belirli bir ML algoritmasıyla güçlü bir şekilde bağlantılıdır. Bu yöntemler, oluşturdukları algoritma türüne özgüdür ve sonuçlar ile açıklamalar arasında güçlü bir ilişki vardır. Bu nedenle, genelleştirilemeyen yöntemlerdir ve sadece belirli bir algoritma tipine uygulanabilirler.

Agnostik yorumlanabilirlik yöntemleri ise belirli bir ML türüne bağlı olmayan genelleştirilebilir yöntemlerdir. Bu yöntemler, tahmin sürecini açıklamaya odaklanır ve genellikle post-hoc yöntemleri içerir. Agnostik yöntemler, genel veya yerel yorumlanabilirlik sağlayabilir ve genellikle yapay sinir ağlarını açıklamak için kullanılırlar. Bu kategori oldukça geneldir, bu nedenle daha önce sunulan yöntemlere benzer şekilde uygulanabilirler. Bu kategoride görselleştirme, bilgi çıkarma, etkileme yöntemleri ve örnek tabanlı açıklamalar olmak üzere dört temel teknik bulunmaktadır:

Görselleştirme: Modelin içeriğini görsel olarak temsil etme ve anlaşılır hale getirme yöntemidir. Örneğin, ağın hangi özelliklere odaklandığını gösteren ısı haritaları veya aktivasyonların görselleştirilmesi gibi teknikler kullanılabilir.

Bilgi çıkarma: Modelin iç yapısından ve parametrelerinden yola çıkarak elde edilen bilgilerin açıklanmasıdır. Örneğin, bir sinir ağının ağırlıklarının önem sıralaması veya özellik seçimi gibi yöntemler kullanılabilir.

Etkileme yöntemleri: Modelin çıktısını değiştirmek veya etkilemek için yapılan deneylerle açıklama yapma yöntemidir. Örneğin, bir modelin çıktısını nasıl değiştireceğini anlamak için girdi özelliklerini manipüle etmek veya modelin duyarlılık analizi yapmak gibi yöntemler kullanılabilir.

Örnek tabanlı açıklamalar: Örnek veri noktalarının model tarafından nasıl işlendiğini ve sonuçların nasıl üretildiğini anlamaya yönelik açıklamaların yapıldığı yöntemdir. Bu yöntemde, örnekler üzerinde deneyler yaparak modelin davranışı hakkında bilgi elde edilir.

Bu yöntemler, modelin yorumlanabilirliğini sağlamak için çeşitli teknikler sunmaktadır. Ancak, her bir yöntemin avantajları ve dezavantajları olduğunu ve doğru şekilde uygulanması gerektiğini unutmamak gereklidir.

Bu kriterler, yani yorumlanabilirliğin karmaşıklığı, yorumlanabilirliğin kapsamı ve belirli bir modeldeki özgüllük, çok çeşitli yorumlanabilirlik yöntemleriyle hızla gelişen bir alana düzen getirmek için teorik kılavuzlar olarak hizmet etmektedir. Bununla birlikte, araştırmadaki sürekli ilerlemeler nedeniyle, belirli bir uygulama için en uygun yöntemin seçimi hala zor olabilir ve eldeki sorunun benzersiz gereksinimlerine ve kısıtlamalarına dayalı olarak dikkatli bir değerlendirme gerektirebilir.

Tıbbi görüntüleme alanında XAI'nin yaygınlaşması ve uygulanması hakkında konuşmak oldukça önemlidir. Birçok algoritma hala araştırma aşamasındadır ve AI teknolojisinin tıbbi görüntüleme alanında yayılması devam etmektedir. Ancak, bazı algoritmalar şu anda bazı klinik alanlarda kullanılmaktadır.

Tıbbi görüntüleme, XAI için büyük bir potansiyele sahiptir çünkü bu alanda algoritmaların doğru ve güvenilir sonuçlar üretmesi hayati önem taşır. XAI, tıbbi görüntüleme algoritmalarının karar süreçlerini ve sonuçlarını anlamamızı sağlayarak, bu alanda güvenilirlik, kabul edilebilirlik ve etik konuları ele almamıza yardımcı olabilir.

3. TIBBİ GÖRÜNTÜLEMEDE YAPAY ZEKA

Tıbbi görüntüler, tıbbın temel araçlarından biri olarak önemlidir ve çeşitli klinik tanı ve anatomik lokalizasyonlara bağlı olarak değişen özelliklere sahiptir. Derin öğrenme algoritmaları, tıbbi görüntüleme alanında cilt, göğüs, beyin, karaciğer gibi birçok alanda önemli uygulamalara sahiptir (Hossain & Muhammad, 2020).

Yorumlanabilir ML, tıbbi görüntüleme alanında kullanıcıların ML sistemlerini sorgulamasına ve anlamasına olanak tanır. Özellikle klinisyenler gibi son kullanıcılar, yorumlanabilir ML modellerini inceleyerek karar süreçlerini anlamak ve geliştirmek isteyebilirler (Ahmad vd., 2021).

Bir AI modelinin sonuçlarına ilişkin açıklamaların mevcudiyeti, modeli iyileştirmek ve modelin eğitildiği büyük veri kümesinden yeni bilgileri ortaya çıkarmak için modelin güçlü ve zayıf yönlerine ilişkin daha fazla bilgi sağlayabilir (Gu vd., 2020). Ayrıca, XAI yaklaşımları, teşhisi bir AI modelinin çıktısından kaynaklanabilecek bir hasta için de anlamlı bilgiler sağlayabilir. Bu, klinisyenler ve hastalar arasında en son teknoloji AI tekniklerinin uygulanmasında güven oluşturur.

Uygulamada, XAI yaklaşımları, özellikle model agnostik post-hoc teknikler yüksek kullanım kolaylığına sahiptir ve tahminlerinden açıklamalar elde etmek için AI/ML modellerinin mevcut uygulamalarına uygun bir şekilde entegre edilebilir (Van der Velden vd., 2022).

Bu bölümde, tıbbi görüntülemeye uygulanan AI yöntemleri ve bunların açıklanabilirlik yöntemlerini kullanan bazı çalışmalar incelenerek kısaca özetlenmiştir.

a. Açıklanabilir yapay zeka ve saldırılara duyarlılık: meme ultrason görüntülerinin sınıflandırılmasında bir vaka çalışması

(Rasaee & Rivaz, 2021) çalışmada, ResNet-50 olarak adlandırılan bir derin öğrenme modeli kullanılmıştır. Çalışmanın ana amacı, modelin karar sürecini açıklamak ve görselleştirmek için bir açıklanabilirlik aracı olan GRAD-CAM'in (Selvaraju vd., 2019) kullanılmasıdır.

Çalışma, öncelikle bir sınıflandırıcıdan geçirilen göğüs kanseri görüntülerini analiz etmek için bir kod çözücü kutusu ve bir kodlama kutusu içeren bir ağı kullanmaktadır. Ayrıca, açıklanabilirlik için çıktı katmanlarında uygulanan XAI görselleştirmeleri ile ilgili olarak etkinleştirme katmanlarına odaklanmaktadır. Rasaee ve diğerleri, bu görselleştirmeleri elde etmek için "hızlı gradyan işareti yöntemi" (I. J. Goodfellow vd., 2021) kullanmışlardır.

Çalışmanın iki farklı veri kümesi üzerinde yapıldığı belirtilmektedir. İlk veri seti, 600 kadın hastadan kaydedilen 780 meme kanseri ultrason görüntüsünden oluşmaktadır (Al-Dhabyani vd., 2020). Bu görüntüler benign (iyi huylu), malign (kötü huylu) ve normal olarak sınıflandırılmıştır. İkinci veri seti ise 250 meme kanseri görüntüsünden oluşmaktadır (Sergio Rodrigues vd., 2019) ve görüntüler iyi huylu ve kötü huylu olarak kategorize edilmiştir.

Çalışmada ayrıca, ikinci veri setinin bazı zorlukları olduğu ifade edilmektedir. Bu zorluklar, görüntü boyutlarının farklı olması ve veri setinin model eğitimi için yeterince büyük olmamasıdır. Bu nedenle, yazarlar tüm görüntüleri 224x224 piksele ölçeklendirip veri büyütme yöntemlerini uygulamışlardır.

Çalışmanın eğitim ve deney aşamaları, hiperparametreler ve eğitim ayarlamaları hakkında daha fazla bilgi verilmemektedir. Ancak, çalışmanın göğüs kanseri görüntülerinde saldırgan saldırıların varlığı ve bunun kanser tipi tahminine müdahalesi konusunda önemli bir tartışma sunduğu belirtilmektedir.

b. Pediatrik pnömoni teşhisi için konvolüsyonel sinir ağları toplulukları (2021)

Bu makalede (Liz vd., 2021), yazarlar düşük veri mevcudiyeti ve kalitesiyle ilgili olarak CNN mimarilerinin sağlamlığını artırmak ve aynı zamanda gerçek tıbbi uygulamalar için yorumlanabilirlik sağlamak amacıyla XAI teknikleriyle birleştirilmiş bir CNN topluluğu önermektedir. Yazarlar, Keras Vis (Kotikalapudi, 2019) paketi kullanarak ısı haritaları oluşturarak bir sınıflandırma örneğinin en etkili piksellerini vurgulamışlardır. Altı farklı CNN mimarisi test edilmiş ve en yüksek dereceli model (FC katmanında 4 evrişim katmanı ve 64 nöron içerir) beş farklı veri seti kıvrımında eğitilmiş ve topluluğun oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu çalışmada iki farklı veri seti kullanılmıştır: biri çocukların akciğerlerinin 950 düşük çözünürlüklü X-ışını görüntülerini içermekte olup halka açık değildir, diğeri ise (Kermany, 2021) tarafından 5.856 adet yüksek çözünürlüklü X-ışını benzeri görüntülerden oluşmaktadır. Sonuçlar, son teknoloji patoloji tespit modeli olan CheXNet ile karşılaştırılmıştır.

Bu topluluk, CheXNet'in ilk veri setinde gösterdiği performansa göre daha iyi sonuçlar vermiştir (ortalama AUC 0.89 - 0.76; ortalama TPR 0.72 - 0.43) ve ikinci veri setinde rekabetçi kalmıştır (AUC 0.96 - 0.94; TPR 0.79 - 0.886). Topluluğun elde ettiği ısı haritaları, her dahili modelin ısı haritalarının ortalamasını alarak oluşturulmuş ve izole edilmiş muadillerinden daha fazla önemli bilgi sunmuştur. Dahili modellerin ısı haritalarının standart sapması hesaplanarak bir belirsizlik ölçüsü elde edilmiş ve bu, tıp uzmanlarının sonuçları analiz ederken daha fazla yardımcı olmuştur.

c. Makula hastalığı sınıflandırmasının post-hoc açıklaması için optik koherens tomografinin transfersiz derin öğrenmesi

(Arefin vd., 2021) yayında, yazarların OCT (optik koherens tomografi) görüntülerinin dört maküla hastalığına sınıflandırılması için transfer öğrenme tekniklerini kullanarak büyük CNN (evrişimli sinir ağı) modellerinin gerekliliğini tartıştığı belirtilmektedir. Bu tür büyük modellerin, çok sayıda katman ve parametre içerdiği ve bu nedenle açıklanabilirliklerini azalttığı ifade edilmektedir.

Bu amaçla, yazarlar, tamamen halka açık OCT görüntülerinden oluşan bir veri kümesinde, dört hastalık sınıfı arasında etiketlenmiş 84.458 örneği kullanarak nispeten küçük bir CNN modeli önermektedir. Bu model sadece 5 konvolüsyonel katman içermektedir. Yazarlar, modelin son

katmanındaki 256 evrişimli filtreyi analiz etmiş ve bu filtrenin çoğunun OCT görüntülerinin sınıflandırması için gereksiz olduğunu keşfetmişlerdir.

Bu çalışmada önerilen modelin doğruluğu, literatürdeki diğer (SOTA) transfer öğrenme modelleriyle karşılaştırılmıştır. Yazarlar, kendi modelinin %97,9 sınıflandırma doğruluğuna ulaştığını, en doğru SOTA modelinin ise %97,7'ye ulaştığını göstermektedir. Ayrıca, modelin son evrişimsel katmanında öğrenilen özelliklerin, hastalık farklılaşması için büyük bir kapasiteye sahip olduğu ve tamamen bağlantılı katmanlara ihtiyaç duymadığı ifade edilmektedir.

Yazarlar, modelin yanlış sınıflandırmalarının açıklamasını sağlamak için otomatik XAI yöntemlerinin uygulanmasının yanı sıra, bir klinisyenin OCT görüntülerinin analizini takip etmesinin önemine vurgu yapmaktadır.

d. X-ışınlarından akciğer hastalığı ve koronavirüs covid-19 tespiti için açıklanabilir derin öğrenme

(Brunese vd., 2020) bu çalışmada, Coronavirüs hastalığına ilişkin Göğüs Röntgeni (CXR) görüntüleri sınıflandırması için bir derin öğrenme modeli kullanımı önerilmektedir. Salgını kontrol altına almak için doğru pozitif vakaların hızlı bir şekilde tespit edilmesi ve yanlış negatifler ile yanlış pozitiflerin doğru şekilde ayrılması önemlidir. Bu nedenle, COVID-19'un otomatik tespiti ve sınıflandırılması önemli bir adım olarak görülmektedir.

Önerilen metodoloji iki aşamalıdır. İlk olarak, sağlıklı ve pulmoner hastalığı olan hastalar arasında bir ayırım yapılır. Ardından, hasta sağlıklı değilse genel pnömoni ve COVID-19 ayırımı gerçekleştirilir. Her iki durumda da ImageNet veri tabanında önceden eğitilmiş bir VGG-16 mimarisi kullanılır ve ince ayar yapılır. Bu şekilde, modelin CXR görüntülerini sınıflandırma yeteneği geliştirilir.

Çalışmada, üç farklı veri seti birleştirilmiştir (Brunese vd., 2020). İlk olarak, COVID-19 vakalarının halka açık CXR görüntüleri kullanılmıştır. İkinci olarak, başka bir çalışmada kullanılan bir veri seti kullanılmıştır. Üçüncü olarak, Ulusal Sağlık Enstitüleri Göğüs Röntgeni'nden elde edilen ve araştırma amacıyla ücretsiz olarak kullanılabilen bir veri seti eklenmiştir. Bu şekilde, daha geniş bir veri seti elde edilerek modelin performansı artırılmıştır.

İki farklı model değerlendirilmiştir. Sağlıklı ve jenerik akciğer hastalıkları arasında ayırım yapan model, 0,96 duyarlılık ve 0,98 özgüllük elde etmiştir. Tamamlayıcı model ise sırasıyla 0,87 duyarlılık ve 0,94 özgüllük

sağlamıştır. Doğruluk açısından, ilk model 0,96 doğruluk oranına ve ikinci model 0,98 doğruluk oranına ulaşmıştır.

Ayrıca, Grad-CAM adı verilen bir yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar görselleştirilmiştir. Bu yöntem, radyologların COVID-19 tespiti için önemli bölgelere odaklanmasını sağlamak amacıyla göğüs boşluğu içindeki alanları ve özellikle akciğerleri vurgulamaktadır. Grad-CAM sonuçları, radyologların CXR görüntülerinde COVID-19 tespiti için önemli bölgeleri doğru bir şekilde analiz ettiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, COVID-19'un otomatik tespitini ve sınıflandırılmasını sağlamak ve bu teknolojiden yararlanabilecek tıp uzmanlarına açıklanabilirlik sağlamaktır.

e. Etki alanına özgü açıklanabilir yapay zekaya doğru: insan yaklaşımı kullanarak bir cilt görüntüsü sınıflandırıcısının model yorumu

(Stieler vd., 2021) bu makale, dermatoloji alanında ABCD kuralını kullanarak bir açıklama modeli önermektedir. Bu model, yerel yorumlanabilir model-agnostik açıklamalara (LIME) dayanmaktadır. Geleneksel LIME yaklaşımından farklı olarak, bu model tıbbi açıdan ilgisiz bozulmalar ekleyerek görüntülere pertürbasyonlar uygulamaktadır. Bu pertürbasyonlar, görüntüleri kaydırma, döndürme ve renk değiştirme gibi yöntemlerle gerçekleştirilir. Sınır pertürbasyonu, negatif veya pozitif olabilir. Negatif pertürbasyonlar, segmentasyonun sınır alanını çıkarır ve lezyonun etrafına bir çizgi çizerken, pozitif pertürbasyonlar lezyonun kenarına bir bulanıklık ekler. Renk pertürbasyonu ise, rengi tekdüzeleştirerek negatif veya rasgele renk yamaları ekleyerek pozitif olabilir.

Makale, nevüs (1354 örnek) ve melanom (216 örnek) olmak üzere iki sınıfı ele alarak problem alanını basitleştirir. Ayrıca, üç farklı hipotez önerir. İlk hipoteze göre, nevüs tahmini pozitif pertürbasyonlarla azalacaktır. İkinci hipoteze göre, nevüs tahmini negatif pertürbasyonlarla artacaktır. Üçüncü hipoteze göre ise, modelin açıklanabilirliği tıbbi açıdan ilgisiz bozulmalara bağlı olacaktır.

Bu hipotezleri test etmek için, ISIC Cilt Lezyonu Sınıflandırma Mücadelesi'nde kullanılan HAM10000 veri seti (Tschandl vd., 2018) ve önceden eğitilmiş bir MobileNet modeli kullanılmıştır. Makale, açıklanabilirlik ile ilgili olmayan sınıflandırıcının F1 puanlarını ve doğru/yanlış pozitif sınıflandırmaları kullanarak bazı ampirik sonuçlar sunar.

Gerçek pozitif sonuçlarla birlikte A ve C hipotezlerini kabul etmeyi savunur, ancak B hipotezini kabul etmez. Yanlış negatif sonuçlarla ise yalnızca A hipotezini kabul ederken B ve C hipotezlerini reddeder. Bu sonuçlara dayanarak makale, ABCD kuralını takip etmek için sonucun açıklamaya çevrilmesi gerektiğini vurgular. Ayrıca, kullanılan pertürbasyonlar ve eğitim için kullanılan özellik boyutu ile ilgili gelecekteki olası çalışmalara da değinir.

f.Karaciğer BT görüntülerindeki segmentasyon kusurlarını iyileştirmek için basamaklı x-dim modellerini birleştirerek açıklanabilir bir derin öğrenme sınır düzeltme yöntemi geliştirme

(Mohagheghi & Foruzan, 2022), bu makalede, karaciğer görüntü segmentasyonu için bir CNN modelinin geliştirilmesi için bir yöntem açıklanmaktadır. Yaklaşım, insan uzmanların karaciğer segmentasyonunu nasıl gerçekleştirdiğini belirlemeyi ve bir CNN'nin çıktısı olan bir segmentin sınırlarını düzeltmek için insan yöntemini kullanmayı amaçlamaktadır.

Yöntem, ilk olarak 3B parçalı bir görüntünün sınırlarını çıkarır ve her dilim için sınır noktalarını belirler. Bu noktaların özellik dizisini elde etmek için işlem yapılır. Ardından, "Sınır Validasyonu" adı verilen 1D 4 katmanlı yoğun bir model kullanılarak sınır noktalarının geçerli olup olmadığı belirlenir. Daha sonra, "Yama" adı verilen değiştirilmiş bir 2D U-Net (2D derin CNN modeli) kullanılarak alanlar düzeltilir ve segmentasyon gerçekleştirilir. Son olarak, geçersiz sınırlar düzeltilmiş görüntülerle değiştirilir.

Bu yöntem, Silver07 (Bandi vd., 2018) ve 3D-IRCADb (Soler vd., 2010) olmak üzere iki genel veri seti üzerinde test edilmiştir. Ayrıca, özel 93 cilt daha kullanılmıştır, ancak bu ciltler özeldir ve ayrı bir amaç için kullanılmıştır. Bu düzeltme yöntemi neredeyse her modelin performansını iyileştirmiştir. Ancak, performansın ilk dilim segmentasyonuna bağlı olduğu belirtilmiştir. Yani, ilk dilimdeki segmentasyon doğruluğu, yöntemin genel performansını etkileyebilir.

g. CXR görüntüsünde COVID-19 teşhisi için açıklanabilir yapay zeka

(Ong vd., 2021) tarafından önerilen çalışma, SqueezeNet (Ucar & Korkmaz, 2020) modelini kullanarak X-ışını taramalarında pnömoni, COVID-19 ve tipik akciğer görüntülerini tanımak için bir yöntem geliştirdi. Ayrıca,

LIME ve SHAP yaklaşımlarını kullanarak açıklanabilir bir boru hattı önerdiler, bu da sonuçları yorumlama becerisini artırmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada COVIDx veri kümesi (Wang vd., 2020) kullanılmıştır. Bu veri kümesi, herkese açık olarak değiştirilmiş farklı veri kümelerinden elde edilen toplam 19.843 X-ray görüntüsünü içermektedir. Bu görüntülerin içinde 8.851 tipik vaka, 6.069 pnömoni vakası ve 4.923 COVID-19 vakası bulunmaktadır. Veri kümesi, modelin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır.

Ayrıca, modelin düzenliliğini artırmak ve aşırı uydurmayı azaltmak için giriş görüntülerine yeniden ölçeklendirme, kesme, yakınlaştırma ve yatay olarak çevirme gibi veri artırma teknikleri uygulanmıştır.

Deney sonuçları, %84,3'lük bir genel doğruluk elde edildiğini göstermiştir. Ancak, en yüksek doğruluk, eğitim veri setinde en fazla ilgili görüntü sayısına sahip olduğu için tipik akciğer tahmini için elde edilmiştir.

Açıklanabilirlik açısından hem SHAP hem de LIME yöntemleri kullanılarak tahminlerde kullanılan görüntü bölgeleri gösterilebilmiştir. Ancak, SHAP sonuçlarının görsel olarak incelenmesi, bu yaklaşımın en ilgili akciğer bölgelerini belirlemede daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu çalışma, SHAP'ın COVID-19 ile ilgili açıklanabilirlik için bilinen ilk uygulaması olduğunu iddia etmektedir.

Yazarlar, SqueezeNet modelinde ince ayar kullanarak doğruluk artışı elde edebileceklerini öne sürmektedirler. Bu, gelecekteki çalışmalar için bir yol olarak önerilmektedir.

h. Spect görüntüsü ve yorumlanabilir yapay zeka kullanarak parkinson hastalığı tanıma: bir eğitim

(Pianpanit vd., 2021) bu makalede, tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi (SPECT) görüntülerine dayalı derin öğrenme Parkinson Hastalığı (PD) tanıma modelleri için uygun bir yorumlama yöntemi seçme prosedürü sunulmuştur. Araştırma, Parkinson ileri göstergeler girişimi (PPMI) veri tabanından elde edilen genel SPECT görüntü veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, 448'i Parkinson hastası ve 159'u sağlıklı olmak üzere toplam 607 denek kullanılmış ve veri seti %80 eğitim, %10 doğrulama ve %10 test verisi olarak bölümlere ayrılmıştır. Yapılan çalışmada, geleneksel

sınıflandırma yöntemleri ve destek vektör makinesi (SVM) sınıflandırıcısı ile iki basit sinir ağı (PD Net ve Deep PD Net) kullanılmıştır.

Sonuçlar, sinir ağları ve yorumlama modellerinin, uzman analizine ve SVM'ye dayalı yöntemlere göre daha iyi performans gösterebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, fazla takma olasılığı gibi bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Yapılan karşılaştırmada, kılavuzlu geri yayılım yöntemi en yüksek Zar katsayısını ve en düşük ortalama kare hatasını göstermiştir. Ayrıca, SHAP yöntemi, PD ve sağlıklı kontrol (NC) denekleri arasındaki farkı daha iyi ayırt ederek en kaliteli ısı haritalarını sağlamıştır.

Bu çalışmanın temel katkısı, belirli bir görev için uygun bir yorumlama yöntemi seçmek için kullanılabilir yorumlanabilir ve XAI yöntemlerinin gösterildiği süreçtir. Bu süreç, diğer görevler ve sorunlar için de uygulanabilir ve araştırmalarda daha fazla açıklanabilirlik sağlayabilir.

i. Patolojik görüntü analizi için konvolüsyonel sinir ağları kullanarak açıklanabilir özellik gömme

(Uehara vd., 2021) Makalede, patolojik görüntülerin analizi için birleşik sinir ağı tabanlı yorumlanabilir bir tanı yöntemi önerilmektedir. Bu yöntem, bir teşhis ağı ve bir görselleştirme ağı olmak üzere iki ağıdan oluşmaktadır.

Teşhis ağı, girdi olarak verilen görüntüleri bir özellik uzayına gömer. Bu özellikler, patolojik özelliklere karşılık gelen ayrık değişken dizileriyle eşlenir ve ardından görüntüyü sınıflandırmak için evrişimli bir ağ kullanılır. Diğer bir deyişle, teşhis ağı, görüntülerin içerdikleri patolojik özelliklere dayalı olarak sınıflandırılmasını gerçekleştirir. Görselleştirme ağı ise öğrenilen patolojik özelliklerin her birini temsil eden net görüntüler üretebilen bir PixelCNN (Van den Oord vd., 2016) modelidir. Bu sayede, patolojik özelliklerin görsel olarak nasıl görüneceği görselleştirilebilir.

Yöntem, Kylberg doku veri setinde (RAMELLA & SANNITIDIBAJA, 1997) doğrulandıktan sonra gerçek patolojik rahim ağzı görüntülerine uygulandı. Yöntemin doğruluğu %99,3 olarak belirlendi. Ayrıca, önerilen yöntem, daha önceki çalışmalardan farklı olarak açıklanabilir sonuçlar sağlamaktadır. Bu da, evrişimli ağların gerçekleştirdiği teşhislerin güvenilirliğini artıran bir avantajdır. Makalede ayrıca, önerilen iki ağ mimarisinin, kara kutu modelleriyle karşılaştırıldığında önemli avantajlar sunduğu belirtilmektedir. Görselleştirme ağının sağladığı açıklanabilirlik,

teşhislerin güvenilirliğini artırmaktadır. Bu, makalenin temel katkılarından biri olarak vurgulanmaktadır.

Sonuç olarak, makalede önerilen yöntem, patolojik görüntülerin analizi için yorumlanabilir bir tanı yöntemi sunmaktadır. İki ağ mimarisi, teşhisin yanı sıra patolojik özelliklerin görselleştirilmesini de sağlayarak, güvenilirlik ve açıklanabilirlik açısından avantajlar sunmaktadır.

j. Açıklanabilir yapay zeka ile sıtma hücresi görüntü sınıflandırması

(Raihan & Nahid, 2022) bu makale, sıtma bulaşmış hücreleri saptamak için bir uygulama önermektedir. Gri tonlamalı hücre görüntülerinden ilgili özellikleri çıkarmak ve seçmek için ML algoritmalarının bir kombinasyonunu kullanmaktadır. Ardından, parazitlenmiş hücreleri tanımlamak için bir XGBoost (Chen & Guestrin, 2016) sınıflandırıcısı kullanılmaktadır. Yazarlar, model sonuçlarını ve seçilen her bir özelliğin katkısını yorumlamak için SHAP yöntemini kullanmışlardır.

Bu makalenin ana katkısı, özellik çıkarma algoritması ve SHAP analizidir. Önce görüntü boyutunu küçültmek ve özellikleri çıkarmak için bir Dalgacık Paket Ayırıştırması (WPD) (Huang & Aviyente, 2008) kullanılmıştır. Daha sonra bu özellikler "yaklaşık" olarak adlandırılan küçük bir evrişimli sinir ağına beslenmiştir. Bu sinir ağı, sınıflandırma için eğitilmiş olsa da, özellikleri kodlamak için sadece evrişimli katmanlar ve ilk tam bağlantılı katman kullanılmıştır. Kodlanmış çıktı, Balina Optimizasyon Algoritması (WOA) kullanılarak analiz edilir ve optimal özellik seti çıkarılır.

Bu çerçeveden çıkarılan özellikler XGBoost modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, %94,78 doğruluk, %94,39 kesinlik, %95,21 hatırlama ve %94,80 F1 puanı şeklindedir. Bu sonuçlar, diğer çalışmalara kıyasla daha düşük doğruluk elde edilmesine rağmen, daha açıklanabilir bir çerçeve sunmaktadır. Diğer çalışmalar genellikle daha karmaşık modeller kullanarak daha yüksek doğruluk elde etmişlerdir, ancak bu modellerin nasıl çalıştığına dair daha az anlaşılır bilgiler sunulmaktadır.

k. Xvitcos: radyografi kullanarak açıklanabilir görüntü dönüştürücü tabanlı COVID-19 taraması

COVID-19 salgınıyla birlikte, daha hızlı teşhis yöntemlerine olan ihtiyaç artmıştır. (Mondal vd., 2021) makalesine göre, RT-PCR testinin güvenilir olduğu ancak sonuçlar için uzun bir bekleme süresi gerektiği

belirtilmektedir. Bu ihtiyaçtan hareketle, derin öğrenme tekniklerinin akciğer röntgen ve bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülerinde kullanılmasıyla yeni bir tanı yöntemi önerilmektedir.

Makalede belirtilene göre, COVID-19 ile enfekte olmuş hastaların akciğerlerinde, X-ışını ve BT görüntülerinde buzlu cam benzeri bir görüntülenme olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, araştırmacılar bu fikirden yola çıkarak bu tür bir tanı yöntemi geliştirmeye karar vermişlerdir. Ancak, bu tür bir tanıyı içeren çalışmalar genellikle hesaplama açısından maliyetli olabilir ve genellikle görüntüye genel bir bakış açısı olmadığı için yorumlama hatalarına yol açabilir.

(Mondal vd., 2021) makalesi, COVID-19 sınıflandırması için Vision Transformer (ViT) kullanmayı hedefleyen çok aşamalı bir transfer öğrenimi yaklaşımını benimsemektedir. Model, CT görüntüleri için xViTCOS-CT ve X-ray görüntüleri için xViTCOS-CXR olarak adlandırılmaktadır. Araştırma, 16 x 16 adımları olan ViT-B/16 mimarisini seçmiştir. Modelin performansını iyileştirmek için çok aşamalı bir transfer öğrenme yaklaşımı kullanılmıştır. İlk olarak, model ImageNet-21k veri kümesinde eğitilmiş ve ardından ImageNet-2012 üzerinde ince ayar yapılmıştır. Son olarak, model bir göğüs radyografisi veri tabanında da ince ayar yapmıştır.

Çalışmanın performansını değerlendirmek için doğruluk, kesinlik, geri çağırma, F1 puanı, spesifiklik ve negatif öngörü değeri gibi metrikler kullanılarak bir karşılaştırma yaklaşımı geliştirilmiştir. xViTCOS-CT, en yüksek doğruluk ve F1 puanına sahip olmasının yanı sıra yüksek geri çağırma, kesinlik ve F1 puanı değerlerine de sahiptir. xViTCOS-CXR ise diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk ve geri çağırma, kesinlik ve F1 puanı değerleri ile daha iyi performans göstermiştir.

Ayrıca, açıklanabilirlik için Gradient Attention Rollout algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmanın sonuçları radyologların yorumlarıyla karşılaştırılmış ve her iki modelin de tüm bölgeleri doğru bir şekilde sınıflandırabildiği ve doğru tanı koyabildiği gösterilmiştir.

1. Karşı olgusal etki analizi ile etki alanına duyarlı tıbbi görüntü sınıflandırıcı

Bu makalede (Lenis vd., 2020), yapay sinir ağları kullanılarak gerçek zamanlı patoloji sınıflandırıcı yorumlaması için yeni bir çerçeve sunulmaktadır. Yazarlar, bu çerçevenin kullanıcının patoloji anlayışıyla

ilişkilendirerek ve tahmine olan güveni güçlendirerek klinik uygulamalar için potansiyel içgörüler sağlayabileceğini belirtmektedir.

Çalışmada, göğüs röntgeni görüntüleri içeren DDSM (PUB vd., 1996) ve CBIS-DDSM (Lee vd., 2017) veri kümeleri kullanılmıştır. MobileNet sınıflandırıcı ile sağlıklı ve kitleli taramalar arasında ayırım yapmak için deneyler yapılmıştır. Ayrıca, mamografi ve CheXpert veri kümelerindeki sağlıklı veya tüberküloz vakalarının ikili sınıflandırma görevi için ağ da kullanılmıştır.

Yazarlar, elde edilen sonuçları GradCAM ve Saliency yöntemleriyle karşılaştırmışlardır. Sonuçlara göre, yazarlarının çerçevesinin, görüntülerin temel gerçeğiyle karşılaştırıldığında patoloji dokusunun haritalanmasında daha yüksek doğruluk sağladığı bulunmuştur. Ayrıca, diğer XAI yöntemleriyle karşılaştırıldığında, yazarların çerçevesinin mamografi ve CheXpert veri kümelerinde haritaları türetmek için daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

m. X-mir: açıklanabilir tıbbi görüntü alma

(Hu vd., 2022) tıbbi görüntüleme alanında benzerlik tabanlı belirginlik haritalarını değerlendirmek ve geliştirmek için alternatif bir çözüm sunmaktadır. COVID-19 göğüs röntgenleri ve International Skin Imaging Collaboration 2017 (ISIC) veri seti kullanılarak yapılan çalışmada, eğitim veri kümesindeki COVID-19 görüntülerinin sayısı sınırlı olduğundan dengesizlik söz konusudur.

Makalenin ana katkıları; Derin bir metrik öğrenme çerçevesi geliştirerek sorgu görüntülerinden ve genel veri kümesinden benzer görüntüleri bulmak, tıbbi görüntüler üzerinde eğitilmiş derin metrik öğrenme modelleri kullanarak benzerlik tabanlı belirginlik haritaları uygulamak, kosinüs benzerliğine dayalı metrikler kullanarak benzerlik tabanlı belirginlik haritalarını niteliksel olarak değerlendirmek.

Sonuç olarak, makale tıbbi görüntüleme alanında umut verici bir XAI tekniği olan benzerlik tabanlı belirginlik haritalarının farklı biçimlerini ve değerlendirme metriklerini göstermektedir.

n. ExAID: cilt lezyonlarının bilgisayar destekli teşhisi için çok modlu bir açıklama çerçevesi

(Lucieri vd., 2022) ExAID çerçevesini ve cilt lezyonlarını tanımlamak için kullanımını açıklamaktadır. ExAID çerçevesi, insan tarafından anlaşılabilir kavramları eşlemek için Kavram Aktivasyon Vektörleri (CAV'ler) ve girdi alanındaki kavramları vurgulamak için Kavram Konum Haritaları (CLM'ler) kullanılmıştır. Bu çerçeve, tıbbi ve eğitim araştırmaları için araçlar sağlayarak AI'nin tıbbi iş akışına şeffaf ve anlaşılır bir şekilde entegre edilmesini sağlamaktadır.

Makalede bahsedilen hastalık düzeyi sınıflandırma eğitim seti, Melanom ve Nevi görüntülerinden oluşmaktadır. Bu veri seti, ISIC 2019, PH2 ve derm7pt veri setlerinden elde edilen farklı sınıflara ait 25.331 resimden oluşan bir koleksiyondur.

Sınıflandırıcıların eğitimi için, özellikle PH2 ve derm7pt veri setlerinde bulunmayan özel dermoskopik kavramlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veri setleri, renk ve lezyon segmentasyon maskeleri ve çeşitli kavramların varlığı veya yokluğu ile ilgili açıklamalar sağlamaktadır. ExAID, dermatolojik bağlamın ötesinde genel bir araç kutusu olarak kullanılabilen bir derin öğrenme modeline dayalı bir araçtır. ExAID, Tanımlama Kavramı, Kavram Konumlandırma ve Karar Açıklama modüllerinden oluşmaktadır.

Sonuçlar, tutarlı metinler ve basit bir açıklama, yokluk, orta düzeyde kanıt ve kavramlara ilişkin güçlü kanıt içeren değerlendirmeler sağlamaktadır. ExAID ile bir veri kümesindeki tüm örnekler için kavramların konumunu aynı anda görüntülemek mümkündür. Bu, bir modelin kavram yerelleştirme davranışının hızlı bir şekilde incelenmesine olanak tanır ve sistemin davranışını doğrulamaya ve veri kümesindeki olası sistemsel hataları belirlemeye yardımcı olur.

o. ExplAIn: diyabetik retinopati teşhisi için açıklayıcı yapay zeka

(Lucieri vd., 2022) Diyabetik Retinopati'nin teşhisinde kullanılmak üzere XAI kullanımının faydalı olabileceği belirtilmektedir. Geleneksel AI sistemleri, karmaşık bir sınıflandırma sürecini geriye dönük olarak analiz etmeye çalışırken, XAI yöntemi doğrudan anlaşılabilir bir şekilde sınıflandırma sürecini değiştirir.

ExplAIn adı verilen bu açıklayıcı yapay zeka çerçevesi, diyabetik retinopatiyi tarama amacıyla kullanılan görüntülerde lezyonları segmentlere

ayırarak ve kategorize ederek çalışmaktadır. Bu çerçeve, görüntü denetimi, yaranma kavramları ve kategorilerinin kendi kendine ortaya çıkmasıyla uçtan uca eğitilir. Bu sayede, otomatik teşhisler basit bir şekilde resimlerle veya birkaç cümleyle açıklanabilir hale gelir.

Açıklayıcı yapay zeka, kullanıcılara algoritmalar ve kararlar hakkında açıklama yapma hakkı verme amacı güden bir araştırma alanıdır. Bu yaklaşım, AI'nin güvenilirliğini artırmak ve doktorların ile hastaların güvenini kazanmak için önemlidir. Ayrıca, Avrupa düzenlemeleri ve diğer kurallar da açıklanabilirliği teşvik etmektedir.

Yazarlar, ExplAI'nin çerçevesinin yüksek sınıflandırma ve açıklanabilirlik performansı sunarak AI'nin uygulanmasını kolaylaştıracağını ve doktorlar ile hastaların güvenini kazanacağını ummaktadır. Bu tür gelişmeler, diyabetik retinopati teşhisinde AI'nin kullanımını daha etkili hale getirebilir ve görme bozukluğu ve körlük gibi sorunların tespitinde erken müdahale sağlayabilir.

4. TARTIŞMA

XAI yöntemlerinin etkinliğini değerlendirmek için standart bir metrik veya prosedür olmaması, yorumlanabilirliğin ve tanımının uygulanabilir senaryolara göre değişebilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, her araştırmacının kendi modelinin açıklanabilirliğini kendi yöntemleriyle değerlendirmesine yol açar. Bu da XAI alanında karşılaşılan önemli bir sorundur. Bir yöntemin ne kadar etkili olduğunu belirlemek için karşılaştırılabilir ve tekrarlanabilir bir değerlendirme sürecine ihtiyaç vardır.

Tıbbi görüntüler ve modeller için de benzer bir standardizasyon eksikliği vardır. Tıp alanı çok geniş bir alandır ve her uygulama için performans değerlendirmesini küresel olarak düzenlemenin kolay bir yolu bulunmamaktadır. Tıp alanında, farklı modalitelerde çalışmalar yapılmakta olup, her biri kendi özel zorluklarına sahiptir. Bu da genel geçerli bir değerlendirme sürecini zorlaştırır.

Mevcut çalışmaların çoğunda, yaygın olarak kullanılan derin öğrenme mimarileri olan CNN'ler tercih edilmektedir. Ancak bu mimariler, güçlü özellikleri doğru bir şekilde öğrenmek için büyük miktarda veri gerektirir. Tıp alanında geniş ve yoğun bir veri tabanı bulunmadığından, her çalışmanın veri toplamak için zaman harcaması gerekmektedir. Bu da tıp alanında XAI çalışmalarının önündeki bir diğer zorluktur.

İncelenen çalışmalarda kullanılan birçok veri seti, gizlilik gereklilikleri nedeniyle özel verilere dayanmaktadır. Bu durum, katkıların yeniden üretilebilirliğini zorlaştırır ve araştırmaların sonuçlarının diğer araştırmacılar tarafından doğrulanmasını engelleyebilir. Bazı çalışmalar, otomatik bir XAI sistemi geliştirmek yerine, uzmanların model tahminlerini analiz etmesinden yararlanır. Bu, daha önce belirtilen zorluklara rağmen, XAI'nın uygulama alanlarında gerçek dünya etkisini artırmak için uzman bilgisinin önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, tıbbi görüntüleme alanında XAI çalışmalarının incelenmesi yapılmıştır. İncelenen eserler arasında çeşitli tıbbi görüntüleme uygulamaları üzerinde yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

İncelenen makalelerde kullanılan XAI teknikleri, farklı görüntü bölgelerinin nihai tahmin üzerindeki etkisini açıklamak için kullanılmaktadır. Basitlikleri ve yorumlanabilirlikleri nedeniyle genel amaçlı XAI çerçeveleri, derin öğrenme alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Önerilen modeller, doktorların rutin önyargıları nedeniyle erken teşhis yapmaktan kaçınmalarını önlemek için tasarlanmıştır. Bu modeller, doktorlara yeniden düşüncelerini sağlayan ve ikinci bir görüş sunan sonuçlar üretebilir.

CNN (Evrizimli Siner Ağları), incelenen makalelerde en çok kullanılan ML tekniğidir. Bu teknik, tıbbi görüntü anlayışı için popüler bir araçtır ve yüksek doğrulukla tanı koymada etkilidir.

COVID-19 ve pnömoni gibi hastalıklar, incelenen çalışmalarda en çok ele alınan patolojilerdir. Bu, 2020'den bu yana yayınlanan çalışmalara odaklandığımız için COVID-19 pandemisinin etkilerinden kaynaklanmaktadır.

Tıpta derin öğrenme uygulamalarını zenginleştirmek, önemli özellikleri öğrenmek için modellerin ön eğitim yoluyla yoğun ve çeşitli bir tıbbi görüntü veritabanına ihtiyaç vurgulanmıştır. Tıbbi görüntülerdeki karmaşıklıkları daha iyi yakalamak için ImageNet gibi genel veri setlerinin yanı sıra tıbbi veri setlerinin oluşturulması önerilmektedir.

Bu inceleme, tıbbi görüntülerde XAI'nin kullanımının önemli bir potansiyeli olduğunu ortaya koymaktadır. Doktorlara daha fazla anlayış ve yeni perspektifler sunabilen açıklanabilir modellerin geliştirilmesi, tıp alanında daha güvenilir ve etkili kararlar almayı destekleyecektir. Ancak,

daha fazla çalışmanın yapılması ve tıbbi görüntüler için özel veri setlerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu özel veri setleri, tıbbi görüntülerin karmaşıklıklarını ve çeşitliliğini yansıtacak şekilde oluşturulmalıdır. Böyle bir veri tabanı, derin öğrenme modellerinin daha iyi performans göstermesini ve daha doğru sonuçlar üretmesini sağlayabilir.

Ayrıca, XAI alanında daha fazla çalışmanın yapılması gerekmektedir. Çalışmalar, farklı açıklanabilirlik tekniklerinin etkisini karşılaştırmalı bir şekilde değerlendirmeli ve hangi tekniklerin hangi durumlarda daha iyi performans gösterdiği belirlenmelidir. Ayrıca, tıp alanındaki uzmanların bu teknikleri nasıl kullanabilecekleri ve sonuçları nasıl yorumlayabilecekleri konusunda rehberlik sağlayacak kılavuzlar ve yönergeler geliştirilmelidir.

Sonuç olarak, tıp alanında XAI teknikleri büyük bir potansiyele sahiptir. Bu teknikler, doktorların karar verme sürecine daha fazla anlaşılabilirlik ve güven sağlayabilir. Ancak, daha fazla araştırma, özel veri setleri ve yönergeler geliştirilmesi gerekmektedir. Bu şekilde, tıpta XAI modellerinin kullanımı daha yaygın hale gelebilir ve klinik uygulamalarda gerçek dünya faydaları sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Ahmad, M. A., Eckert, C., Allen, C., Kumar, V., Hu, J., & Teredesai, A. (2021). Fairness in Healthcare AI. *2021 IEEE 9th International Conference on Healthcare Informatics (ICHI)*, 554-555.
- Al-Dhabyani, W., Gomaa, M., Khaled, H., & Fahmy, A. (2020). Dataset of breast ultrasound images. *Data in brief*, 28, 104863.
- Amiri, S. S., Mottahedi, S., Lee, E. R., & Hoque, S. (2021). Peeking inside the black-box: Explainable machine learning applied to household transportation energy consumption. *Computers, Environment and Urban Systems*, 88, 101647.
- Ardakani, A. A., Kanafi, A. R., Acharya, U. R., Khadem, N., & Mohammadi, A. (2020). Application of deep learning technique to manage COVID-19 in routine clinical practice using CT images: Results of 10 convolutional neural networks. *Computers in Biology and Medicine*, 121, 103795. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2020.103795>
- Arefin, R., Samad, M. D., Akyelken, F. A., & Davanian, A. (2021). Non-transfer deep learning of optical coherence tomography for post-hoc explanation of macular disease classification. *2021 IEEE 9th International Conference on Healthcare Informatics (ICHI)*, 48-52.
- Arrieta, A. B., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., García, S., Gil-López, S., Molina, D., & Benjamins, R. (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information fusion*, 58, 82-115.
- Bandi, P., Geessink, O., Manson, Q., Van Dijk, M., Balkenhol, M., Hermsen, M., Bejnordi, B. E., Lee, B., Paeng, K., & Zhong, A. (2018). From detection of individual metastases to classification of lymph node status at the patient level: The camelyon17 challenge. *IEEE transactions on medical imaging*, 38(2), 550-560.
- Bengio, Y., Courville, A., & Vincent, P. (2013). Representation Learning: A Review and New Perspectives. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(8), 1798-1828. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2013.50>
- Bishop, C. M., & Nasrabadi, N. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning* (C. 4, Sayı 4). Springer.
- Briganti, G., & Le Moine, O. (2020). Artificial intelligence in medicine: Today and tomorrow. *Frontiers in medicine*, 7, 27.

- Brunese, L., Mercaldo, F., Reginelli, A., & Santone, A. (2020). Explainable deep learning for pulmonary disease and coronavirus COVID-19 detection from X-rays. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 196, 105608.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). Xgboost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining*, 785-794.
- Das, A., & Rad, P. (2020). *Opportunities and Challenges in Explainable Artificial Intelligence (XAI): A Survey*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2006.11371>
- Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Kai Li, & Li Fei-Fei. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database. *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 248-255. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848>
- Elton, D. C. (2020). Self-explaining AI as an alternative to interpretable AI. *Artificial General Intelligence: 13th International Conference, AGI 2020, St. Petersburg, Russia, September 16–19, 2020, Proceedings 13*, 95-106.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press.
- Goodfellow, I. J., Shlens, J., & Szegedy, C. (2021). Explaining and harnessing adversarial examples.(2014). *arXiv preprint arXiv:1412.6572*.
- Gu, R., Wang, G., Song, T., Huang, R., Aertsen, M., Deprest, J., Ourselin, S., Vercauteren, T., & Zhang, S. (2020). CA-Net: Comprehensive attention convolutional neural networks for explainable medical image segmentation. *IEEE transactions on medical imaging*, 40(2), 699-711.
- Gunning, D., Stefik, M., Choi, J., Miller, T., Stumpf, S., & Yang, G.-Z. (2019). XAI—Explainable artificial intelligence. *Science robotics*, 4(37), eaay7120.
- Gunning, D., Vorm, E., Wang, Y., & Turek, M. (2021). DARPA's explainable AI (XAI) program: A retrospective. *Authorea Preprints*.
- Haenlein, M., & Kaplan, A. (2019). A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence. *California Management Review*, 61(4), 5-14. <https://doi.org/10.1177/0008125619864925>

- Hossain, M. S., & Muhammad, G. (2020). Deep learning based pathology detection for smart connected healthcare. *IEEE Network*, 34(6), 120-125.
- Hu, B., Vasu, B., & Hoogs, A. (2022). X-MIR: EXplainable Medical Image Retrieval. *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, 440-450.
- Huang, K., & Aviyente, S. (2008). Wavelet feature selection for image classification. *IEEE Transactions on Image Processing*, 17(9), 1709-1720.
- Islam, S. R., Eberle, W., Ghafoor, S. K., & Ahmed, M. (2021). Explainable artificial intelligence approaches: A survey. *arXiv preprint arXiv:2101.09429*.
- Kar, K., Kornblith, S., & Fedorenko, E. (2022). Interpretability of artificial neural network models in artificial intelligence versus neuroscience. *Nature Machine Intelligence*, 1-3.
- Kermany, D. S. (2021). Identifying medical diagnoses and treatable diseases by image-based deep learning. *Cell* 172, 1122–1131 (2018). *Scientific Reports*, 11, 18005.
- Kotikalapudi, R. (2019). *Contributors. Keras-vis. GitHub*.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60(6), 84-90. <https://doi.org/10.1145/3065386>
- Lee, R. S., Gimenez, F., Hoogi, A., Miyake, K. K., Gorovoy, M., & Rubin, D. L. (2017). A curated mammography data set for use in computer-aided detection and diagnosis research. *Scientific data*, 4(1), 1-9.
- Lenis, D., Major, D., Wimmer, M., Berg, A., Sluiter, G., & Bühler, K. (2020). Domain aware medical image classifier interpretation by counterfactual impact analysis. *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention–MICCAI 2020: 23rd International Conference, Lima, Peru, October 4–8, 2020, Proceedings, Part I 23*, 315-325.
- Liz, H., Sánchez-Montañés, M., Tagarro, A., Domínguez-Rodríguez, S., Dagan, R., & Camacho, D. (2021). Ensembles of Convolutional Neural Network models for pediatric pneumonia diagnosis. *Future Generation Computer Systems*, 122, 220-233.
- Lucieri, A., Bajwa, M. N., Braun, S. A., Malik, M. I., Dengel, A., & Ahmed, S. (2022). ExAID: A multimodal explanation framework for computer-aided diagnosis of skin lesions. *Computer Methods and*

- Programs in Biomedicine*, 215, 106620.
<https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106620>
- Luštrek, M., Džeroski, S., Gjoreski, M., & Gams, M. (2021). Learning comprehensible and accurate hybrid trees. *Expert Systems with Applications*, 164, 113980.
- Mitchel, T. (1997). *Machine Learning, McGraw-Hill Education (ISE Editions)*.
- Mohagheghi, S., & Foruzan, A. H. (2022). Developing an explainable deep learning boundary correction method by incorporating cascaded x-Dim models to improve segmentation defects in liver CT images. *Computers in biology and medicine*, 140, 105106.
- Mondal, A. K., Bhattacharjee, A., Singla, P., & Prathosh, A. P. (2021). XViTCOS: explainable vision transformer based COVID-19 screening using radiography. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 10, 1-10.
- Ong, J. H., Goh, K. M., & Lim, L. L. (2021). Comparative analysis of explainable artificial intelligence for covid-19 diagnosis on cxr image. *2021 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA)*, 185-190.
- Öztürk, K., & Şahin, M. E. (2018). Yapay sinir ağları ve yapay zekâ'ya genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*, 6(2), 25-36.
- Pan, H., & Jiang, H. (2016). *A Deep Learning Based Fast Image Saliency Detection Algorithm* (arXiv:1602.00577). arXiv. <http://arxiv.org/abs/1602.00577>
- Pianpanit, T., Lolak, S., Sawangjai, P., Sudhawiyangkul, T., & Wilaiprasitporn, T. (2021). Parkinson's disease recognition using SPECT image and interpretable AI: A tutorial. *IEEE Sensors Journal*, 21(20), 22304-22316.
- PUB, M. H., Bowyer, K., Kopans, D., Moore, R., & Kegelmeyer, P. (1996). The digital database for screening mammography. *Proceedings of the Third International Workshop on Digital Mammography, Chicago, IL, USA*, 9-12.
- Raihan, M. J., & Nahid, A.-A. (2022). Malaria cell image classification by explainable artificial intelligence. *Health and Technology*, 12(1), 47-58.
- RAMELLA, G., & SANNITIDIBAJA, G. (1997). Centre for Image Analysis, Swedish University of Agricultural Sciences. *Advances In Visual*

Form Analysis: Proceedings Of The 3rd International Workshop On Visual Form, 31.

- Rasaee, H., & Rivaz, H. (2021). Explainable AI and susceptibility to adversarial attacks: A case study in classification of breast ultrasound images. *2021 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, 1-4.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *nature*, 323(6088), 533-536.
- Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., & Batra, D. (2019). Grad-CAM: visual explanations from deep networks via gradient-based localization. ArXiv: 161002391v4. *Explan. Vis. Networks, Deep Localization, Gradient-based Networks, Deep*, 1-22.
- Sergio Rodrigues, P., Wachs-Lopes, G., Morello Santos, R., Coltri, E., & Antonio Giralardi, G. (2019). A q-extension of sigmoid functions and the application for enhancement of ultrasound images. *Entropy*, 21(4), 430.
- Soler, L., Hostettler, A., Agnus, V., Charnoz, A., Fasquel, J., Moreau, J., Osswald, A., Bouhadjar, M., & Marescaux, J. (2010). 3D image reconstruction for comparison of algorithm database: A patient specific anatomical and medical image database. *IRCAD, Strasbourg, France, Tech. Rep, 1(1)*.
- Stieler, F., Rabe, F., & Bauer, B. (2021). Towards domain-specific explainable ai: Model interpretation of a skin image classifier using a human approach. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1802-1809.
- Tan, P.-N., Steinbach, M., & Kumar, V. (2016). *Introduction to data mining*. Pearson Education India.
- Tschandl, P., Rosendahl, C., & Kittler, H. (2018). The HAM10000 dataset, a large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions. *Scientific data*, 5(1), 1-9.
- Ucar, F., & Korkmaz, D. (2020). COVIDiagnosis-Net: Deep Bayes-SqueezeNet based diagnosis of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) from X-ray images. *Medical hypotheses*, 140, 109761.
- Uehara, K., Murakawa, M., Nosato, H., & Sakanashi, H. (2021). Explainable feature embedding using convolutional neural networks for pathological image analysis. *2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 4560-4565.

- Van den Oord, A., Kalchbrenner, N., Espeholt, L., Vinyals, O., & Graves, A. (2016). Conditional image generation with pixelcnn decoders. *Advances in neural information processing systems*, 29.
- Van der Velden, B. H., Kuijff, H. J., Gilhuijs, K. G., & Viergever, M. A. (2022). Explainable artificial intelligence (XAI) in deep learning-based medical image analysis. *Medical Image Analysis*, 102470.
- Wang, L., Lin, Z. Q., & Wong, A. (2020). Covid-net: A tailored deep convolutional neural network design for detection of covid-19 cases from chest x-ray images. *Scientific reports*, 10(1), 1-12.
- Zhang, Q., Yu, H., Barbiero, M., Wang, B., & Gu, M. (2019). Artificial neural networks enabled by nanophotonics. *Light: Science & Applications*, 8(1), 42.

BÖLÜM 3

DESİKANT NEM ALMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ VE UYGULAMALARI

İrfan UÇKAN^{*1}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8417422>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
65080, Van /Türkiye İrfan UÇKAN ORCID No: 0000-0003-3679-5661

*Sorumlu yazar e-posta: irfanuckan@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzün en önemli sorunlarından biri, mahal soğutma uygulamaları için enerji tüketiminin her geçen gün artmasıdır. Dünyanın pek çok yerinde binaların ısıtma ve soğutması için büyük miktarda yüksek oranda elektrik enerjisi gerektiren geleneksel buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri tarafından yapılmaktadır. Buhar sıkıştırımlı soğutma tabanlı klimaların kullanımından dolayı artan CFC seviyeleri ozon tabakasının incelmeye ve bu tabakanın delinmesine yol açmaktadır. Elektrik santrallerinde üretilen elektrik enerjisinin büyük bir kısmı (%50), iç ısı konfor koşullarını korumak için kullanılmaktadır. Tüm dünyada yaklaşık 368 milyon kurulu klima ve ısı pompası bulunmaktadır (Ahlem ve ark., 2016). Çoğu durumda, gerekli ve ihtiyaç duyulan enerji, soğutma veya ısıtma klima sistemlerini çalıştırmak için kullanılan elektrik enerjisidir (IEA, 2008). Ayrıca elektrik üretim santrallerinde elektrik üretimi için kullanılan egzoz emisyonları da küresel ısınma başta olmak üzere pek çok çevre sorununu ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, bina sektörünün enerji tüketimini ve sera gazı emisyonunu azaltırken, yenilenebilir enerji kullanımı ve temiz, verimli ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Edmonds, 2004; Aldy & Stavins, 2008).

Ayrıca, dünyanın birçok yerindeki gelişmelere bağlı olarak iç ortam soğutma uygulamalarına olan talebin sürekli artması, araştırmacıları yukarıda belirtilen sorunların üstesinden gelmek için alternatif iklimlendirme teknolojilerini araştırmaya zorlamıştır. Son zamanlarda desikant nem almalı soğutma, geleneksel buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinin kullanımından kaynaklanan çevresel ve ekonomik sorunların çözülmesine yardımcı olan soğutma ve iklimlendirme için daha yeni yaklaşımlar sunmaktadır. Desikant soğutma sistemi, en az elektrik gücüyle termal enerjinin optimum kullanımıyla gerekli iç ortam konfor şartlarını koruyabilmektedir. Ayrıca, güneş enerjisi, atık ısı ve doğal gaz gibi düşük enerjili ısı kaynakları kullanılarak işletme maliyetleri daha da düşürülebilmektedir. Bunun nedeni, Desikant nem alma cihazının desorpsiyonunda kullanılan reaktivasyon havasını ısıtmak için güneş enerjisi veya atık termal enerjinin kullanılmasının, rejenerasyon ısıtıcısının yüksek elektrik tüketimi sorununun hafifletilmesine yardımcı olabilmesidir. Yaz aylarında en yüksek soğutma talebi, güneş enerjisi destekli desikant soğutma teknolojilerinden yararlanmak için mükemmel bir fırsat sunan yüksek güneş radyasyonu ile ilişkilidir. Desikant soğutma sistemleri çevreci bir soğutma sistemi olduğu için ilaç sanayi,

hastaneler, süpermarketler, restoranlar, tiyatro, okullar ve ofis binaları gibi daha geniş endüstriyel uygulamalarda kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu çalışmada desikant nem almalı soğutma sistemlerinin tanıtımı, çalışma prensibi ve literatürdeki yapılan çalışmalara genel bir bakış yapılmıştır.

2. Desikant (Nem almalı) Soğutma Sistemi Çeşitleri

Desikant nem alma, kullanılan desikant türüne göre iki tipte sınıflandırılır; bunlar sıvı desikantlar ve katı desikantlardır. Matematiksel modelleme ve ekonomik değerlendirmeler dahil olmak üzere sıvı desikantların kapsamlı bir incelemesi literatürde bulunabilir (Sahlot & Riffat, 2016). Yoğun kullanımlarına rağmen, sıvı desikantlar ile ilgili en belirgin dezavantaj, nemli hava ile kimyasal olarak reaksiyona girebilmeleri ve havayı soluyan insanlara zarar verme olasılıkları gösterebilmeleridir. Sıvı desikant sistemler, katı desikant sistemlere göre proses havasından daha fazla nemi uzaklaştırır. Katı desikant sistemler, sıvı desikant sistemlere benzer bir şekilde çalışır, ancak döner bir ısı eşanjöründe desikant malzemeden kaplama kullanılmaktadır. Böylece, desikantın içine alınan nemi serbest bırakması için ısı uygulandığında nem alma cihazındaki nem uzaklaşarak desikant yeniden üzerine nem almak için hazır hale getirilmektedir. Desikant soğutma sistemlerinde nem alma cihazındaki nemi uzaklaştırmak için gerekli olan rejenerasyon ısısı için, doğal gaz, atık ısı, güneş ve elektrik enerjisi gibi çeşitli enerji kaynaklarından faydalanılabilmektedir. Öte yandan, katı desikantlar, sıvı desikantlar ile karşılaştırıldığında oldukça dayanıklı, çevre dostu ve ucuzdur. Bu avantajlar, katı desikantlı nem alma sistemlerini buhar sıkıştırma sistemlerinin potansiyel rakibi olarak gösterebilmektedir. Katı desikantlı nem alma sistemleri üç tipte sınıflandırılır: sabit yataklı; döner tekerlek ve desikant kaplamalı ısı eşanjörleri.

Desikant ile soğutma sistemleri çok kapsamlı olduğundan dolayı bu çalışmada sadece katı desikant soğutma sistemleri üzerine kapsamlı bir literatür çalışması yapılacaktır.

2.1. Desikant soğutmanın kısa tarihçesi

Farklı araştırmacılar tarafından desikant soğutma sistemi üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Pennington (1955), döner desikantlı nem alma cihazını ısı kaynağı ve evaporatif soğutucu ile birleştirerek desikantlı soğutma döngüsünü öneren ilk çalışmayı gerçekleştirmiştir. Benzer bir döngü, ilave ısı

eşanjörü ile moleküler gözenekli malzemeler ile nem alma cihazı kullanımı Dunkle (1965) tarafından da önerilmiştir. Daha sonra Munters (1968), nem alma cihazına paralel geçişler getirerek desikant soğutma döngüsünün performansını iyileştirmiş ve desikant soğutma çevrimi soğutma talebini karşılamıyorsa soğutma yükünün üstesinden gelmek için buhar sıkıştırma sisteminin desteği ile istenilen soğutma yükünün karşılanması sağlanmıştır.

2.2. Desikant soğutma sistemlerinin çalışma prensibi

Desikant nem alma işleminde, adsorpsiyon prensibi ile nemli havanın nemi alınır. Nemli hava ile kuru desikant arasında doğrudan bir temas vardır. Desikant yüzeyindeki nemi emer ve havadaki gizli ısıyı azaltır. Desikantın adsorpsiyon kapasitesi, bağıl nemin (RH) doğrudan bir fonksiyonudur. RH'de değişikliğe neden olan sıcaklık veya nem oranındaki artış veya azalma gibi herhangi bir durum adsorpsiyon kapasitesini etkiler. Desikant, sınırlı adsorpsiyon kapasitesi nedeniyle nemi süresiz olarak adsorbe edemez. Sürekli çalışmayı gerçekleştirmek için adsorbe edilen su moleküllerinin desikanttan çıkarılması gerekir. Desikantların bu sürecine rejenerasyon denilmektedir, düşük dereceli ve temiz enerji kaynakları da yani endüstriyel atık ısı veya güneş enerjisi de kullanılabilir (Saeed & Al-Alili, 2017). Nem adsorpsiyonunun itici gücü bağıl nemdeki değişim olduğundan, desikant maddelerde daha düşük sıcaklıklarda bile nem uzaklaştırılarak yeniden ilk haline dönebilir.

Desikant soğutma, gelen nemli hava akımının bir desikant malzeme aracılığıyla neminin alınması ve ardından havanın istenen iç ortam sıcaklığına kurutulduktan sonra soğutulması ile oluşur. Sistemin sürekli çalışmasını sağlamak için, desikant tarafından emilen su buharı, bir sonraki döngüde su buharını emmeye yetecek hale gelebilmesi için desikant maddenin rejenerasyon havasıyla ile alınan nemi uzaklaştırmalıdır. Bu, kullanılan desikantın cinsine bağlı olarak, nem giderici malzemeyi rejenerasyon sıcaklığına kadar ısıtarak yapılır. Bu nedenle, bir desikant soğutma sistemi, temel olarak, rejenerasyon ısı kaynağı, nem giderici (Desikant malzeme) ve soğutma ünitesi olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır.

2.3. Desikant nem alma ekipman tasarımları

Katı desikant soğutma sistemlerinde, hava, silika jel veya zeolit gibi bir adsorpsiyon malzemesi yatağı boyunca dolaştırılır. Nemli hava yataktan geçerken desikanta su buharı verir. Daha sonra doymuş desikant ısıtılır. Bu, nemi farklı bir hava akımına bırakır. Tipik olarak, desikant, dış hava akımı

(proses) ve ısıtılmış hava akımı (rejenerasyon) arasında yavaşça dönen petek şeklindeki bir çarka yüklenir. Bu sürekli rejenerasyon, klimalı alana sürekli olarak daha düşük nemli hava akışı sağlamaya izin verir (Mei ve ark., 1992).

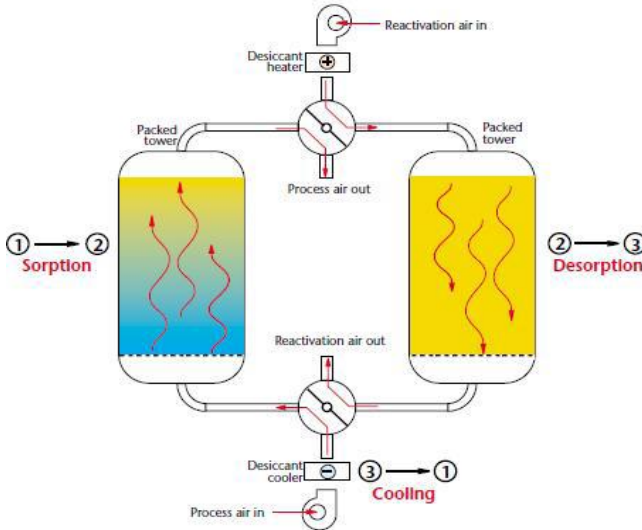
Katı Desikantlı nem alıcılar için dört tipik ekipman konfigürasyonu vardır:

- Katı dolgulu kule
- Döner yatay yatak
- Çoklu dikey yataklar
- Döner Desikant rotor

Her konfigürasyonun avantajları ve dezavantajları vardır, ancak her türlü desikant nem alıcılar yaygın olarak uygulanmaktadır (Harriman, 2002). Bu konfigürasyonlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.3.1 Katı dolgulu kuleler

Bu tip nem alma sistemi (Şekil 1), katı desikant ile doldurulmuş yan yana iki silindirik kaptan ve desikant soğutucu görevi gören bir ısı eşanjöründen oluşur. Kaplardan birinde işlenecek olan hava akımı kuru desikanttan, diğerinde ise nemli desikantın üzerinden ısıtılmış hava akımı geçirilir. Birinci kaptada adsorpsiyon (1-2), diğer kaptada desorpsiyon (2-3) ve desikant soğutucuda soğutma (3-1) gerçekleşir. İki kabın işlevi, iki hava akımının yeniden yönlendirilmesiyle periyodik olarak değiştirilir.

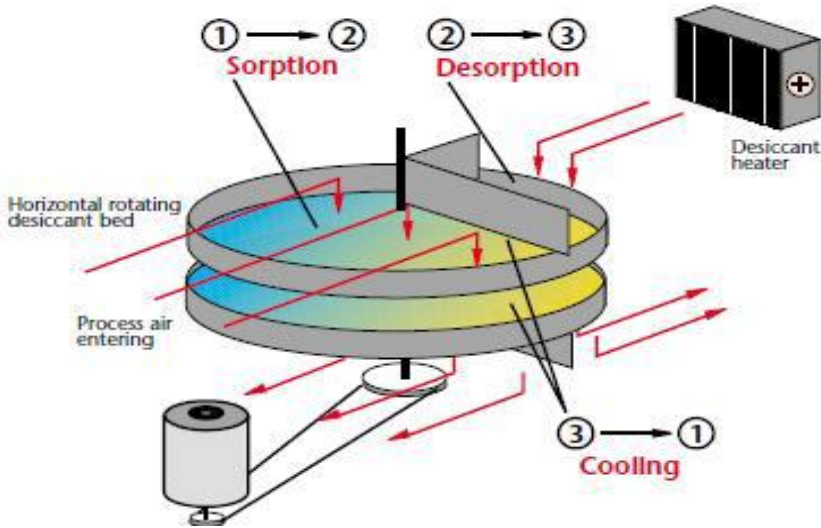


Şekil 1: Katı dolgulu kule (Harriman, 2002).

2.3.2. Döner yatay yatak

Tipik bir döner yatay katı desikantlı nem alma cihazı Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu cihazda, kuru granül desikant, proses ve rejenerasyon hava akımları arasında sürekli olarak dönen bir dizi sığ, gözenekli çarkta tutulur.

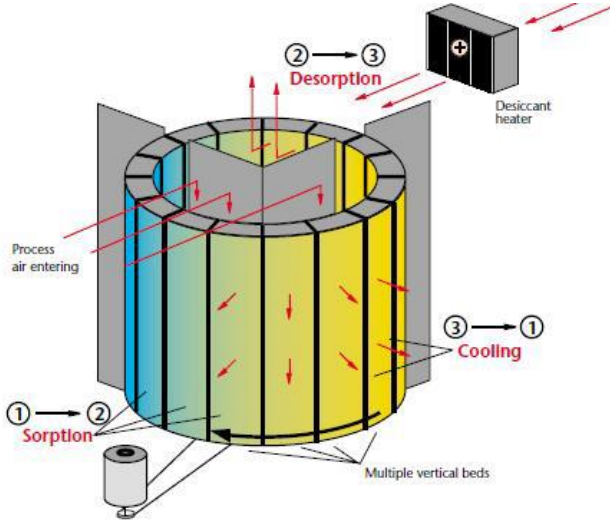
Çark proses havasında döndükçe, desikant nemi emer. Daha sonra nem alma rotörü, desikantı ısıtan, buhar basıncını yükselten ve nemi havaya salan rejenerasyon hava akımına dönerek sistemden nem uzaklaştırılır.



Şekil 2: Döner yatay desikant nem alma ünitesi (Harriman, 2002).

2.3.3. Çoklu dikey yataklar

Şekil 3 tipik bir çoklu dikey yatağı göstermektedir. Son yıllarda üreticiler, dolgulu kule ve döner yatay yatak tasarımlarının daha iyi özelliklerini, atmosferik basınçlı nem alma uygulamalarına çok uygun bir düzenlemede birleştirdiler.



Şekil 3: Çoklu dikey yataklı desikant nem alma rotoru(Harriman, 2002).

Tek veya çift kule, proses ve rejenerasyon hava akışları arasında bir kayış tahrik sistemi aracılığıyla dönen sekiz veya daha fazla kuleye sahip dairesel bir tekerlek ile değiştirilirler. Bu tasarım, proses ve reaktivasyon hava devreleri arasındaki sızıntı en aza indirildiği için düşük çiy noktalarına ulaşabilir. Ayrıca, yataklar birbirinden ayrı ve sızdırmaz olduğundan, işlem ve rejenerasyon arasındaki basınç farkı o kadar kritik değildir, bu nedenle daha iyi ısı ve kütle transferi için hava akımları daha verimli karşı akış düzeninde düzenlenebilirler.

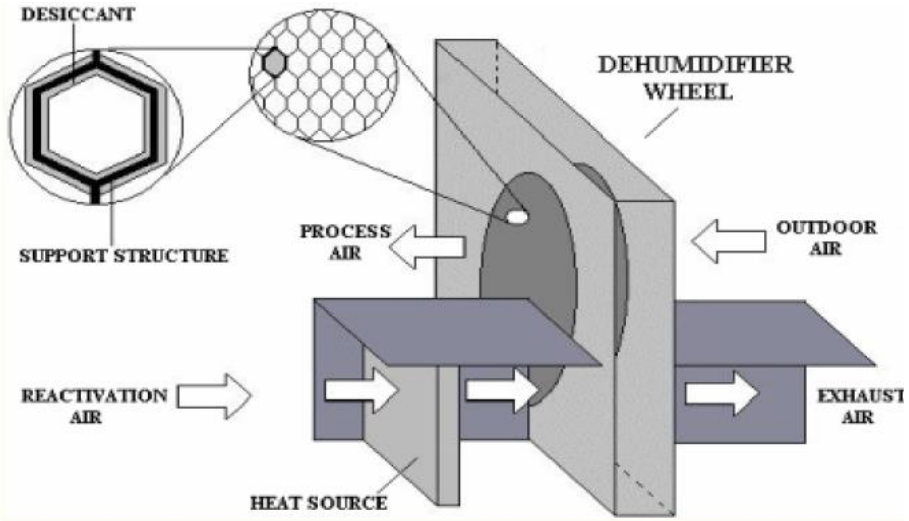
2.3.4. Döner desikant nem alma rotoru

Adsorpsiyonlu nem alma, genellikle gözenekli olan adsorban yüzeyinde bir adsorbat moleküllerini sabitleyen fiziksel bir işlemdir. Desikantlar, desikantın yüzeyinde düşük buhar basınçlı bir alan oluşturarak havadaki nemi çeker. Havadaki suyun kısmi basıncı yüksektir, bu nedenle su molekülleri havadan desikanta doğru hareket eder ve havanın nemi giderilir. Desikant serin ve kuru ise, yüzey buhar basıncı düşüktür ve nemli yüksek buhar basıncına sahip olan havadan nemi çekebilir. Döner bir katı desikantlı nem alma cihazı Şekil 4'te gösterilmektedir.

Desikant nem alıcılar, sürekli dönen bir tekerlek kullanır. Kabuk ve Desikant tekerlek, sızıntıyı en aza indirmek için lastik conta ile bağlanır. Desikant çarkı döndürmek için bir tahrik alt sistemi kullanılır. Bir

elektromotor, bir tekerlek diski ve bir kayıştan oluşur. Tekerlek diski ve kayış, gücü elektromotordan desikant çarka aktarmak için kullanılır. Bu tip nem alma cihazlarında döner rotor iki bölüme ayrılmıştır proses akışı bir bölümden kanallardan akarken, rejenerasyon havası diğer bölümden akmaktadır. Tipik bir konfigürasyonda, iki çapraz hava akışı, proses ve rejenerasyon hava akışları arasında yavaş ve sürekli hareket eden bir döner desikant çark kullanır. Desikant nemi aldıkça doymun hale gelir ve yüzey buhar basıncı yükselir. Daha sonra çark, rejenerasyon hava akımına dönerken, desikant sıcak rejenerasyon havası tarafından ısıtılır ve yüzey buhar basıncı yükselir, bu da desikantın nemini rejenerasyon havasına bırakmasına izin verir.

Sıcak desikant, proses havasının küçük bir kısmının desikantı soğuttuğu proses havasına geri döndükten sonra, proses hava akımının dengesinden daha fazla nem emebilir. Bir buharlaşmalı soğutma klima sistemine bir desikant nem alma cihazının eklenmesi, sıcaklık kontrolünden ayrı bir nem kontrolü sağlar. Gizli ısı yükünü duyulur yüke göre yüksek olduğu veya farklı zamanlarda maksimuma ulaştığı uygulamalarda özellikle bu sistemlerin kullanımı önemlidir (Camargo, 2005).



Şekil 4: Nem alma rotorunun detaylı gösterimi (Camargo, 2005).

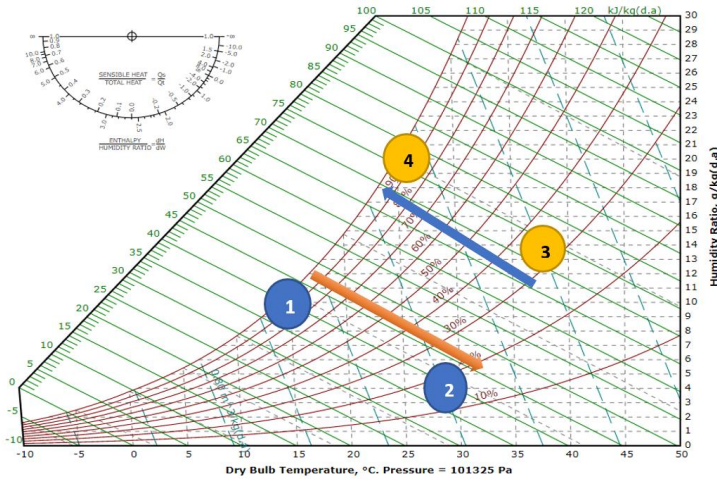
Desikant adsorpsiyon, bir nem alma adyabatik prosesidir ve Şekil 5'teki ideal nem alma prosesi (proses 1-2) psikrometrik çizelgede gösterilen aşağı doğru eğimli düz bir çizgi ile gösterilmektedir. Rejenerasyon işlemi ise emilen nem desikant nem alma cihazından uzaklaştırır. Rejenerasyon hava

akımı için, aynı zamanda Şekil 5'te gösterilen bir nemlendirme adyabatik procestir (proses 3-4). Desikant nem alma rotoru seçiminde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bunlar;

- Uygun Desikant malzemeler
- Fazla Desikant içeriği
- Rotor derinliği ve iç kanal boyutu
- Boyut ve maliyet

Gerçek performansları ise ele alınması gereken birkaç ek faktöre bağlıdır. Bunlar;

- Giriş proses hava sıcaklığı ve nemi
- İstenilen çıkış işlemi hava nemi
- Hava sıcaklığını ve nemi yeniden etkinleştiren giriş
- İki hava akımının hızı
- Rejenerasyon bölümünün boyutu



Şekil 5: Desikant nem alma rotorunun adsorpsiyon ve desorpsiyon prosesinin psikrometrik diyagramı.

2.3.5. Desikant nem alıcı malzemeler

Katı Desikantlı nem alma sistemleri, hava akışından nemi emebilen ancak sistemin sürekli çalışmasına müdahale etmeden doymuş desikantı reaktivasyonda zorluk çeken desikant çarkı, desikant paketi veya desikant yatağı içerir. Katı desikantlı nem alma, hava akımından nemi emmek için gözenekli ve güçlü hidrofilik malzemeleri kullanır. Genel olarak kullanılan

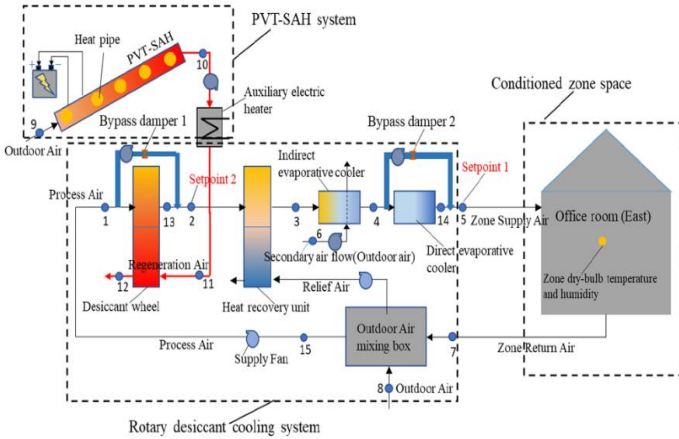
katı desikantlar arasında silika jel, doğal ve sentetik zeolitler, aktifleştirilmiş alümina, titanyum silikat, sentetik polimerler, lityum klorür vb. Nem alma kapasitesi, dayanıklılık, stabilite ve rejeneratör sıcaklığı, katı bir kurutucu seçiminde dikkate alınması gereken dört ana faktördür. Katı desikant malzemeleri üzerinde birçok araştırma yapılmıştır (Dai ve ark., 2001; Kanoğlu ve ark., 2004; Daou ve ark., 2006). Tablo 1’de yaygın olarak kullanılan birkaç katı kurutucunun parametreleri verilmiştir.

Tablo 1: Çeşitli desikant nem alma malzemelerinin özellikleri

Adsorban-adsorbat	Maks. Adsorpsiyon Kapasite (kg/ kg)	Rejeneratör Sıcaklığı (°C)
4A- su	0.22	350
13X- su	0.3	350
5A - su	0.33	350
Doğal zeolit - su	0.12	240
Mordenit - su	0.11	250
Şabazit - su	0.17	250
Kömür - su	0.4	250
Silica Jel-Su	0.37	150

3. Rejenerasyon Enerji Kaynağı

Desikant soğutma sistemleri enerji açısından verimli, uygun maliyetli ve çevre açısından güvenlidir. Her tür binanın iç hava kalitesini iyileştirmek için bağımsız sistemler olarak veya geleneksel iklimlendirme ile kullanılabilirler. Tipik bir desikant bazlı soğutma sistem Şekil 6’da gösterilmektedir.



Şekil 6: Tipik bir nem almali soğutma sistemi ve ekipmanları (Fan, 2019).

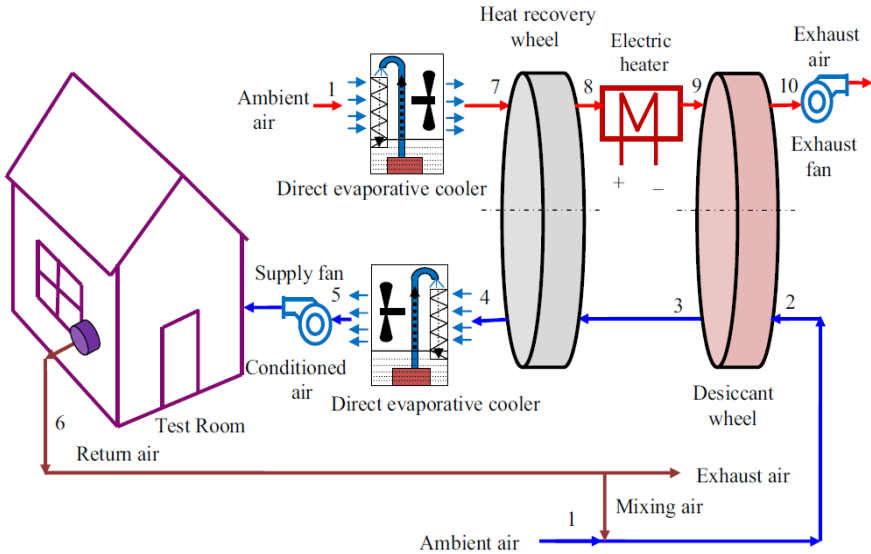
Bu sistemler genel olarak, döner desikant nem alıcı rotor, ısı borulu ısı eşanjörü, dolaylı/doğrudan buharlaşmalı soğutucu, gazla çalışan ısıtıcılar, fanlar, pompalar, filtreler kontrollere ve kanallar gibi bileşenlerden oluşur.

Nemi alınan kuru hava, buharlaşmalı soğutma veya geleneksel bir klimanın soğutma bobinleri kullanılarak soğutulur. Desikant da adsorbe edilen nem daha sonra doğal gaz, elektrik, atık ısı veya güneş enerjisi tarafından sağlanan termal enerji kullanılarak uzaklaştırılır.

Bu enerji kaynaklarından en yaygın olarak kullanılan elektrik enerjisi ve güneş enerjisine bağlı sistem tasarımları aşağıda açıklanmaktadır.

3.1. Elektrik enerjisi

Elektrikli ısıtıcılı bir nem almalı soğutma sistemi Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu enerji kaynağı rahatlığı nedeniyle rejenerasyon için kullanılan en popüler enerjidir. Ancak, elektrik gücünün kullanılması enerji tüketimini artıracak ve tüm sistemin COP'sini azaltacaktır. Rejenerasyon için elektrik enerjisi kullanan sistemler için, COP, geleneksel hava nem alma/soğutma sisteminden yalnızca küçük bir derecede iyileştirilebilmektedir.

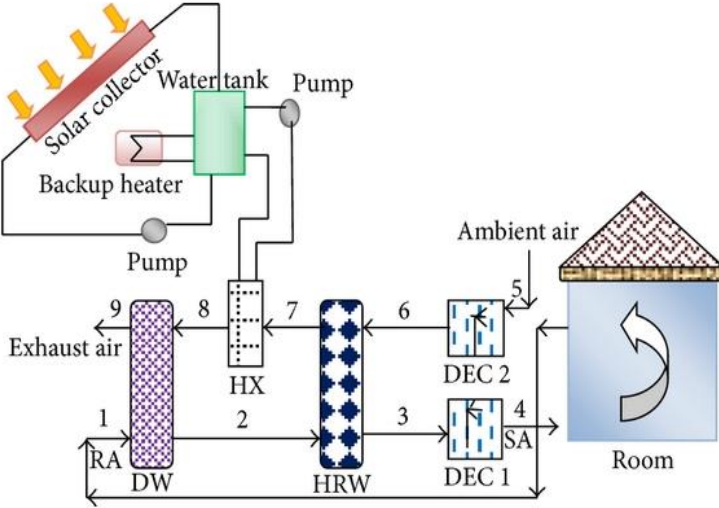


Şekil 7: Elektrikli ısıtıcı kullanılan bir nem almalı soğutma sistemi (Jani, 2016).

3.2. Güneş enerjisi

Şekil 8’de gösterildiği gibi güneş enerjisi, desikantı reaktif etmek için kullanılan popüler bir enerjidir ve gün boyunca doymuş desikantın nemini uzaklaştırabilir. Bir desikant rejenerasyon kaynağı olarak güneş enerjisini kullanma yöntemleri üç türde sınıflandırılır: güneş desikant, güneş havası ve güneş suyu (Amirreza ve ark., 2019; Cominoa ve ark., 2020).

Rejeneratör havasını ısıtmak için sıcak suyu besleyen bir güneş enerjili su kolektörü, güneş enerjisini kullanmak ve depolamak için en kabul edilebilir yöntemdir. Güneş enerjisi yeterli miktarda olduğunda, sıcak su rejeneratör havası ile ısı ve nem alışverişini gerçekleştirir.



Şekil 8: Güneş enerjili bir desikant soğutma sistemi tasarımı (Dezfouli ve ark., 2014).

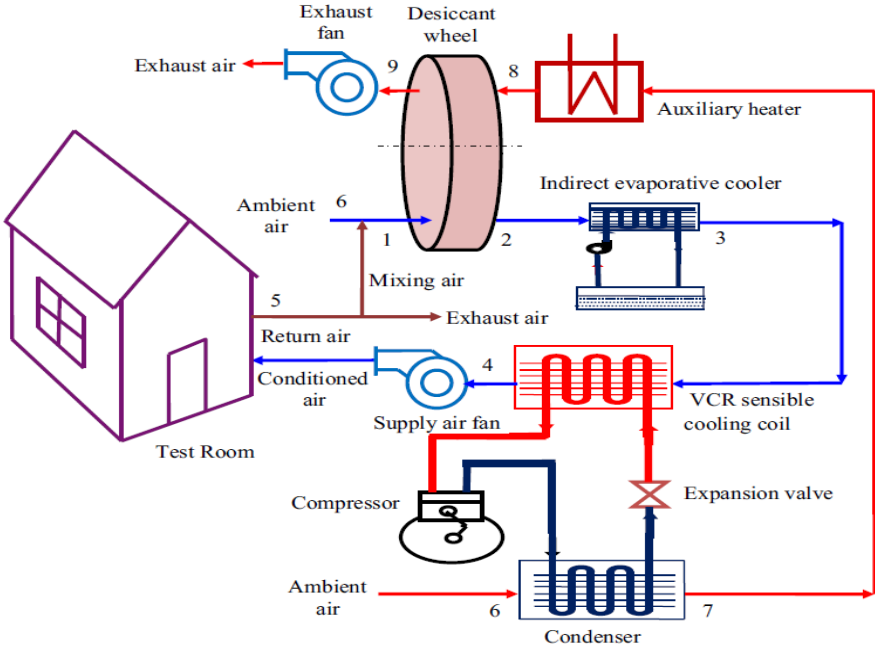
Diğer enerji türlerine kıyasla güneş enerjisi kullanmanın avantajları ve dezavantajları şu şekilde ifade edilir;

- Güneş enerjisi, enerji tasarrufu sağlayan ve hava kirliliğini azaltan yenilenebilir enerji türlerinden biridir.
- Sıcak ve nemli iklime sahip bölgelerde güneş enerjisi bol miktarda bulunur.
- Güneş enerjisinden yararlanmanın yatırım maliyetleri yüksektir ancak işletme maliyetleri elektrik ve gaz enerjilerine göre daha düşüktür.

- Elektrikli ve gazlı ısıtıcılara göre daha az kullanışlıdır.
- Güneş radyasyonu olmadan uzun süre kullanılamaz.
- Elektrikli ve gazlı ısıtıcılara kıyasla daha az rejeneratör verimliliğine sahiptir.

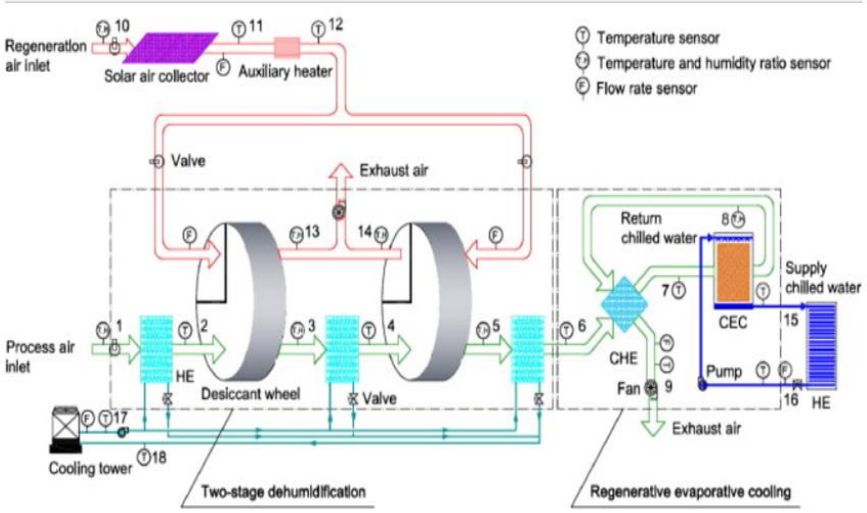
4. Desikant Hibrit Soğutma Sistemleri

Hibrit sistemlerde ise bir buhar sıkıştırımlı soğutma makinası ve bir desikant soğutma sistemi birleştirilirse daha verimli soğutma işlemi ortaya çıkacaktır. Bunun nedeni, hibrit sistemde, önce desikant nem alma cihazının taze nemli havanın neminin şartlandırılmış alana girmeden önce etkin bir şekilde uzaklaştırması, buhar sıkıştırma sisteminin ise sadece hissedilir ıyıyı daha sonra uzaklaştırmasıdır. Ayrıca bu tür sistem tasarımı evaporatörde bulunan soğutma serpantinlerinin düşük çığ noktası sıcaklığına düşürülmesinin ve daha sonra havanın tekrardan ısıtılması gereksinimini ortadan kaldırmaktadır. Hibrit soğutma sistemleri tasarımları değişkenlik gösterebilmektedir. Bu sistemlerde, konvansiyonel soğutma sistemleri (Şekil 9), güneş enerjili sistemler (Şekil 10) veya daha farklı kombinasyonlar bir arada kullanılarak tasarımlar yapılabilmektedir.



Şekil 9: Konvansiyonel ve evaporatif soğutmalı nem almalı bir soğutma sistemi (Jani, 2016).

Hibrit desikant soğutma sisteminin kullanımı sadece nemi kontrol etmekle kalmaz, aynı zamanda işletme maliyetlerini ve elektrik gücü talebini de azaltır. Bu nedenle soğutma, sıcaklık ve nemi bağımsız olarak kontrol ederek sıcak ve nemli ortam koşullarında enerji ve maliyet tasarrufu sağlaması nedeniyle geleneksel buhar sıkıştırma soğutma veya evaporatif soğutmaya ek olarak kullanımı önerilmektedir.

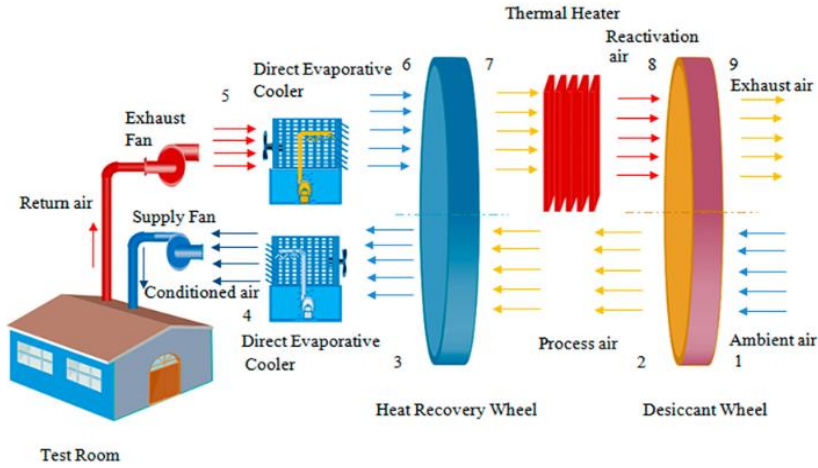


Şekil 10: Güneş enerjili ve konvansiyonel soğutmalı bir soğutma sistemi (La ve ark., 2013).

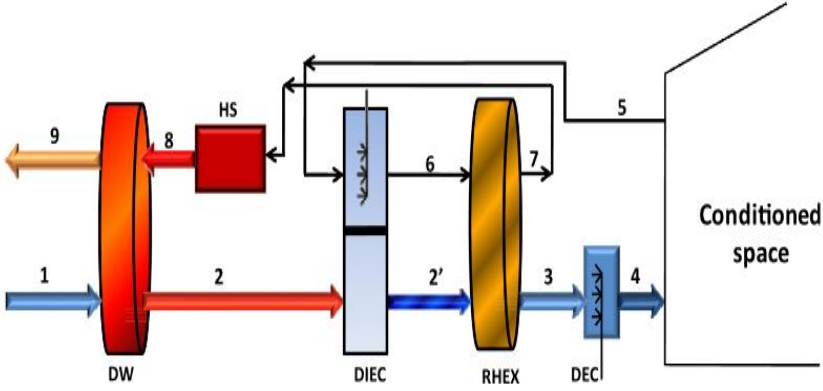
4.1. Desikant entegre doğrudan/dolaylı buharlaşan soğutma sistemi

Desikant nem almalı soğutma sisteminde, evaporatif soğutucular döner bir desikant nem alma rotoru ve duyulur ısı eşanjörleri ile entegre edilmektedir. Evaporatif bir soğutma sistemi ile birleştirilmiş bir desikant nem alma rotoru, CFC kullanmadan en nemli ortamlarda bile soğutma konforu ihtiyaçlarını karşılayabilen makul bir soğutma sağlayabilmektedir. Desikant destekli evaporatif klimalar, son birkaç yılda ticari olarak temin edilebilir hale gelmiş bulunmaktadır. Desikant soğutma ekipmanlarının boyutları ve maliyetleri giderek azalmaktadır, bu da zaman içinde pazar tarafından genel kabul görmesine ve konforlu soğutma için daha nemli bölgelerde evaporatif soğutmanın daha fazla kullanılmasına yol açmaktadır.

Konvansiyonel sistemlerde kullanılan evaporatif soğutucular, çalışma ortamının kuru veya nemli olmasına göre doğrudan evaporatif soğutucular (Şekil 11) veya dolaylı evaporatif soğutucular (Şekil 12) olmak üzere iki farklı evaporatif soğutucu kullanılabilir. Doğrudan evaporatif soğutma sistemlerinde hava ıslanmış bir ortam, sıvı bir yüzey veya hatta spreyle doğrudan temas halindedir. Direkt evaporatif hava soğutmasında, hava gözenekli ıslak pedler içerisinden geçirilir veya bir sprej aracılığıyla hava üzerine su püskürtülür ve duyulur ısı enerjisi bir miktar suyu buharlaştırır; hava ve su arasındaki ısı ve kütle transferi, havanın kuru termometre sıcaklığını düşürür ve sabit yaş termometre sıcaklığında nemi artırır. Neredeyse doymuş havanın kuru termometre sıcaklığı ortam havasının yaş termometre sıcaklığına yaklaşır (ASHRAE, 2008).

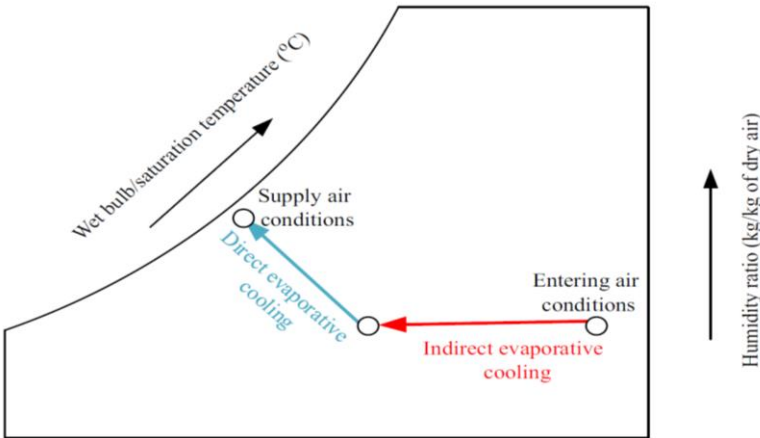


Şekil 11: Doğrudan evaporatif soğutmalı bir desikant soğutma sistemi (Bhabhor, 2022).



Şekil 12: Doğrudan ve Dolaylı evaporatif soğutmalı bir desikant soğutma sistemi (Elgendy, 2015).

Dolaylı evaporatif soğutmada ikincil bir hava akımı su ile soğutulur. Soğutulmuş ikincil hava akımı, Şekil 12'de gösterilen bir ısı değiştiricisinden geçer ve burada birincil hava akışını soğutur. Soğutulmuş birincil hava akımı bir üfleyici tarafından sirküle edilir. Dolaylı evaporatif soğutma sisteminde birincil hava akımına nem ilavesi yapılmaz. Bu soğutma sisteminde hem kuru hava sıcaklığı hem de yaş termometre sıcaklıkları azalır. Ayrıca direk evaporatif soğutma ile dolaylı evaporatif soğutma sistemleri birlikte kullanıldığında proses havasının sıcaklık ve mutlak nem değişiminin proses süresince değişimi psikrometrik diyagram üzerinde Şekil 13' de gösterilmektedir.



Şekil 13: Doğrudan ve dolaylı evaporatif soğutmanın psikrometrik diyagramda gösterimi (Rafique ve ark., 2015).

Dolaylı evaporatif soğutma yapılırken havanın mutlak neminde herhangi bir değişiklik olmamaktadır ancak kuru termometre sıcaklığında önemli bir azalma sağlanmaktadır. Fakat doğrudan evaporatif soğutma yapılırken kuru termometre sıcaklığı azalırken mutlak nem de artış göstermektedir.

5. SONUÇ

Konvansiyonel buhar sıkıştırmalı klimalar, çok fazla elektrik enerjisine ihtiyaç duydukları için verimsizdir. Son yıllarda, temiz enerjiyle çalışan adsorpsiyon tabanlı soğutma teknolojileri geliştirmeye odaklanan önemli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada katı desikant nem alma sistemi ve onun farklı konfigürasyonları hakkında kapsamlı bir inceleme yapılmıştır. Katı nem almalı soğutma sistemlerinde kullanılan nem alma sistemleri ve nem alma malzemelerinin özelliklerinin çok önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca desikant soğutma sistemlerinin birçok farklı soğutma sistemleri ile entegre edilerek daha verimli hale getirilmesi oldukça önemlidir. Bu tip soğutma sistemlerinde ucuz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı sistemin COP'sinde önemli iyileştirmeler yapacağı anlaşılmaktadır. Hem sistemin performansı hem de maliyeti anlamında katı kurutuculu soğutma sistemlerinde yer alan nem alma rotoru genellikle sistemin en önemli bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Devam eden araştırma ve geliştirme çalışmaları gelişmiş desikant malzemeler ve yeni sistem konfigürasyonları bu tür sistemlerin performansı ve güvenilirliği artırmak için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

- Ahlem Z., Leila Z., & Sassi B.N. (2016). Open solid desiccant cooling air systems: A review and comparative study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 889–917.
- Aldy JE., & Stavins RN. (2008). Climate policy architectures for the post-Kyoto world. *Environment*, 50, 6–17.
- Amirreza H., Ramin R., & Vahid V. (2019). An innovative solar assisted desiccant-based evaporative cooling system for co-production of water and cooling in hot and humid climates, *Energy Conversion and Management*, 185, 396–409.
- ASHRAE. (2008). *HVAC Systems and Equipment*. Atlanta
- Bhabhor K.K & Jani D.B. (2022). Progressive development in solid desiccant cooling: a review. *International J.of Ambient Energy*, 43, 1, 992–1015.
- Camargo, J.R., Godoy, JR.E., & Ebinum, C.D. (2005). An evaporative and desiccant cooling system for air conditioning in humid climates, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, No.3.
- Cominoa F., González J.C, Navas-Martos F.J., & Adana M.R. (2020). Experimental energy performance assessment of a solar desiccant cooling system in Southern Europe climates, *Applied Thermal Engineering*, 165, 114579.
- Dai Y.J., Wang R.Z., Zhang H.F., & Yu J. D. (2001). Use of liquid desiccant cooling to improve the performance of vapour compression air conditioning, *Applied Thermal Engineering*, 21, 1185-1202.
- Daou K., Wang R.Z, & Xia Z.Z. (2006). Desiccant cooling air conditioning: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 55-57.
- Dezfouli M. M. S, Mat S., Pirasteh G., Sahari K.S.SM., Sopian K., & Ruslan M.H. (2014). Simulation Analysis of the Four Configurations of Solar Desiccant Cooling System Using Evaporative Cooling in Tropical Weather in Malaysia. *International Journal of Photoenergy*, s.14.
- Dunkle R.V. (1965). A method of solar air conditioning. *Mech. Chem. Eng. Trans. Inst. Eng.* 73, 73-8.
- Edmonds JA. (2004). Climate change and energy technologies. *Mitig. Adapt. Glob. Change* 9, 391–416.

- Elgendy E., Mostafa A., & Fatouh M. (2015). Performance enhancement of a desiccant evaporative cooling system using direct/indirect evaporative cooler, *International Journal of Refrigeration*, 51, 77-87.
- Fan W., Kokogiannakis G., & Ma Z. (2019). Integrative modelling and optimization of a desiccant cooling system coupled with a photovoltaic thermal-solar air heater, *Solar Energy*, 193,15, 929-947.
- Harriman, L.G. (2002). *The Dehumidification Handbook Second Edition*, Munters Cargocaire, Amesbury, pp: 77–85.
- IEA. (2008). *Key world energy statistics*. International Energy Agency, Paris, France.
- Jani D.B., Mishra M, & Sahoo P.K. (2016). Solid desiccant air conditioning - A state of the art review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1451–1469.
- Kanoğlu M., Çarpınlioğlu M.Ö., & Yıldırım M. (2004). Energy and exergy analyses of an experimental open-cycle desiccant cooling system, *Applied Thermal Engineering*, 24, 919–932.
- La D., Dai Y.J, Li Y. Tang Z.E, Ge T.S., & Wang R.Z. (2013). An experimental investigation on the integration of two-stage dehumidification and regenerative evaporative cooling, *Applied Energy* 102, 1218–1228.
- Mei, V.C., Chen, F.C., Lavan, Z., Collier, R.K., & Meckler, G. (1992). *An Assessment of desiccant Cooling and Dehumidification Technology*, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge.
- Munters C.G. (1968). Inorganic, fibrous, gas-conditioning packing for heat and moisture transfer. U. S. patent 3, 377, 225.
- Pennington NA. (1955). Humidity changer for air conditioning. USA patent no. 2, 700, 537.
- Rafique M.M., Gandhidasan P., Rehman S., Al-Hadhrami L.M. (2015). A review on desiccant based evaporative cooling systems *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 145–159.
- Saeed A, Al-Alili A. (2017). A review on desiccant coated heat exchangers. *Science and Technology for the Built Environment*, 23, 136–50.
- Sahlot M., & Riffat SB. (2016). Desiccant cooling systems: a review. *International Journal of Low-Carbon Technologies*.

BÖLÜM 4

YAPAY ZEKA VE BİLİNÇLİ BEYİN DALGALARI

Doç. Dr. Aslı GİRAY¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8417445>

¹ Alanya Alaaddin Keykubat, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. Alanya, Antalya, Türkiye. asli.giray@alanya.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5374-3727>

1. GİRİŞ

İnsan beyni, hissetmediğimiz dalgalar yaymaktadır. Beyinden yayılan bu dalgalar şuurlu ve farkındadır. Beyin dalgaları her şeyi yapabilecek inanılmaz bir güce sahiptir. İnsan beyin dalgaları, herhangi bir sapma veya problem olmadan tüm cisimlerin içinden geçebilir ve sonsuz uzak mesafelere süper bir hızla gidebilir. İnsan beyni, nöron adı verilen birçok sinir hücresinden oluşur. Nöronlar vücudun her yerinde bulunur. Beynin farklı bölümleri arasındaki ve beyin ile vücudun diğer bölümleri arasındaki iletişim, bu sinir hücreleri ve sinir mesajları aracılığıyla yapılır. Aslında beyin bu sinir hücreleri aracılığıyla vücudun farklı bölgelerine çeşitli mesajlar gönderir ve onlardan mesajlar alır. Bu nöral mesajın doğası, hücre içindeki elektrik akımı ve iki hücre arasındaki kimyasal geçişler şeklindedir. Kafatasının yüzeyindeki nöronların elektriksel aktivitesi, beyin dalgaları olarak adlandırılan beynin elektriksel aktivitesinin oluşumuna neden olur. Beyin dalgaları, beyinde bir voltun sadece birkaç milyonda biri kadar ölçüm yapan salınımlı elektrik voltajlarıdır. İnsan beyin dalgaları doğrudan yapay zekâ ile iletişim kurabilir mi? Yapay zekâ sistemlerinin bilinçli olup olmadığı sorusu, kritik bilimsel, felsefi ve toplumsal kaygılardan biri olarak ortaya çıkmıştır (Benzmuller ve Lomfeld, 2020).

Geniş (ve biraz döngüsel) olarak tanımlanan Yapay zekâ, akıllı davranışla ilgilidir. Akıllı davranış ise karmaşık ortamlarda algılama, akıl yürütme, öğrenme, iletişim kurma ve hareket etmeyi içerir. Bu nedenle, “öğrenme, problem çözme ve karar verme, insan ve yapay zekanın üç ortak özelliğidir”. Günümüzde yapay zekâ, insan müdahalesi olmadan icat edebilecek bir yetenek ve gelişmişlik düzeyine ulaşmıştır. Yapay zekâ tarafından üretilen buluşların birçok örneğinin patenti alınmıştır (Nilsson, 1998).

Bu derleme, yapay zekanın insanın bilinçli beyin dalgalarıyla doğrudan iletişim kurabilmesi durumunda neler olabileceğine dair soruları yanıtlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca yapay zekâ sistemlerinin bilinçli olup olmadığı sorusu da ele alınmaktadır. Yapay zekâ insan zihnini okuyabilseydi, bireylerin mahremiyeti ne olurdu? Yapay zekâ, bilinçsiz beyin dalgalarıyla doğrudan iletişim kurarak konuşamayan insanların sorununu çözebilecek ve düşüncelerini konuşmaya çevirebilecek mi?

Yapay zekâ sistemlerini diğer bilişsel sistemlerden ayıran tek özellik olarak kabul ettiğimiz şeye, yani "yapay" kelimesinin "yapay zekâ"daki

gerçek anlamını pekâlâ somutlaştırabilecek bir özelliğe dayanmaktadır: sistem, doğal olarak evrimleşmek yerine tasarlanmış ve doğrulanmış bir alt tabaka üzerinde çalışır.

Nihayetinde, bir sistemin bilinçli olup olmadığına dair herhangi bir ifadenin, teorik, felsefi ve en önemlisi ampirik kanıtlarla desteklenen bir bilinç teorisine dayandırılması çalışmaların ilerlemesi için önem arz ediyor. “Bilinç Bilimi” bu tür teorileri araştırmaktadır. Sonuç olarak, en önemli öncül-dinamik alaka – yani, teorilerin bilince atfettiği bir özelliktir. Tüm bilinç teorileri yapay zekanın bilinç kabiliyeti hakkında bir gerçek oluşturuyor olarak kabul edilebilir (bilincin dinamik olarak ilgili olduğunu öne süren teoriler). Bilinç teorileri, bir yandan bir sistemin fiziksel betimlemesi ile diğer yandan da onun bilinçli deneyimlerinin betimlemesi arasındaki ilişkiyi ifade etmektedirler (Blum, 2020).

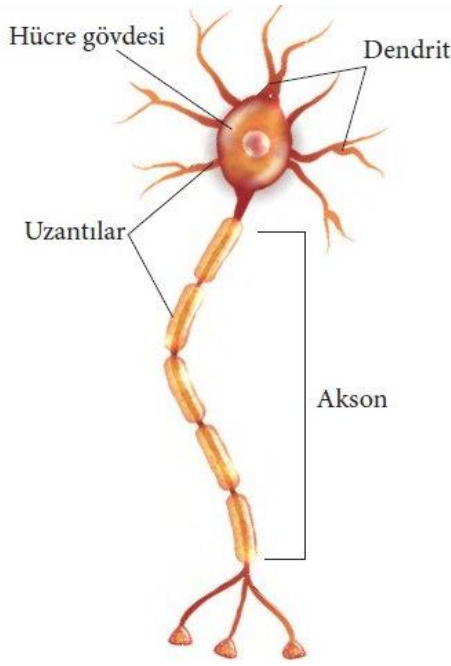
Her beyin dalgası durumu, farklı bilinç seviyeleriyle ilişkilidir. Farklı beyin bölgeleri farklı işlevsel rollere sahip olsa da bunlar son derece koordineli bir şekilde bağlantılı olarak çalışmaktadır. Böyle bir koordinasyonun gerçekleşmesinin bir yolu, birbirleriyle iletişim kuran nöronlardan gelen elektriksel beyin dalgaları aracılığıyla gerçekleşir.

1.1. Bilinçli Beyin Dalgaları

Beyin dalgaları, canlı beyinde nörokemikal aktivitenin oluşturduğu düşük frekanslı elektriksel aktivitedir.

1.1.1. Sinir Hücresi ve Yapısı

Sinir sistemi, gerçekleştirebildiği düşünce süreçleri ve kontrol eylemlerinin muazzam karmaşıklığı bakımından benzersiz bir yapıya sahiptir. Her dakika, farklı duyu sinirlerinden ve duyu organlarından kelimenin tam anlamıyla milyonlarca bilgi verisini alır ve daha sonra vücut tarafından verilecek tepkileri belirlemek için tüm bunları birleştirir. Merkezi sinir sistemi 100 milyardan fazla nöron içerir. Bir nöron veya sinir hücresi, sinaps adı verilen özel bağlantılar yoluyla diğer hücrelerle iletişim kuran elektriksel olarak uyarılabilen bir hücredir. Süngerler ve placoza hariç tüm hayvanlarda sinir dokusunun ana bileşenidir. Bitkiler ve mantarların sinir hücreleri yoktur. Nöronlar, rollerine ve konumlarına bağlı olarak boyut, şekil ve yapı bakımından farklılık gösterir. Bununla birlikte, neredeyse tüm nöronların üç temel parçası vardır: hücre gövdesi, akson ve dendritler (Hall, Arthur ve Guyton; 2016) (Şekil 1).



Şekil 1: Nöron yapısı: hücre gövdesi, akson ve dendrit.

1.1.2. Vücut hücresi

Diğer hücreler gibi, her nöronun bir çekirdek, düz ve pürüzlü endoplazmik retikulum, Golgi aygıtı, mitokondri ve diğer hücresel bileşenleri içeren bir hücre gövdesi (veya soma) vardır. Soma veya hücre gövdesi, dendritlerden gelen sinyallerin geldiği yerdir. Soma ve çekirdek, nöral sinyalin iletilmesinde aktif bir rol oynamaz. Bunun yerine, bu iki yapı hücreyi korumaya ve nöronu işlevsel tutmaya yardımcı olmaktadır (Hall, Arthur ve Guyton; 2016).

1.1.3. Akson

Bir akson, tipik olarak aksiyon potansiyelleri olarak bilinen elektriksel impulsları sinir hücresi gövdesinden uzağa ileten bir sinir hücresinin veya nöronun uzun, ince bir çıkıntısıdır. Aksonun işlevi, bilgiyi farklı nöronlara, kaslara ve bezlere iletmektir.

1.1.4. Dendrit

Dendritler, hücre gövdesinden çıkan lifli köklerdir. Anten gibi, dendritler de diğer nöronların aksonlarından gelen sinyalleri alır ve işler ve somaya elektriksel stimülasyonu iletir. Dendritler de sinapslarla kaplıdır.

Nöronlar, dendritik ağaçlar olarak bilinen birden fazla dendrit setine sahip olabilir.

1.2. Beyin Dalgaları ve İşlevleri

İnsanların beş temel duyusu vardır: dokunma, görme, duyma, koku alma ve tatma. Her duyu ile ilişkili duyu organları, etrafımızdaki dünyayı anlamamıza ve algılamamıza yardımcı olmak için beyne bilgi gönderir (Nature; 2014). Gözler, beynin işlemesi için ışığı görüntü sinyallerine çevirir, kulak, ses dalgalarını ses sinyallerine dönüştürmek için kemikleri ve sıvıyı kullanır, derideki özelleşmiş reseptörler beyne dokunma sinyalleri gönderir, havadaki kimyasallar burun yoluyla, beynin koku olarak yorumladığı sinyalleri uyarır ve dil, tat almanın başlıca organıdır. Kulaklardan ses enerjisi, gözlerden ışık enerjisi, burun ve dilden kimyasal enerji ve deriden ısı enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek beyne gönderilir ve burada kaydedilerek beyinden elektromanyetik dalgalar olarak yayılır.

Beş duyunun, yukarıdaki açıklamaları göz önüne alındığında, vücuttaki kulaklar, gözler, burun, dil ve derinin alıcı ve verici olarak görev yaptığı, yani çevrelerinden haber alıp beyne ilettiği kabul edilmelidir. Beyin bir “wireless” gibi, menziline bulunan elektrik enerjisini elektromanyetik enerjiye çevirir ve bunu uzaya yayar.

Aynı zamanda uzaydan elektromanyetik dalgaları veya elektromanyetik enerjiyi alır ve bunları elektrik enerjisine dönüştürür. Enerjilerin bu gidiş-dönüş dizisine beynin elektromanyetik alanı denilmektedir.

Tüm düşünce, duyu ve davranışlarımızın kökeninde beynimizdeki nöronlar arasındaki iletişim vardır (Munk, 1996). Beyin dalgaları, birbirleriyle iletişim kuran nöron kütlelerinden senkronize elektrik impulsları tarafından üretilir. Beyin dalgaları, beyinde bir voltun sadece birkaç milyonda birini ölçen salınımlı elektrik voltajlarıdır (Bernhard ve Roland, 2018). Bir kişinin ürettiği beyin dalgaları, mevcut faaliyetlerine bağlı olarak bir durumdan diğerine değişir. Örneğin, bir kişinin beyin dalgaları rahat ve doğal olduğunda, işini yoğun bir şekilde yapan biriyle taban tabana zıttır. Düşük frekandan yüksek frekansa değişen beş farklı beyin dalgası türü vardır: Sınıflandırma Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Beyin dalgalarının sınıflandırılması (Ismail, Hanif ve diğerleri; 2016)

Dalga Türleri	Frekans Aralığı	Açıklama
Delta (δ)	0.5-3 Hz	<p>İyileşme ve yenilenme;</p> <p>i. En yavaş beyin dalgalarıdır ve genellikle uyku ile ilişkilendirilir. İyileşme ve yenilenme beyin bu durumdayken gerçekleşir.</p> <p>ii. Delta aralığındaki çoklu frekanslara, iyileşmede yararlı olan insan büyüme hormonu (insan büyüme hormonu) salınımı eşlik eder.</p> <p>iii. Derin meditasyon ve rüyasız uykuda üretilirler. Delta, uyanık halde üretilirse, bilinçaltı aktiviteye erişim fırsatı sağlar, bilinçli düşünceye akışı teşvik eder.</p> <p>iv. Delta durumu ayrıca sıklıkla güçlü bir empati ve sezgi duygusuna sahip erkeklerle ilişkilendirilir.</p>
Theta (θ)	3-8 Hz	<p>Derin gevşeme, meditasyon, gelişmiş hafıza</p> <p>i. Teta dalgaları uykuda ve gevşeme sırasında da ortaya çıkar. İçsel bir odaklanmanın göstergesidirler ve bu durumda rüyalar ve canlı imgeler ortaya çıkar.</p> <p>ii. Teta frekansı, stresten kurtulma ve uzun süreli hafıza hatırlama ile ilişkilidir.</p> <p>iii. Alacakaranlık koşulları (alacakaranlık), daha derin meditasyona ulaşmak için kullanılabilir, bu da genel sağlığın iyileştirilmesi, yaratıcılığın ve öğrenmenin artmasıyla sonuçlanır.</p>
Alfa (α)	8-12 Hz	<p>Yaratıcılık, rahatlama, görselleştirme;</p> <p>i. Enerji akışı ve yaratıcılığı teşvik etme durumu ile ilişkilidirler.</p> <p>ii. Alfa beyin dalgaları, yaratıcılığımıza açılan bir kapı görevi görecektir şekilde düşünme, problem çözme ve görselleştirme için ideal koşullardır.</p> <p>iii. Alfa dalgaları sessiz, düşünceli zamanlarda ortaya çıkar. Alfa dalgaları beynin dinlenme durumunda</p>

		olduğunu gösterir.
Beta (β)	12-27 Hz	<p>Dikkat, konsantrasyon;</p> <p>i. Beta dalgaları, normal uyanık durumdaki en yaygın modeldir. Kişi uyanık olduğunda ve problem çözmeye odaklandığında ortaya çıkarlar. Zihnimizi daima keskin ve odakta tutarlar.</p> <p>ii. Beta durumunda beynimiz, bilgilerin analizini ve hazırlanmasını kolayca yapar ve çözümler ve yeni fikirler üretir.</p> <p>iii. Beta, iş üretkenliği, sınavlar için çalışma veya yüksek konsantrasyon ve uyanıklık gerektiren diğer faaliyetler için çok faydalıdır.</p>
Gama (γ)	> 27 Hz	<p>Bölgesel öğrenme, hafıza ve dil işleme ve fikir oluşturma;</p> <p>i. Gama beyin dalgaları en hızlı olanıdır ve daha yüksek bilinç seviyeleri ile ilişkilidir.</p> <p>ii. Anestezi için beyin sinyallerinden uzakta gösterilen gama dalgaları, derin bir uykuya neden olur.</p>

Dünyada ilk kez, bir alman psikiyatrist olan Dr. Hans Berger, 1924 yılında beyin dalgalarını kaydedebilen bir cihaz icat etti ve buna elektroensefalogram veya EEG adını verdi. EEG'ler keşfedildiklerinden bu yana, epilepsi, uyku koşulları, alzheimer ve beyin işleyişiyle ilgili diğer sorunların teşhisinde, kişinin zihinsel durumu ve işleyişi hakkında yararlı bilgiler sağlamak için kullanılmaktadır. Günümüzde, beyin dalgalarını alabilen ve doğrudan iletişim olmaksızın dalga türlerini kaydedebilen elektroensefalogramın yerini daha modern sistemler almıştır.

Beyin, düşüncelerinizin ve duygularınızın titreşimlerini dünyaya taşıyan bir elektromanyetik verici ve alıcıdır (John ve diğerleri; 2001). İşte buradasınız, enerji titreşimlerini almak ve iletmek için bu güçlü aleti yanında taşıyan bir insansınız ve bu enerji titreşimleri, gönderdiğiniz frekansa yanıt olarak dünyanın atomlarını yeniden düzenleyerek, içinde yaşadığımız gerçekliği birlikte yaratır. İnsan beyni, bir radyo veya televizyon vericisi ve alıcısı gibi, her zaman aktiftir, içerdiğini elektromanyetik dalgalar olarak

yayar veya dışarıdan aynı dalga boyunda dalgalar alır. Aradaki fark, televizyonun vericileri veya alıcıları sadece ışık (görüntü) ve sesle ilgilenirken, beynimizin vericisi ve alıcısı, ışık ve sesin yanı sıra çeşitli tat, koku ve duygularla uğraşarak vücudun iç ve dış işlerini de yönetir.

Beyinden yayılan dalgalar şuurlu ve farkındadır. Beyin dalgaları her şeyi yapabilecek inanılmaz bir güce sahiptir. Daha önce öğrendiğimiz gibi, düşünce beyinden kaynaklanır. Düşündüğünüzde, beyniniz düşüncenin doğasına göre dalgalar yayar. Bu dalgalar düşüncenizi tutar ve düşünceniz istediği şekilde hareket eder. Beyin dalgalarımız öznenizi bulmak için her yerde arama yapar. Beyin dalgaları organizmanın bilincidir (Joseph, 2019) ve düşüncenin kaynağı beyindir. Düşündüğünüzde beyin, belirli bir dalga boyuna sahip olan ve zihninizdeki mesajı taşıyan elektromanyetik dalgalar yayar. Bu mekanizmayı anlamak için belli bir dalga boyunda çalışan bir radyonun sesini sifıra indirdiğimizi varsayarak açıklamak daha doğru olur. Radyoda gerçekleşen etkileşim, aslında tam olarak beyinde düşünürken gerçekleşen olayın bizzat kendisidir. Radyonun sesini artırdığımızda, sesini duyarsınız. Yani konuşmak, sesli düşünmek demektir (radyo konuşur ve yayımlar). Susmak ve düşünmek, sessiz konuşmak demektir (çalışan bir radyo, ama sesini sifıra indirdiğimiz bir radyo) (Joseph, 2019).

1.3. Yapay Zekâ Bilinci

"Yapay zekâ" terimi, birçok farklı hesaplama mimarisini ve uygulamasını kapsamaktadır ve çok geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bir yapay zekâ sisteminin bilinçli olup olmadığı sorulduğunda kastedilen, bu sistem tarafından uygulanan hesaplama mimarisinin, uygulama ve eğitiminin belirli tuhafliklarıyla birlikte, potansiyel olarak belirli bir görevde bilinçli deneyimlere sahip olup olmadığıdır. Mimari ve bu özellikler, sistemin yapabileceği hesaplama dinamiklerini belirler. Bu nedenle, soru, sistemin bir hesaplama teorisine göre bu hesaplama evriminde bilinçli olacak şekilde bir hesaplama evrimine sahip olup olmadığıdır.

Yapay Zekâ, akıllı varlıkları anlamaya çalışan en yeni disiplinlerden biridir (Russel ve Norvig, 2002). Aslında yapay zekâ çalışmaları, kendimizi daha iyi anlamamıza da olanak sağlamaktadır. Felsefe ve Psikoloji gibi alanlar da aynı şeyi yapmaya çalışır, ancak fark şu ki, yapay zekâ yalnızca insan zekasını anlamaya çalışmakla kalmaz, aynı zamanda insan benzeri zeki varlıklar inşa etmeye çalışır. İnsan seviyesinde zekaya sahip bilgisayarların günlük yaşamımız üzerinde kesinlikle muazzam bir etkisi olacağı aşikardır,

belki pek çok bilim kurgu filminde tasvir edildiği gibi olmasa da benzer ve daha birçok şekilde olabilir.

Yapay zekâ, multidisipliner bir alandır ve Bilgisayar Bilimi dışında Matematik, Mantık, Olasılık Teorisi, İstatistik, Kontrol Sistemleri, Bilgi Teorisi, Felsefe, Psikoloji, Nörobiyoloji ve diğer birçok disiplinden de kavramlar alır. Yapay zekâ, aslında kulağa basit gibi gelebilir, ama esas konu "yapay bilinç"(Artificial consciousness). Yapay zekâ sistemlerinin bilinçli olup olmadığı sorusu, kritik bilimsel, felsefi ve toplumsal kaygılardan biri olarak ortaya çıkmıştır. Bilinç teorilerini ayırt etmek için ampirik destek hala gelişme aşamasındayken ve mevcut bilinç ölçümleri (bunun en basit örneği sözlü raporların yorumlanmasıdır) yapay zekâ sistemlerine haklı olarak uygulanamazken, güvenilir yanıtlar için en iyi model, yapay zekanın bilinç potansiyelini ampirik önemi veya felsefi güvenilirliği olan bilinçli deneyimin temel özellikleriyle ilişkilendirmektir.

2020 Nobel Fizik Ödülü alan Roger Penrose'a göre, yapay zekâ insan beyninin ürettiği duygu, düşünce ve bilinçli deneyimleri üretemeyeceğini, zihinsel süreçlerin klasik algoritmalarla modellenemeyeceğini ileri sürmektedir. Penrose, "bilinç olgusunun, nöronların yapısını destekleyen mikrotübüllerin kuantum durumları ile açıklanabileceğini vurgulamaktadır."

Zekâ ve bilinç arasındaki ilişkiyi tartıştığımızı göre sıradaki soru şu: "Bilinçli makineler, yani içlerindeki benzersiz "ben"i tanımlayabilen makineler tasarlanabilir mi? Yapılan araştırmalara göre, bu mümkün görünmüyor. Bu bağlamda, "Yapay zekâ" terimi konuya oldukça uygun gibi görünüyor, insanlar "Yapay Bilinç" terimini belki de varlığının imkânsız gibi görünmesi nedeniyle icat etmediler. Ama bilinçli makinelerin olamayacağına dair herhangi bir gerekçe var mı? Görünüşe göre var.

Rasyonellik olarak anlaşılan zekâ, bir dereceye kadar matematik ve mantıkla tanımlanabilir ve analiz edilebilir. Bilgisayar bilimi ve yapay zekanın tamamı, öncelikle matematik ve mantığa dayanmaktadır (Russel ve Norvig, 2002). Ancak iş bilinç olunca matematik biter, felsefe başlar. Bilim adamları beyinden başlayıp genetik koda kadar bilincin kaynağını bulmaya çalışmışlardır. Ancak o seviyede bile, her birey varlığını deneyimleyebilmesine rağmen, bilincin izine rastlanmaz. Bilincin bileşimi, tamamen mekanik veya kimyasal gibi görünmüyor. Bilincimizi anlamaktan bahsetmek gerekirse, zihnimizi ve zekamızı bile tam olarak anlayamayız. Yalnızca maddeden oluşmuş olsaydı, elektronik devre ağları ya da başka

mühendislik araçlarıyla simüle edilebilirdi. Bununla birlikte, sadece madde değil, maddenin ötesinde bir şeyse, ki öyle görünüyor, o zaman yapay bilinç için umut olmayabilir.

1.4. Yapay Zekânın Sınırlamaları: Makine Zihni ve İnsan Zihni

Yapay zekâda ne hayal edilirse edilsin, bunların hepsinin gerçekleşmeyeceğini anlamamız gerekmektedir. Çünkü bazı kaçınılmaz ve doğal sınırlamalar vardır. Böyle bir sınırlama, ünlü mantıkçı Kurt Gödel (1906-1978) tarafından 1931'de iki Eksiklik Teoremi'nde ifade edilmektedir (Gödel, 1971). Bu teoremler, matematiksel olarak son derece titiz, ancak felsefi olarak çok basittirler. Herhangi bir bilimsel teori, apaçık gerçekler olarak kabul edilen, aksiyom adı verilen bir dizi varsayımla başlar. Daha sonra ispatlanan tüm teoremler ve sonuçlar bu aksiyomlara dayanır. Örneğin, geometri bilgisi bir noktanın var olduğu varsayımıyla başlar. Fizik bilgisi, üç şeyin var olduğu varsayımıyla başlar: madde, uzay ve zaman. Matematik ve Bilgisayar bilgisi, 1, 2, 3, ... vb. sayıların varsayımına dayanır.

Gödel'in ilk eksiklik teoremi şöyle der: "Verilen herhangi bir aksiyom sistemi, her zaman sistemin kanıtlamayacağı bazı doğru ifadeler olacaktır." Ancak bu, yapay zeka'nın gücünü nasıl sınırlar? Argüman oldukça basittir. İnsan zihnini matematiksel ve mantıksal analiz açısından anlayabileceğimize inanırsak, o zaman Gödel'in birinci teoremine göre zihnimiz hakkında asla bilemeyeceğimiz bazı gerçekler her zaman olacaktır. Kendi zihnimizi ve zekamızı tam olarak anlayamıyorsa, tıpkı bizim gibi zeki bir varlığı nasıl geliştirebiliriz? Gödel'in ikinci eksiklik teoremi ise tutarlılıkla ilgilidir. Bir aksiyom sistemi, sistem bir önermenin doğru ya da yanlış olduğunu, ancak ikisini birden kanıtlamıyorsa tutarlı olarak adlandırılır. Basit bir benzetme olarak, "Yağmur yağıyor" dersek, o zaman tutarlı oluruz, çünkü "Yağmur yağıyor" olgusu ya doğrudur ya da yanlıştır, ama ikisi birden değildir. Aynı şekilde "Yağmur yağmıyor" dersek tutarlı da oluyoruz. Ama "Hem yağıyor hem yağmıyor" dersek tutarsız oluyoruz.

Gödel'in ikinci eksiklik teoremi, "Bir aksiyom sistemi tutarlıysa, kendi tutarlılığını doğrulayamaz" der. Bunun yapay zekadaki anlamı nedir? Aslında bir taraftan bu teorem, bir robot tasarlandığında, o robotun kendi tutarlılığını doğrulayamayacağı anlamına gelmektedir, çünkü sonuçta robot aksiyomatik bilimin bir ürünüdür. Öte yandan ise, bu teorem, insan zihninin sadece bir aksiyom sistemi olmadığı anlamına gelir. Öyle olsaydı, kendi tutarlılığımızı doğrulayamazdık. Halbuki gerçekte tutarlı olduğumuzu

biliyoruz. Mesela kimse aynı anda “Başım ağrıyor, başım ağrımıyor” demiyor. Tutarsız olduğumuza inanırsak, düşünmeyi tamamen bırakıp delirmeyi tercih ederiz. Kendi tutarlılığımızı bildiğimiz için, zihnimiz tamamen mekanik olamaz, Rene' Descartes'ın tahmin ettiği gibi, zihnimizde bir "ruh" parçası olmalıdır.

Ne kadar uğraşsık uğraşalım, belki de bilinç her zaman insan bilgisinin ötesinde kalacaktır. Mantığın kaynağı, bilincin kendisidir. Dolayısıyla mantığı uygulayarak bilinci anlamak mümkün değildir. Yani, kişi kaynağın bir ürününden, kaynağın bizzat kendisini nasıl anlayabilir? Belki bir yere kadar anlaşılabilir ama tamamen değil.

1.5. Beden, Zihin, Zekâ ve Bilinç

Şimdiye kadar “zihin” ve “zekâ” kelimelerini birbirinin yerine kullandık. Ancak dikkatlice incelenirse birbirlerinden farklı oldukları göze çarpar. İnsan gibi bir canlının en kaba varoluş düzeyi, duyu organlarından oluşan bedenidir. Zihnin bedenden ayrı olduğu gerçeğini anlamak zor değil. Çoğu zaman bedende ağrı olmasa da zihnimizde ağrı hissederiz. Yine bedende ağırlı bir yara olabilir ama zihin mutlu bir olayla meşgulse o zaman yarayı ya da ağrıyı unutabilir. Zihin sadece bir düşünce ve duygu deposudur. Bununla birlikte, zekâ zihinden daha incedir. Zekâ, doğru ve yanlış eylemleri (rasyonel ve irrasyonel eylemleri) ayırt etme gücüne sahip olan varlık olarak tanımlanabilir (Moravec, 1988). Örnek olarak, bir doktorun bir hastaya acı bir şurup verdiğini varsayalım. Hastanın zihni böyle bir ilaca büsbütün karşı çıkabilir, zihin “İlacı almayın” diyebilir, diğer taraftan zekâ ise “Peki, ilacı almazsanız hastalığınız geçmez” der. Bu durumda zihnin kendisinde bir ikilik olduğu iddia edilebilir- zihnin rasyonel kısmı ile zihnin irrasyonel kısmı. Ancak zekanın zihinden ayrı bir varlık olduğunu söylemeyi tercih etmemizin nedeni, zekanın zihin üzerindeki kontrol gücüdür. Dolayısıyla, zihnin bedeni kontrol etme gücü olduğu ve zekanın da zihni kontrol etme gücü olduğu için bir hiyerarşi var gibi görünüyor. Zihin, duygulara dayalı olarak çalışır ve bu nedenle, içgüdülerimizin yönlendirdiği anda bir şey yaparsak, çoğu zaman hata yaparız. Ayırt etme ve rasyonel karar verme gücüne sahip olan zekadır. “Kalbinle değil, beyninle karar al” dediğimizde aslında şunu kastediyoruz: “Zihnin duygularıyla değil, zekanın rasyonelliği ile karar al.” Ancak bu, kalbin zihnin merkezi, beynin ise zekanın merkezi olduğunu göstermez; bu tamamen farklı bir konu ve şu anki tartışmanın kapsamı dışında.

Bilinç, en incelikli olan varlıktır. Bedenin, zihnin ve zekanın ötesindedir. Örneğin, komada olan bir hasta hiçbir şey düşünmez veya hissetmez ve bu nedenle zihni aktif değildir. Herhangi bir mantıksal analiz yapamaz ve herhangi bir karar veremez ve dolayısıyla zekâsı da aktif değildir. Ama kişi hala yaşıyor ve bu nedenle yaşam gücü ya da bilinç onun içinde tamamen mevcuttur. Kısacası bilinç, yaşamın semptomudur diyebiliriz. İnsanlar bilinci beyinle ilişkilendirmeye çalışmaktadırlar, ancak bu durum bile tartışılabilir. Farklı canlı türleri farklı zekâ seviyelerine sahip olduğundan, zihin ve zekanın beyinle bir bağlantısı olabilir. Ancak bilinç, yalnızca sinir sisteminin veya beynin bir ürünü gibi görünmüyor. Ağaçların sinir sistemi ya da beyni yoktur ama bilinçleri vardır. Tek bir canlı hücrenin akli mi yoksa zekâsı mı olduğu tartışılabilir, ama şüphesiz bir bilince sahiptir.

1.6. Bilinç ve Dinamik Alaka

Dinamik alaka, 'fiziksel olanın nedensel olarak kapanması' veya 'fiziksel olanın eksiksizliği' olarak bilinen ontolojik bir varsayımla kısmen ilişkili olan epistemik bir varsayımdır: eğer fiziksel, bilinç sayesinde nedensel olarak kapalı değilse, o zaman bilinç dinamik olarak alakalıdır. Bu nedenle, bilincin dinamik olarak alakalı olup olmadığını belirlemenin ilk yolu zihin felsefesidir. Literatürde fiziksel olanın nedensel olarak kapanması lehinde ve aleyhinde geniş tartışmalar yapılmıştır (Robb, Heil ve Gibb, 2023). Bildiğimiz kadarıyla, bugüne kadar nedensel kapanmaya karşı kesin bir argüman yoktur. Öte yandan, nedensel kapanmaya yönelik hiçbir argüman dinamik ilgisizlik oluşturamaz çünkü bilinç fizikselse, nedensel kapanma geçerlidir, ancak bilinç yine de dinamik olarak alakalı olabilir.

İkinci yol, araştırmacı ya da toplum olarak yaptığımız bazı uygulamaların gerekli koşullarını incelemektir; bunlar, bu pratiklerin öngördüğü koşullardır. Bu duruma verilebilecek en iyi örnek, son zamanlarda diğer pek çok kuruluşun yanı sıra “Bilincin Bilimsel Çalışma Derneği” tarafından geniş çapta yürütülen, bilincin ampirik araştırmaları olabilir. Bilincin herhangi bir ampirik araştırması, belirli bağlamlarda bir öznenin bilinç durumunu anlamak için kullanılacak davranışsal ölçümleri (raporlar gibi, ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere) varsaymaktadır. Bu çıkarım araçlarına genellikle bilinç ölçümleri denir. Dinamik alaka, herhangi bir bilinç ölçüsünün amaçlandığı gibi çalışması için bir öncüdür. Bunun nedeni, eğer bilinç herhangi bir fiziksel durumun zamansal evriminde bir fark yaratmıyorsa, varlığı veya yokluğu, vücut hareketini (örneğin bir düğmeye

basma) veya ses dalgalarını (sözlü bildirim) açıklayan fiziksel durumlardan çıkarsanamaz. Bilinç teorilerinin ampirik ayırt edilebilirliği, dinamik ilgililiğe bağlıdır. İkinci yolun bir başka iyi örneği, bilincin yapay zekâ mühendisliği perspektifinden incelenmesidir. Bilinç, bir sistemin performansında bir fark yaratıyorsa, dinamik olarak alakalıdır. Bu nedenle, bilincin uygulanmasının bir sistemin evriminde nasıl bir fark yaratabileceğini soran herhangi bir yapay zekâ mühendisliği perspektifi, bilincin dinamik olarak alakalı olduğunu varsayar.

Son olarak üçüncü yol, metafizik teoriler ile bilimsel teoriler arasında ayırım yapmanın faydalı olduğu mevcut bilinç teorileri yoluyla. Metafizik teoriler öncelikle bilincin ne olduğu sorusunu hedeflerken, bilimsel teoriler öncelikle bilincin ne yaptığını modeller.

Bilinç, bir sistemin durumlarının zamansal evrimi ile ilgili olması durumunda- yani dinamik olarak alakalı olması halinde- yapay zekâ sistemlerinin bilinçli olamayacağını söylemek mümkündür. Bunun nedeni, yapay zekâ sistemlerinin sapmaları sistematik olarak engelleyen veya bastırılan hesaplama dinamiklerine uymak üzere tasarlanmış ve doğrulanmış CPU'lar, GPU'lar, TPU'lar veya diğer işlemciler üzerinde çalışmasıdır. Tasarım ve doğrulama, özellikle bilinçle ilgili potansiyel dinamik etkileri engeller veya bastırır, böylece bilinç eğer dinamik olarak alakalıysa, yapay zekâ sistemleri bilinçli olamaz.

1.7. Yapay Zekâ ile Bilinçli İnsan Beyin Dalgaları Arasındaki Doğrudan Bağlantının Avantajları ve Dezavantajları

Yukarıda da belirtildiği gibi insan beyninden yayılan her dalga bir mesaj taşımaktadır. Bu mesaj sesli de olabilir veya olmayabilir. Yani kişi mesajını konuşarak ifade edebilir veya sadece düşünebilir. İkincisi, beyin mesajlarını yüksek sesle iletmek için konuşma yeteneğine sahip olmayan insanlar için özellikle doğru olabilir. Yapay zekâ, eğer bu insanların beyin dalgalarını okuyabilirse, düşüncelerini söze dönüştürebilir ve konuşma yeteneği olmayan bu kişilerin sorununa çözüm oluşturabilir. Öte yandan, yapay zekâ, görme yetisi olmayan kişiler için de çok faydalı olabilir, çünkü bu durumdaki her bireyin yanında bir yapay zekâ cihazı bulunması durumunda, bu cihaz onlara yol boyunca yardımcı olabilir ve önlerindeki dünyayı açıklayabilir ve onları birçok tehlikeden koruyabilir.

İnsan beyninden yayılan her dalganın belli bir dalga boyuna sahip olduğunu biliyoruz (Searle, 1980). Her insanın kendi dalga boyu vardır. Yani,

gezegendeki insan sayısı kadar dalga boyu vardır diyebiliriz. Şimdi esas soru şu; “Ya Yapay Zekâ insan beyniyle doğrudan iletişim kurabilseydi ve farklı insanların dalga boylarını hafızasında saklasaydı ne olurdu?” Yapay zekâ insanların dalga boylarını içeren bir arşiv merkezi gibidir. Bu dalga boyları, bireylerin kimlik kartları gibi davranır ve her bir kişi hakkındaki tüm bilgileri içerir. Bunun anlamı, düşünme eylemi gerçekleştirdiğinde, düşünce elektromanyetik dalgalar yoluyla uzaya salınır ve yapay zekâ ile bir bilgisayarın belleğine girebilir. Bu durumda artık hiç kimsenin mahremiyeti kalmıyor demektir. Bu, yapay zekânın dünyadaki tüm insanların gizli bilgilerine sahip olacağı anlamına gelmektedir.

Her insanın kendi dalga boyu olduğu için Yapay zekâ, her türlü duyguyu (korku, ağlama, hapsizlik, öksürme, gülme vb. gibi duygular) insanların dalga boyunda onların beyinlerine gönderebilir. Bunu bir örnek ile açıklayalım; 20 kişinin bir odada oturduğunu varsayalım. İşte size yirmi tür dalga boyu. Yapay zekâ, her insanın hangi dalga boyuna sahip olduğunu bilir. Bu durumda kendi dalga boyunda, her biri için farklı bir duygu uyandırabilir ve bu insanların her biri istemsizce güler, ağlar, öksürür ve hapsizlik, çünkü bu dalgalara karşı konulamaz. Ya da tüm insanların dalga boyuna bir duygu yerleştirir ve hepsinin aynı anda kafalarına ve yüzlerine vurur. Bu, insanları kontrol etmenin küçük bir örneğidir. Bu teknik ile tüm insanlar kolaylıkla kontrol edilebilir. Öte yandan mutluluk, hastalıkların tedavisi, aile içi anlaşmazlıkların çözülmesi, hafıza gücünün artırılması ve bağışıklık sisteminin güçlendirilmesi gibi kodlar da insanların dalga boyuna monte edilerek beyinlerine gönderilebilir. Yapay zekâ insanları uzaktan bile hipnotize edebilir.

2. SONUÇ

Yapay zekâ sistemlerinin bilinçli olup olmadığı, yapay zekanın insanın bilinçli beyin dalgaları ile doğrudan bağlantısının olup olamayacağı ve yapay zekanın birçok faydasının yanı sıra bireylerin mahremiyetini etkileyip etkilemeyeceği soruları, büyük bir toplumsal endişe kaynağıdır. Öte yandan, insanlar yapay zekanın istediği gibi kontrol edilebilir ve her şeyi yapmaya zorlanabilir. Bir sistemin bilinçli olup olmadığına dair herhangi bir ifadenin, teorik, felsefi ve en önemlisi ampirik kanıtlarla desteklenen bir bilinç teorisine ve belirli bir bilinç teorisinin gerçeği veya yapay zekâ sistemlerine uygulandığında belirli bir bilinç testinin geçerliliği gibi koşullu varsayımlara dayanması gerekmektedir. Bilimdeki hızlı ilerleme göz önüne alındığında,

yakın gelecekte Yapay Zekanın doğrudan insanın bilinçli beyin dalgalarıyla iletişim kurabilme olasılığı olabileceğini söylemek çok da uzak bir ihtimal değil gibi gözükmektedir. Bu durumun önemli etik, yasal ve teknolojik sonuçları vardır ve muhtemelen yapay zekanın yönetişimini ve bireylerin bu teknolojiyle nasıl etkileşime girdiğini şekillendirmede önemli bir rol oynayacaktır.

Bu derlemede, yapay zekanın temellerini ve sınırlarını ve sınırlamalarını analiz ettik. Zeki canlı denilen varlığın dört bileşenini tartıştık: beden, zihin, zekâ ve bilinç. Beden sadece kaba somut bir maddedir. Ancak diğer üç bileşene gelince, bunlar sadece maddeden yapılmış kimyasal veya mekanik sistemler değildir. Donanım, bedeni şu ya da bu biçimde simüle edebilir. Yazılım, Mantık gibi araçların yardımıyla zihni ve zekayı simüle etmeye çalışabilir, ancak bazı doğal sınırlamalar nedeniyle simülasyon her zaman eksik olacaktır. Yapabileceğimiz en iyi şey, gittikçe daha iyi yaklaşımlar sağlamaktır, ancak en iyi yaklaşım ideal hedefin çok gerisinde kalabilir. Hiyerarşide daha da ileri giderek, tüm bileşenlerin en incisi olan bilinç söz konusu olduğunda bir duvara çarparız ve çok da umut kalmaz. Yine de yapay zekâ araştırmalarının kendi önemi vardır. Yapay zekanın asıl amacı düşünen makineler yaratmak olsa da ve bu amaca yönelik araştırmalar hedeften çok farklı türde sistemler yaratmış olsa da bu sistemler insan toplumunun yararına birçok pratik sorunu çözmek için başarıyla uygulanmaktadır ve uygulanmaya da devam edecektir.

KAYNAKÇA

- Benzmuller, C., and Lomfeld, B. (2020). Reasonable machines: A research manifesto: Advances in Artificial Intelligence: 43rd German Conference on AI, Bamberg, Germany, September 21-25, 2020, Proceedings 43, pages 251–258.
- Bernhard, W. and Roland, V.L. (2018) Explainable Artificial Intelligence The New Frontier in Legal Informatics. Jusletter IT: 1.
- Blum, L. and Blum M. (2022). A theory of consciousness from a theoretical computer science perspective: Insights from the conscious turing machine. PNAS.
- Gödel K., (1971). “Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme,” I. Monatshefte für Mathematik und Physik, 38, pp. 173-198. Translated in English by van Heijenoort: From Frege to Gödel. Harvard University Press, 1971.
- Hall, J.E. and Guyton, A.C. (2016) Textbook of Medical Physiology, Thirteenth edition, Elsevier USA: 577.
- Ismail, W.O.A.S., Hanif, M., Mohamed, S.B., Hamzah, N., Rizman, Z.I. (2016). Human Emotion Detection via Brain Waves Study by Using Electroencephalogram (EEG). *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 6(6), 1005.
- Joseph, M. (2019) The Power of Your Subconscious Mind, St. Martin’s Essentials, USA: 19-20.
- John, E. R., Pritchep, L. S., Kox, W., Valdes-Sosa, P., Bosch-Bayard, J., Aubert E., and Gugino, L.D (2001). Invariant reversible QEEG effects of anesthetics. *Consciousness and Cognition*, 10, 165-183.
- Moravec H., (1988). Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Munk, M. H., Roelfsema, P. R., König, P., Engel A. K. and Singer, W. (1996). Role of reticular activation in the modulation of intracortical synchronization. *Science*, 272, 271-274.
- Nature. (2014) Brain waves. Apr 3;508(7494):8. doi: 10.1038/508008a. PMID: 24707523.
- Nilsson, NJ. (1998) Artificial Intelligence: A New Synthesis, Morgan Kaufmann, San Francisco, USA:1

- One example is Dr. Thaler's Creativity Machine's Patent named Neural Network Based Prototyping System and Method. USA: Patent No. 5852815.
- Place, U.T. (1956) Is consciousness a brain process? *British Journal of Psychology*, 47(1): 44–50.
- Robb, D., Heil, J., and Gibb, S. (2023). Mental Causation. In E. N. Zalta and U. Nodelman, editors, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University.
- Russel S. and Norvig P., (2002). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall, Second Edition.
- Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and brain sciences*, 3(3), 417–424.

BÖLÜM 5

KABLOSUZ HABERLEŞMEDE KULLANIM ALANI OLAN In KATKILI $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ (BZN) MİKRODALGA MALZEMELERİN KARAKTERİZASYONU

Doktora Öğrencisi Oğuz ÖZYOLDAŞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8417455>

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme mühendisliği Bölümü. İstanbul, Türkiye. oguzoyoldas@gmail.com, ORCID ID : 0009-0008-2191-2929

1. GİRİŞ

Seramik yalıtkanlar, birçok seramik türünü, fiziksel ve kimyasal işlemleri ve uygulamaları kapsayan geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır.

Yüksek frekanslarda çalışan radyo yayıncılığı ve radar teknolojileri zamanla geliştirilmiş, bu alanda çok önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Seramik bileşenlerin geliştirilmesi artan teknoloji ile birlikte önem kazanmaktadır.

Mikrodalga dielektrik malzemeler, yazılım radyosu, GPS ve DBS (dijital doğrudan yayın uydu) TV benzeri alanlarda yer aldığı gibi, uydu iletişiminden çevresel izlemeye kadar geniş uygulama yelpazesi içinde oldukça önemli malzemelerden birisi olarak yer almaktadır (Moulson ve Herbert, 2003; Özyoldaş, 2010).

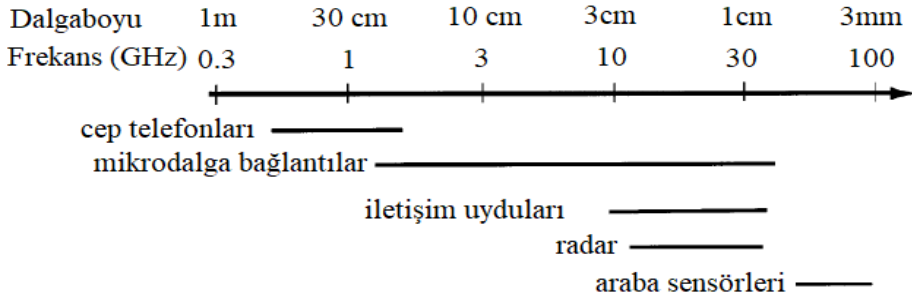
Özel dielektrik malzemelere dayalı geliştirilmiş veya yeni mikrodalga seramiklerde gelecekteki sistemlerin özelliklerini karşılayan yeni tasarımlar gereklidir. Mikrodalga telekomünikasyon, uydu yayını ve akıllı ulaşım sistemleri içindeki son ilerlemeler, kablosuz iletişim cihazlarında kullanılan düşük kayıp özelliği veren dielektrik rezonatörlere (DR) olan talebi arttırmıştır.

Mikrodalga taşıyıcı olarak kullanılan cep telefonlarında ve uydu iletişim sistemlerinde kaydedilen son gelişmeler, cihazların minyatürleştirilmesindeki araştırmalarda ve geliştirmelerde hızlanmaya neden olmuştur (Sebastian, 2008).

Malzeme geliştirmedeki son teknikler, kablosuz iletişimin teknolojisinde önemli değişikliklere neden olmuştur.

Dielektrik oksit seramikler, mobil haberleşmedeki cep telefonlarından küresel konumlandırma sistemlerine kadar filtre, osilatör, anten bileşenlerinin boyutunu ve maliyetlerini düşürerek mikrodalga kablosuz iletişim endüstrisinde büyük ilerleme yapmıştır (Sebastian, 2008; Özyoldaş, 2010).

Kablosuz teknolojiler modern yaşamın birçok yönüne nüfuz etmiştir ve bu eğilim devam edecektir. Bu da, özel olarak uyarlanmış mikrodalga dielektrik malzemelerin geliştirilmesi için güçlü bir uyarıcı olmuştur. Şekil 1, belirli teknolojilere karşılık gelen frekans bantlarını göstermektedir (Özyoldaş, 2010).



Şekil 1: Çeşitli kablosuz teknolojilerin kapsadığı frekans bantları (Özyoldaş, 2010).

$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-ZnO-Nb}_2\text{O}_5$ (BZN) sistemindeki üçlü oksitler, yüksek dielektrik sabitleri, nispeten düşük dielektrik kayıpları ve bileşimsel olarak ayarlanabilir kapasitans sıcaklık katsayıları sergiler (Cann, Randall, Shrou, 1996). Yüksek dielektrik sabiti ve düşük kaybın yanı sıra, bu sistemler, onları günümüzün frekans ve faz çevik cihazları için potansiyel malzemeler haline getiren alana bağlı bir geçirgenliğe sahiptir (Valant ve Davies, 2000).

BZN piroklor bileşiği, 2.27 GHz'lik yüksek frekans seviyelerinde yüksek dielektrik sabitine (~ 121) ve düşük kalite faktörü değeri ($Q \times f \sim 487$ GHz) sergiler (Wang, Wang, Yao, 1995). BZN piroklor ayrıca 230 K civarında zirve yapan 1.8 GHz'de 100 ile 400 K arasında dielektrik gevşeme göstermektedir. THz seviye frekanslarında oda sıcaklığına yakın dielektrik gevşeme meydana gelebilir (Wu, Kamba, Bovtun, Su, 2006). Mikrodalga frekanslarındaki dielektrik gevşeme, BZN'deki yer değiştirme noktası kusurları nedeniyle veya oksijenlerin merkez dışı yer değiştirmesine bağlı olarak A bölgelerinde bizmut ve çinko katyonlarının merkez dışı yer değiştirmesi ile ilişkili piroklor kristal kafesinin polarizasyonu nedeniyle meydana gelebilir (Wu, Kamba, Bovtun, Su, 2006; Levin, Amos, Nino, Vanderah, Reaney, Randall, Lanagan, 2002).

$\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ (BZN) piroklorlar malzemeler, kapasitörler ve mikrodalga rezonatörleri olarak kablosuz iletişim teknolojisi için ilgi çekici malzemelerdir. Bu malzeme yüksek ve kontrol edilebilir dielektrik sabiti, düşük dielektrik kaybı, dielektrik sabitinin sıcaklık katsayısının küçük ve sıfıra yakın değerleri, düşük sinterleme sıcaklığı ve elektrot malzemelerinin daha düşük maliyeti nedenleriyle çok katmanlı yapılarda yüksek frekanslı filtre uygulamalarında ayrıca dikkat çekmektedir (Özyoldaş, 2010; Şahin, 2022; Şahin ve diğerleri, 2023).

Piroklor bileşikleri, A ve B'nin katyonlar ve X ve Z'nin anyonlar olduğu $A_2B_2X_6Z$ genel formülüne sahiptir. A katyonları sekiz koordinelidir ve skalanohedra içinde yer alır ve B katyonları altı koordinelidir ve trigonal antiprizmalar içinde yer alır. Basit piroklor yapısı, uzay grubu Fd3m ile yüz merkezli kübiktir (Özyoldaş, 2010).

Birim hücrede sekiz molekül vardır ($Z=8$) ve stokiyometrik bir piroklor yapısı ($A_2B_2O_7$) için bir birim hücrede 88 atom vardır ki d ve c konumunda 16 A ve 16 B katyonu bulunur, ve 56 O anyonu f ve b konumunda bulunur. Bi_2O_3 -ZnO-Nb $_2O_5$ (BZN) sisteminde, farklı bileşimlere ve kristal yapılarına sahip iki farklı üçlü bileşik oluşur: $Bi_2Zn_{2/3}Nb_{4/3}O_7$ ve $Bi_{1.5}Zn_{1.0}Nb_{1.5}O_7$ veya $(Bi_{1.5}Zn_{0.5})(Zn_{0.5}Nb_{1.5})O_7$.

$Bi_{1.5}Zn_{1.0}Nb_{1.5}O_7$ (BZN) piroklor bileşiği için literatürde iki farklı kimyasal formül önerilmiştir. Birincisi $Bi_{1.5}Zn_{1.0}Nb_{1.5}O_7$ formülüne sahip iken diğeri $Bi_{1.5}Zn_{0.92}Nb_{1.5}O_{6.92}$ formülüne sahiptir. (Cann, Randall, Shrou, 1996; Valant ve diğeri, 2000; Nino, Lanagan, Randall, 2001).

$Bi_2Zn_{2/3}Nb_{4/3}O_7$ bileşiği monoklinik iken, $Bi_{1.5}Zn_{1.0}Nb_{1.5}O_7$ piroklor kübiktir. $Bi_{1.5}Zn_{1.0}Nb_{1.5}O_7$ 'nin yapısı, yüzey merkezli kübik hücreli, Fd3m uzay grubu ve $a=10.556$ Å kafes parametresine sahip tipik bir piroklora aittir. $(Bi_{1.5}Zn_{0.5})(Zn_{0.5}Nb_{1.5})O_7$ piroklor bileşiğinde Bi ve Nb iyonları sırasıyla A- ve B-sitelerini işgal ederken, Zn iyonları hem A- hem de B-sitelerini işgal eder.

$Bi_2Zn_{2/3}Nb_{4/3}O_7$ bileşiği, C2/c uzay grubuna ve $a=13.1037(9)$ Å, $b=7.6735(3)$ Å, $c=12.1584(6)$ Å ve $\beta=101,318(5)^\circ$ kafes parametresine sahip monoklinik zirkonolit benzeri bir yapıya sahiptir.

$Bi_2Zn_{2/3}Nb_{4/3}O_7$ fazının oluşumu sıfır çekirdeklenme hızı ile difüzyon kontrollü reaksiyona aittir, ancak $Bi_{1.5}Zn_{1.0}Nb_{1.5}O_7$ fazı sabit çekirdeklenme hızı ile difüzyon kontrollü reaksiyondur (Özyoldaş, 2010).

$Bi_{1.5}Zn_{1.0}Nb_{1.5}O_7$, $Bi_2Zn_{2/3}Nb_{4/3}O_7$ 'den daha düşük aktivasyon enerjisine ve oluşum sıcaklığına sahiptir (Özyoldaş, 2010; Levin ve diğeri, 2002; Nino ve diğeri, 2002; Wang ve diğeri, 1997; Levin ve diğeri, 2002). Bu iki bileşiğin dielektrik özellikleri de önemli ölçüde farklıdır.

Kübik $Bi_{1.5}Zn_{1.0}Nb_{1.5}O_7$ piroklorun dielektrik sabiti 145, dielektrik kaybı $<0,0002$ ve dielektrik sabitinin sıcaklık katsayısı -360 ppm/ $^\circ C$ iken, monoklinik $Bi_2Zn_{2/3}Nb_{4/3}O_7$ 'nin dielektrik sabiti 80, dielektrik kaybı $<0,0002$ ve dielektrik sabitinin pozitif sıcaklık katsayısı 200 ppm/ $^\circ C$ 'dir (Moulson ve

diğerleri, 2003; Cann ve diğerleri, 1996; Valant ve diğerleri, 2000; Nino ve diğerleri, 2001).

Bu çalışma, mikrodalga dielektrik seramiklerin dielektrik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla Zn yerine yakın iyonik yarıçapa sahip In elementi ($\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.46}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$) piroklor yapısına katılarak seramik yapıya olan entegrasyonu gerçekleştirilmiştir.

Bu tercih, In elementinin BZN yapısındaki çözünürlük limitinin belirlenmesi ve yeni tek fazlı piroklor seramiklerin üretilmesini mümkün kılmıştır. Ayrıca, sinterlenmiş In katkılı BZN seramiklerinin mikroyapıları, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir (Şahin, 2023).

Bu mikroyapı analizi, katkının seramiklerin fiziksel özelliklerine olan etkisini anlamamızı sağlamıştır. Son olarak, In katkılı tek fazlı BZN seramiklerinin dielektrik özellikleri, farklı frekans ve sıcaklık aralıklarında titizlikle ölçülmüş ve bu veriler, yeni seramiklerin mikrodalga uygulamalarında potansiyel olarak daha iyi performans gösterebileceğini anlatmaktadır. Bu nedenle, In katkısının dielektrik seramiklerin özelliklerini geliştirmek için uygun bir yol olduğu sonucuna varılmıştır.

2. METOT VE MALZEME

$\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92-3x/2}\text{In}_x\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ formüllerine sahip toz numuneler, geleneksel katı hal reaksiyonu ile hazırlanmıştır. Katkılı BZN piroklor üretimi için genel akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

Başlangıç malzemeleri olarak, Bi_2O_3 (%99,9; Acros), ZnO (%99; Sigma–Aldrich), Nb_2O_5 (%99,9; Alfa Aesar), In_2O_3 (%99,9; Alfa Aesar) reaktif dereceli oksit tozları alınmıştır.

Oksitlerin stokiometrik karışımları, 10 mm çaplı zirkon bilyeler ile etanol içerisinde 15 saat boyunca bir polipropilen kap içinde bilyeli öğütme ile karıştırıldıktan sonra 24 saat kurutulmuştur ve bu tozlar kapalı bir alümina krozede 800°C 'de 4 saat kalsine edilmiştir (Qasrawi ve diğerleri, 2021).

Nispeten düşük erime sıcaklığına (825°C) sahip olan Bi_2O_3 'ün buharlaşmasını önlemek için 800°C gibi düşük bir sıcaklıkta kalsinasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kalsinasyon oluşumunda olası buharlaşmayı saptamak için, ağırlık kaybı miktarlarını kaydetmek için tozlar kalsinasyondan önce ve sonra tartılarak kontrol edilmiştir. Kalsine tozlar agat taşından yapılan havanda

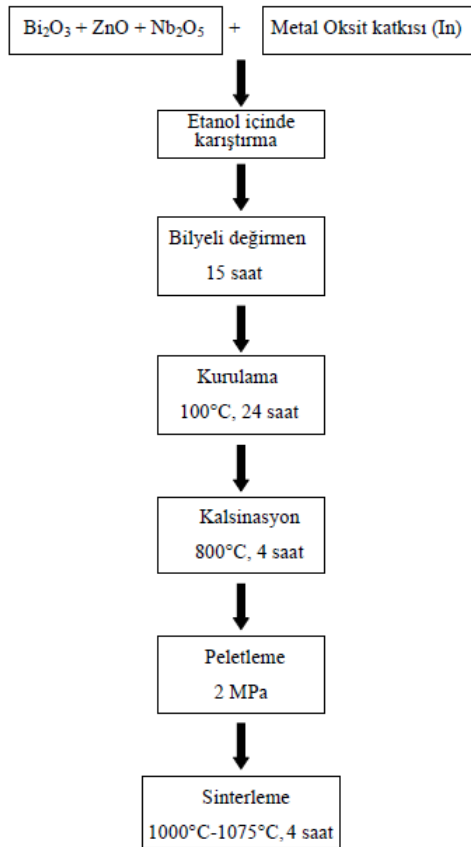
öğütülmüş ve tek eksenli pres kullanılarak 2MPa'da 10 mm çapında ve 1,5-2 mm kalınlığında pelet haline getirilmiştir (Qasrawi ve diğerleri, 2019).

Daha sonra peletler 1000-1075°C arasında, 250°C/h ısıtma ve soğutma hızlarında, sıkıca kapatılmış bir alümina pota içinde yüksek sıcaklıklı bir fırında 4 saat süreyle sinterlenmiştir.

Olası ağırlık kayıplarını gözlemek için peletlerin ağırlığı kalsinasyon esnasında olduğu gibi sinterlemeden önce ve sonra not edilmiştir.

X-ışını kırınım analizi, Rigaku X-ışını kırınım ölçer kullanılarak Cu K α radyasyonu ve 10-70° arasında 1°/dakika tarama hızı ile gerçekleştirilmiştir.

Tek fazlı BZN tozlarının kafes parametrelerini belirlemek için XRD incelemesi sırasında düşük tarama hızları (0.25°/dakika) uygulanmıştır.



Şekil 2: Katkılı BZN piroklor üretiminin akış şeması.

Sinterlenmiş numunelerin mikro yapıları, enerji dağılımlı spektrometre (EDS, Oxford-Inca-7274) ile donatılmış bir taramalı elektron mikroskobu (SEM, JEOL 5910LV) kullanılarak incelenmiştir. İkinci fazları araştırmak için kırılma yüzeyleri ve ayrıca peletlerin yüzeyi incelenmiştir. SEM incelemesi öncesi, yüzey iletkenliğini artırmak için numuneler Polaron Range Sputter Coater-SC7620 kullanılarak 3-5 dakika Au ile kaplanmıştır (Özyoldaş, 2010).

Dielektrik sabiti ve dielektrik kaybı, 20°C ile 200°C arasında 1 kHz ile 2 MHz frekans aralığında HP 4284A LCR metre kullanılarak ölçülmüştür. Dielektrik sabitinin (α_ϵ) sıcaklık katsayısı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$\alpha_\epsilon = \frac{\epsilon_{T_2} - \epsilon_{T_1}}{\epsilon_{T_1}(T_2 - T_1)}$$

burada $\epsilon_{T_2} = 120^\circ\text{C}$ 'de dielektrik sabiti (T_2), $\epsilon_{T_1} = 25^\circ\text{C}$ 'de dielektrik sabitidir (T_1) (Özyoldaş, 2010; Qasrawi ve diğerleri, 2019).

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada piroklar bileşiklerinin özelliklerinden faydalanılarak BZN bazlı yeni mikrodalga dielektrik malzemeler üretilmiştir. Üretilen yeni malzemenin belirlenen ölçümler ile karakterize edilmesi oldukça önemlidir. Yapılan testler sayesinde malzemenin mikroyapısını kontrol etmeye odaklanmak ile aslında amaçlanan özelliklerin bir bakıma bulunması hedeflenmektedir.

3.1 XRD Sonuçları

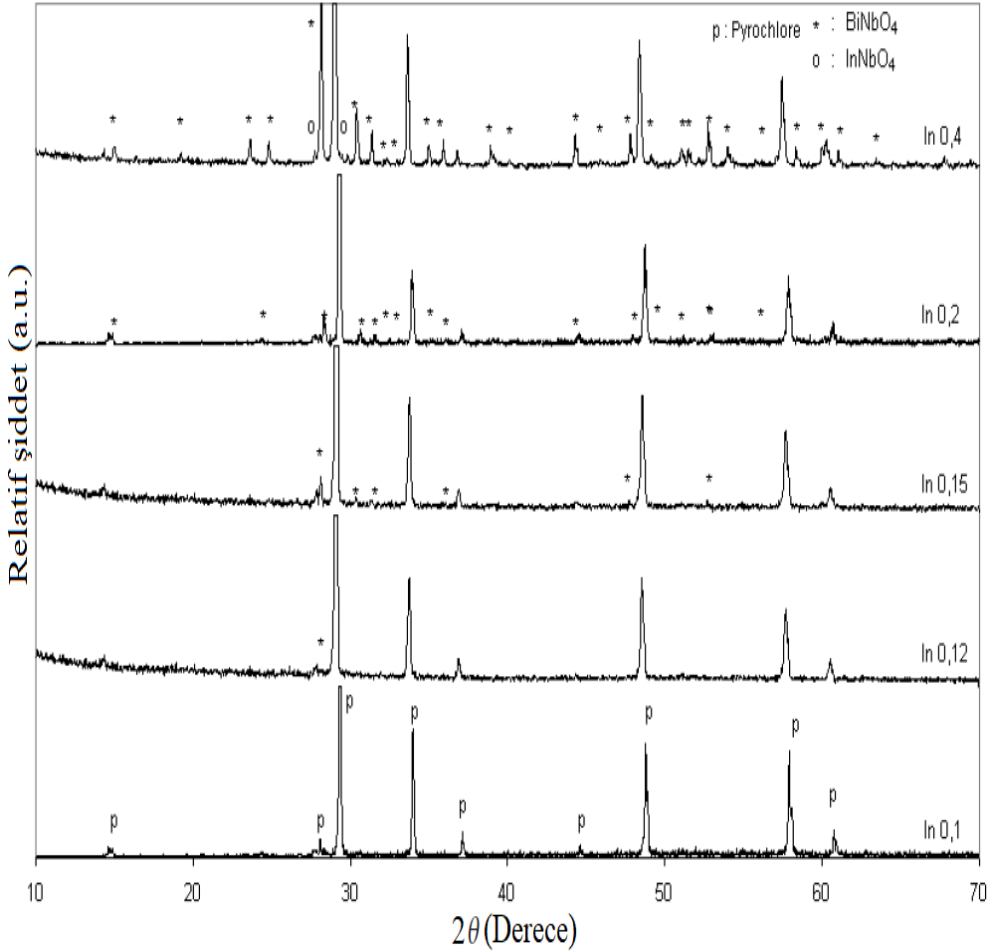
In elementinin iyonik yarıçapı (0,8 Å) Zn iyonunun yarıçapına (0,74 Å) yakın değerdedir. Bu nedenden dolayı In elementi, $\text{Bi}_{1,5}\text{Zn}_{0,92-3x/2}\text{In}_x\text{Nb}_{1,5}\text{O}_{6,92}$ kompozisyonu bileşimi boyunca B sahasındaki Zn katyonunu değiştirmek için BZN'ye katıldı.

Burada $x=0,1$ değeri ile elde edilen bileşikte tek fazlı bir piroklar yapısı gözlenirken, $x=0,12$ değeri ile ikinci fazlar oluşmaya başlamıştır (Şekil 3).

BiNbO_4 (JCPDS Kart No: 16-295) ikinci fazı $x=0,12$ 'de yapıda oluşmaya başlamıştır ve bu faz x değeri yükseldikçe artmıştır.

Ayrıca x değeri 0,40 değerine çıkarıldığında başka bir faz olan InNbO_4 (JCPDS Kart No: 25-384) gözlenmiştir.

Böylece In'nin BZN bileşiğindeki çözünürlük limitinin $x=0.1$ olduğu anlaşılmıştır.

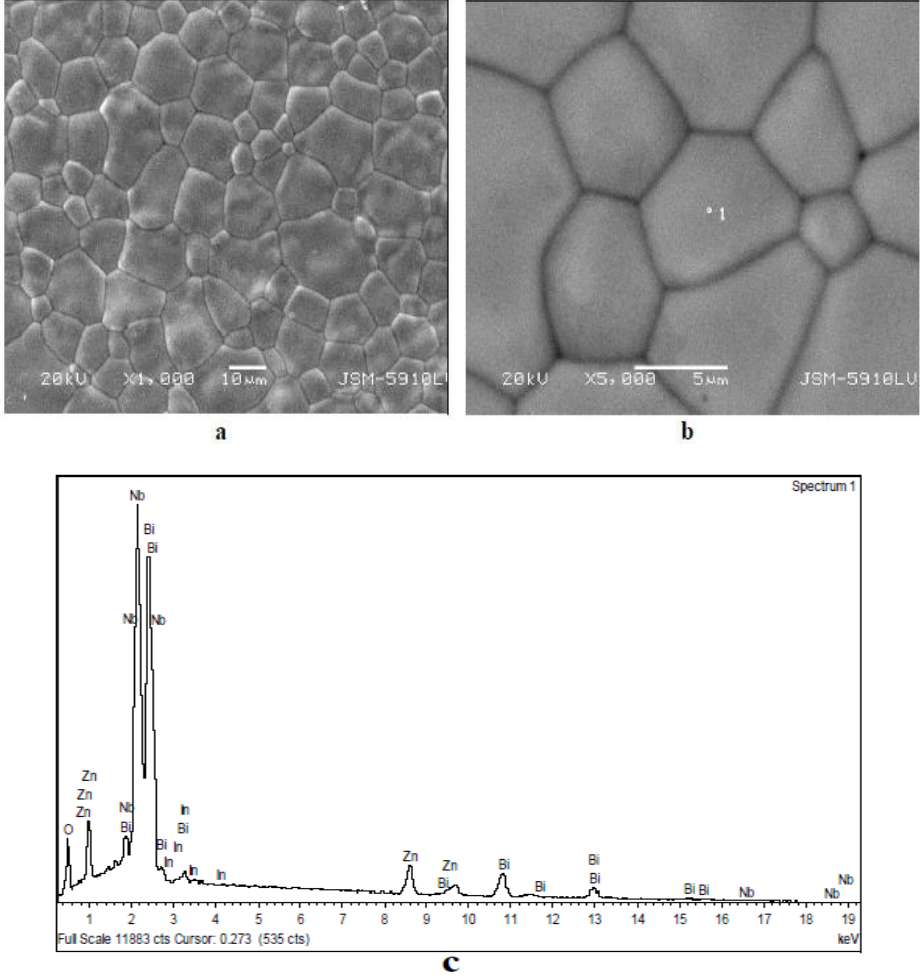


Şekil 3: $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92-3x/2}\text{In}_x\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ yapısı için $x=0.1, 0.12, 0.15, 0.2$ ve 0.4 değerlerinin XRD desenleri.

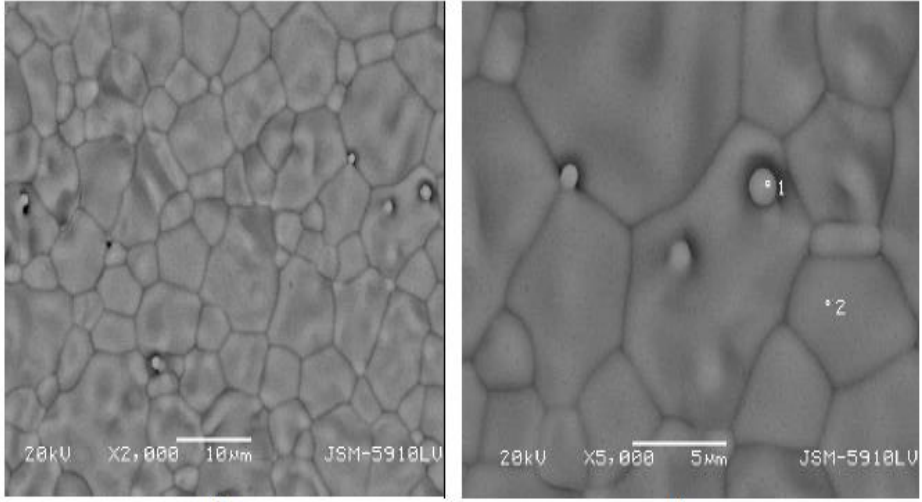
3.2 SEM Sonuçları

In katkılı BZN numunesinin mikro yapısı, çözünürlük limitinde ($x=0.10$) ve çözünürlük limitinin hemen üzerinde ($x=0.12$) In içeren numuneler kullanılarak SEM cihazı ile ayrıntılı incelenmiştir. 0.10 x değerinde SEM, XRD analizinde görüldüğü gibi sadece tek fazlı yapı göstermiştir (Şekil 4). Ancak çözünürlük sınırının ($x=0.12$) üzerinde mikroyapıda ikincil faz gözlenmiştir (Şekil 5). İkincil faza uygulanan EDS analizi sonucunda, XRD sonuçlarını destekleyen BiNbO_4 'ün teorik bileşimi

(Şekil 5 c) ile oldukça uyumlu bir bileşime sahip olduğu anlaşılmıştır. In ilavesinin tane boyutu üzerinde önemli bir etkisi olmuştur ve ilave arttıkça tane boyutunun önemli ölçüde azaldığı görülmüştür (Şekil 6). BZN tane boyutu $x=0.10$ 'da 5-12 μm civarında iken $x=0.12$ 'de 2-9 μm 'ye düşmüştür.

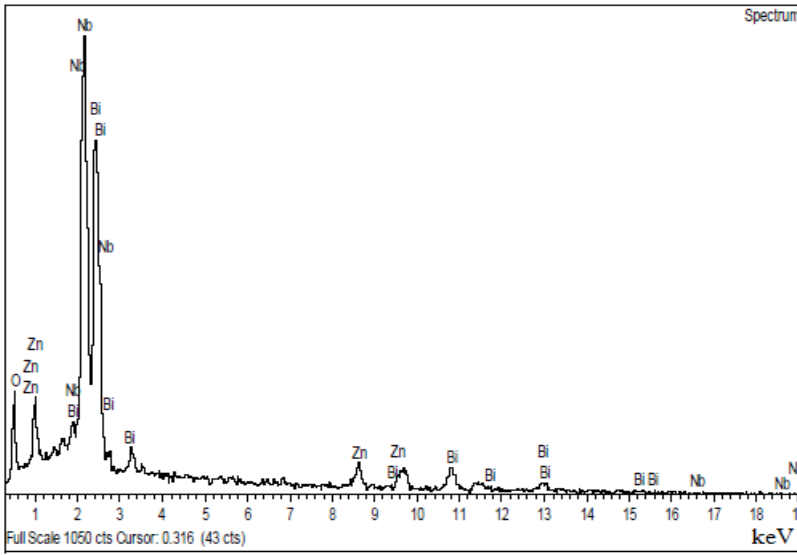


Şekil 4: $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92-3x/2}\text{In}_x\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ piroklor bileşiğinin SEM görüntüleri ($x=0.1$) a) Aynı bölge için SEI ($\times 1000$) b) BSE görüntüsü ($\times 5000$) c) 1 noktasından EDS (piroklor fazı) analizi.



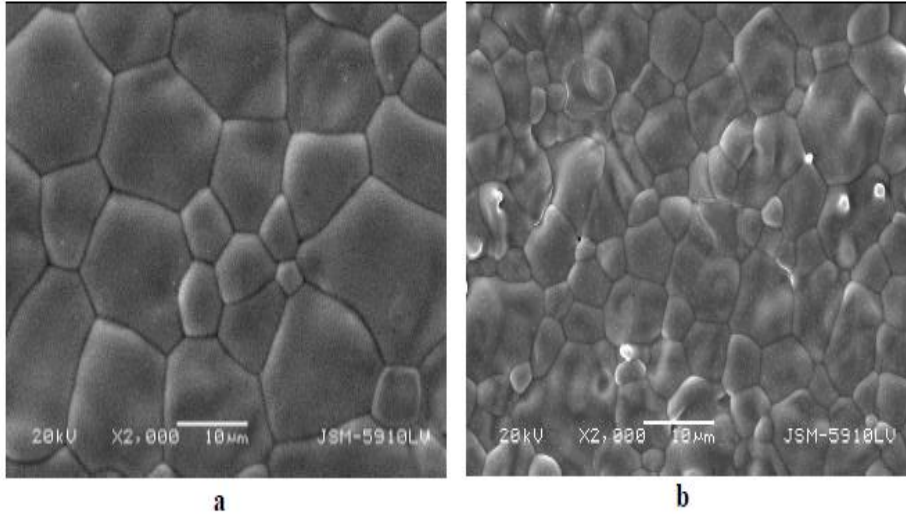
a

b



c

Şekil 5: $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92-3x/2}\text{In}_x\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ piroklor bileşiğinin SEM görüntüleri ($x=0.12$) a) Aynı bölge için BSE görüntüsü ($x2000x$) b) BSE görüntüsü ($x5000$) c) 1 noktasından EDS (BiNbO_4 fazı) analizi.



Şekil 6: In katkısının BZN tane boyutu üzerindeki etkisi a) $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.77}\text{In}_{0.1}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ ($x=0.10$) ve b) $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.74}\text{In}_{0.74}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ ($x=0.12$)

3.3 Dielektrik Sonuçları

Dielektrik ölçümler, gümüş kaplı diskler üzerinde 1 kHz ila 2 MHz frekanslarında yapılmıştır.

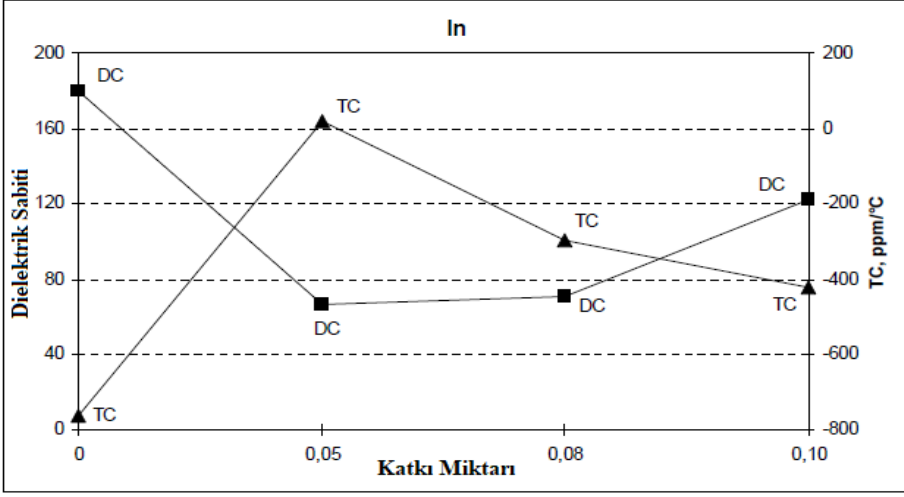
Oda sıcaklığından 200°C'ye kadar olan aralıktaki dielektrik özelliklerin sıcaklığa bağlılığı, otomatik bir ölçüm sistemi kullanılarak ölçülmüştür.

BZN'ye katkılama genellikle dielektrik sabiti düşük katkılama oranlarında azalır, ancak yüksek katkılama oranlarında artar.

In-katkılı BZN'nin dielektrik sabiti $x=0.05$ 'te 178'den 67'ye düşmüş ve $x=0.08$ 'e kadar sabit kalmış, sonra $x=0.1$ 'de 122'ye yükselmiştir (Şekil 7).

Dielektrik sabitinin sıcaklık katsayısı, In katkısıyla $x=0.05$ 'e kadar artarak yaklaşık 18 ppm/°C vererek azalmış, daha sonra $x=0.1$ 'de In katkısıyla -420 ppm/°C'ye ulaşarak sürekli artmıştır (Şekil 7).

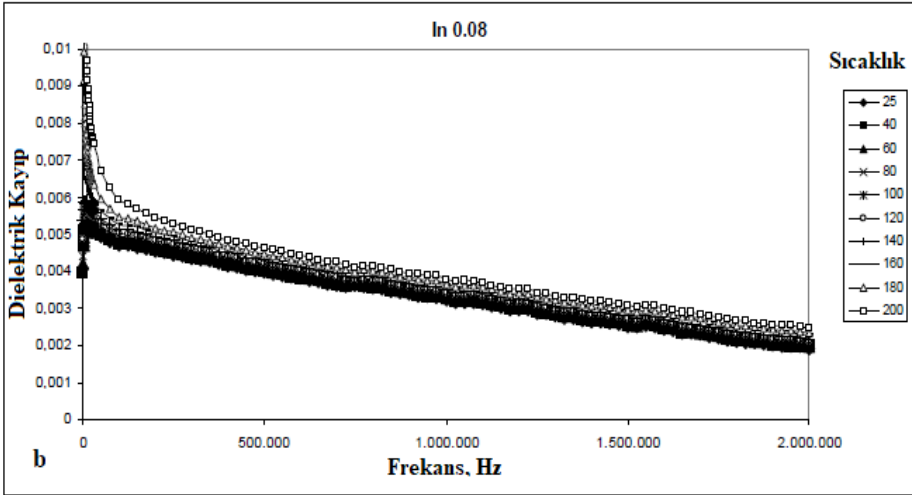
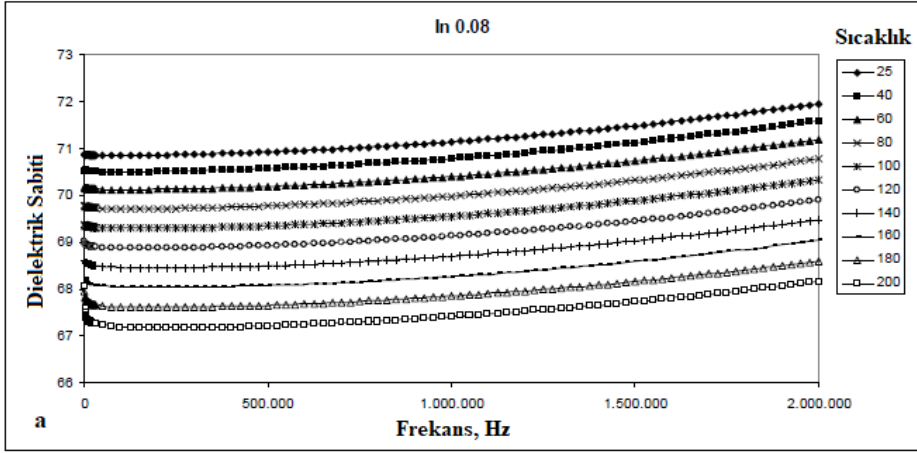
$x=0.08$ ($\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.80}\text{In}_{0.08}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$) katkılı In katkılı numunenin dielektrik özellikleri frekansa (1 kHz-2 MHz) ve sıcaklığa (20-200°C) karşı incelenmiştir (Şekil 8).



Şekil 7: Dopant içeriğinin (25°C - 1MHz) bir fonksiyonu olarak In katkı BZN'nin dielektrik sabiti (DC) ve dielektrik sabitinin (TC) sıcaklık katsayısı.

Dielektrik sabitinin frekansla hafifçe arttığı gözlenmiştir. Ancak sıcaklığın dielektrik sabiti üzerinde daha belirgin bir etkisi olmuştur ve 1 MHz'de 67'den 72 değerine çıkmıştır.

In katkılı BZN'nin $x=0.08$ için dielektrik kaybı, düşük frekansta (< 100 kHz) keskin bir düşüş göstermiştir, ancak daha sonra 50 kHz'in üzerinde 2 MHz'e kadar hafif bir azalma gözlenmiştir (Şekil 8 b). 100 kHz'in üzerindeki tüm frekans ve sıcaklık aralıklarında, dielektrik kaybı 0.006'nın altındadır.



Şekil 8: In katkılı BZN yapısı için a) dielektrik sabiti ve b) dielektrik kaybının frekans ve sıcaklıkla değişimi ($x=0.08$).

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında $(\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.46})(\text{Zn}_{0.46}\text{Nb}_{1.5})\text{O}_{6.92}$ (BZN) bazlı yeni mikrodalga dielektrik malzemeler üretilmiştir.

İn elementi $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92-3x/2}\text{In}_x\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ kompozisyonu boyunca belirli miktarda katkılandı ve yeni mikrodalga dielektrik malzemeler üretildi. İn katyonun çözünürlük limiti 0,1 olarak belirlendi. Katkılı BZN yapılarının

nispi yoğunlukları %97'den fazla bir değere sahipti. Bununla birlikte, In'nin BZN'ye dahil edilmesi başlangıçta dielektrik sabitini düşürdü, ancak daha sonra $x = 0.05$ 'in üzerinde bir artışa yol açtı. Katkılı BZN seramiklerin dielektrik özelliklerinin frekansa ve sıcaklığa bağlı değişimi hemen hemen aynıydı. Dielektrik sabiti, frekans ve sıcaklık ile neredeyse kararlıydı. Dielektrik kayıp ve sıcaklık katsayıları da In katkısı içeriğinden etkilenmiştir.

Katkılı bu malzemelerin hall etkisi belirli yöntemlerle ayrıca ölçülmelidir, katkılı BZN malzemelerin optik özellikleri araştırılmalıdır, bununla birlikte BZN yapılarının farklı polimerlerle oluşan kompozitlerinin elektromanyetik yutuculuk ve ekranlama etkinliği özellikleri incelenmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada 2017 yılında aramızdan ayrılan Prof. Dr. Ayhan Mergen anısına ithafendir. Bu çalışma yüksek lisans tezinden elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Cann D. P, Randall C. A, Shrout T. R. (1996). Investigation of the dielectric properties of bismuth pyrochlores. *Solid State Commun.*, 100(7), 529-534.
- Levin, I., Amos, T. G, Nino, J. C, Vanderah, T. A, Randall, C. A, Lanagan, M. T (2002). Crystal structure of the compound $\text{Bi}_2\text{Zn}_{2/3}\text{Nb}_{4/3}\text{O}_7$. *J. Mater. Res.*, 17, 1406-1411.
- Levin, I., Amos, T. G, Nino, J. C, Vanderah, T. A, Randall, C. A, Lanagan, M. T (2002). Structural study of an unusual cubic pyrochlore $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$. *J. Solid State Chem.*, 168(1), 69-75.
- Moulson, A. J., Herbert J. M. (2003). *Electroceramics: Materials, Properties, Applications*. (2nd ed.). Wiley.
- Nino, J. C, Lanagan, M. T, Randall, C. A. (2001). Dielectric relaxation $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-ZnO-Nb}_2\text{O}_5$ cubic pyrochlore. *J. Appl. Phys.*, 89, 4512-4516.
- Özyoldaş, O. (2010). *Production and Characterisation of $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ Pyrochlore Ceramics with Precious Metal Oxide Additives*, Master Thesis, Marmara University Institute For Graduate Studies In Pure and Applied Sciences, İstanbul-Turkey.
- Qasrawi, A. F., Sahin, E. İ., Abed, T. Y., Emek, M. (2021). Structural and dielectric properties of $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ solid solutions. *Phys. Status Solidi B*, 258, 2000419-2000436.
- Qasrawi, A. F., Sahin, E. İ, Emek, M., Kartal, M. and Kargin, S. (2019). Structural and dielectric performance of the $\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3-x}\text{Sb}_x)\text{O}_3$ perovskite ceramics. *Materials Research Express*, 6, 095095.
- Sebastian, M. T. (2008). *Dielectric Materials for Wireless Communication*. (1st ed.). Elsevier.
- Şahin E. İ. (2022). Microwave electromagnetic shielding effectiveness of ZnNb_2O_6 -chopped strands composites for radar and wideband (6.5-18 GHz) applications. *Lithuanian Journal of Physics*, 62(3), 161-170.
- Şahin, E. İ., Emek, M., Ibrahim, J. E. F. M. (2023). *Instrumental measurements laboratory* (1st ed.). Iksad Publishing House.
- Şahin E. İ. (2023). Electromagnetic shielding effectiveness of $\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$:Chopped strands composites for wide frequency applications. *Journal of Ceramic Processing Research* . 24(1); 1-7.
- Wang H, Wang H, Yao X. (1997). Structures, phase transformations, and dielectric properties of pyrochlores containing bismuth. *J. Am. Ceram. Soc.*, 80, 2445-2748.

- Wu, M. C, Kamba S, Bovtun V, Su W. F. (2006). Comparison of microwave dielectric behavior between $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$ and $\text{Bi}_{1.5}\text{ZnNb}_{1.5}\text{O}_7$. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 26(10-11), 1889-1893.
- Valant M, Davies P. K. (2000). Synthesis and dielectric properties of pyrochlore solid solutions in the Bi_2O_3 -ZnO-Nb₂O₅-TiO₂ system. *J. Am. Ceram. Soc.*, 83, 147.

BÖLÜM 6

A356 ALAŞIMININ ISIL İŞLEM YÖNTEMİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Doç. Dr. İsmail TOPCU¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8417471>

¹ Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya, Türkiye. İsmail.topcu@alanya.edu.tr, ORCID ID : 0000-0002-2998-6569

1. GİRİŞ

A356 (Al-Si-Mg) alüminyum alaşımı, yüksek dayanım/ağırlık oranı, üstün dökülebilirlik, yaşlandırma ve mekaniksel özellikleri iyileştirilebilir olması nedeniyle, otomotiv endüstrisinde oldukça fazla kullanılan alaşımlardandır (Ayran, 2019). Bugün çoğu ülkede ve dünyanın bir çok bölgesinde nerdeyse bütün araçlar alüminyum döküm alaşımlı jantlar kullanılmaktadır (Özderin, 2017). Alüminyum alaşımlı jantların her yıl kullanımının artması; üretim maliyeti, düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, kolay üretilebilirlik, işlenebilirlik, korozyon direnci, estetik ve geri dönüştürülebilirlik özellikleri sayesinde (Topcu, 2018). Malzemelerin mekanik karakteristikleri, tanenin boyutu, tanenin şekli, intermetalik fazların oluşmasına, oluşan fazların boyutuna, dağılımları gibi mikro yapısal unsurlara bağlıdır. Al alaşımlarına Cu, Si ve Mg gibi değişik elementler eklenerek ve makul yaşlandırma ısıl prosesi (T6 gibi) ile dayanımları geliştirilebilmektedir (Topcu ve diğerleri, 2019). Alüminyum ve alaşımları, çarpışma sırasında enerji soğurma veya yutma yapabilen yüksek darbe emme karakteristiği nedeniyle daha çok tercih edilebilmektedir (Şimşek, 2020).

Alüminyum geri kazanımı kolay çevre dostu metallere birisidir. Otomotiv endüstrisinde petrol türevi yakıtlara bağımlılık bilinmektedir, CO₂ salınımının küresel ısınma gibi problemlere yol açtığı düşünüldüğünde, bu sektördeki otomobillerin daha çevre dostu olması ve ağırlıklarının düşürülmesi gerektiği önem arz etmektedir (Kara, 2017). Bu yüzden bu sektörde alüminyumun kullanılması yükselmiş ve otomobil adeti başına kullanımı da senelere oranla doğrusal artış sergilemiştir (Güven, 2005; Ayran, 2019). Ayrıca otomobillerdeki ağırlıkların düşürülmesi amacı ile Al-Si alaşımları araç jantı üretiminde önemli ölçüde kullanılmaktadır. (Topcu ve diğerleri, 2019).

Alüminyum alaşım ile üretilen bu jantlar belirtilen mekaniksel ve üretilebilirlik üstünlüklerin yanı sıra üretilme metodu ile karışık şekillerin elde edilmesi için de oldukça uygundur (Güven, 2005). Jantlar aracın üstünde görseiliği değiştirir ve müşteri algısına olumlu etkide bulunur, ayrıca fonksiyonel olarak güvenlik faktörü özelliği sağlar (Işık ve diğerleri, 2020). Dolayısıyla döküm yöntemi ile (yöntem kısıtları dahilinde) neredeyse sınırsız türde karmaşık şekillerin üretilebilirliğine fayda sağlamakla kalmaz ayrıca hafif alaşımlı jantlara olan ilginin yükselmesine de son zamanlarda katkıda bulunur (Biol, 2013). Alüminyum alaşımlı jantlar, statik ve dinamik yükler altında çalışmaktadır (Topcu ve diğerleri, 2020). Bu tekrarlı gerilmeler

jantlarda çatlamalara ve çatlamların ilerlemeleriyle kırılabilir. Jantlara uygulanan malzeme testleri, mekanik performans testleri ve boya testleriyle kontroller yapılmaktadır (Topcu ve diğerleri, 2020; Türkan, 2017). Ar- Ge çalışmalarıyla jantlarda görülen hatalar ve uğradığı deformasyonlar için geliştirilme çalışmaları devam etmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte mevcut malzemelerin dezavantajlarının tamamını veya bir kısmını ortadan kaldırmak için alaşım malzemeleri veya kompozit malzemeler üretilmektedir (Şahin, 2022; Şahin ve Emek, 2023; Şahin, Emek ve İbrahim, 2023), bu tür malzemeler yeni malzemelerin eksikliklerini giderebilir. (Şahin ve diğerleri, 2023; Şahin ve diğerleri, 2021).

2. METOT VE MALZEME

Bu çalışmada AlSi7 alaşımlı ürünlere uygulanan işlemler, numune üretimi, sertlik testleri ve yapı analizleri üzerinde durulacaktır.

2.1 Malzeme ve Uygulanan İşlemler

Yüksek basınç döküm yöntemi ile ve T6 ısıl işlemiyle üretimi yapılan AlSi7 alaşımlı üründen 5 kesit alanından 5 ayrı numune elde ettik. Bu numuneler, talaşlı metal kesme yöntemi ile jantın iç flanş, dış flanş, göbek, feder ve lastik yüzeyinden alınmıştır. Kesici takım boşluk yüzeyi ve iş parçası arasındaki sürtünmeden kaynaklanan ısı oluşturacağı için ve bu ısıyı engellemek için sıvı kullanılarak soğutma sağlandı ve kesme işlemi yapıldı. Kesme işleminden sonra bakalite alma işlemi yapıldı. Sıcak kalıplama kullanıldı. Kalıplama yapmanın amacı; hazırlık işleminin kolayca yapılması, mikroskopik inceleme yapılırken düz yüzey oluşturmak ve kullanılan dağlama sıvısından korumak için yapıldı. Sertlik ölçümü için Brinell sertlik ölçümü yöntemi kullanıldı. ASTM E10 ve ISO 6506 standartlarında ölçüm yapıldı. Bakalite alınan numuneler yüzeyleri parlatıldıktan sonra sertlik testine tabi tutuldu. İç flanş, dış flanş, göbek, feder ve lastik yüzeyi bölgelerinden 3'er kez ölçüm yapılmıştır. Bu aşama tamamlandıktan sonra mikroyapı analizi için ISO/IEC 17025 standardı kullanıldı. Dağlama çözeltisi hazırlandıktan sonra numunenin yüzeyi 10-15 saniye süre ile dağlama çözeltisine daldırıldı. Optik mikroskopta numune incelendi.

2.2. Malzeme ve Yöntem

AlSi7 alaşımlı otomobil jantlarının mekaniksel karakteristiklerinin incelenmesi ve iyileştirilmesi esnasında kullanılan malzemeler ve test cihazları şunlardır:

AlSi7 Alaşımli T6 Isıl İşlemine Tabi Tutulmuş ve Alçak Basınç Döküm Yöntemiyle Üretilmiş Numune

Dağlama Çözeltisi

Sertlik Ölçüm Cihazı – Brinell HB 2,5/62,5

Metalografik Test Cihazı

Optik Mikroskop

2.2.1. Alçak Basınç Döküm Yöntemiyle Numune Üretimi

Alüminyum, 660°C ergime sıcaklığına ve 2519°C kaynama sıcaklığına sahip olan yumuşak ve hafif, gümüş renkte olan bir metaldir.

Alüminyum üzerinde oluşan ince oksit tabakası hem metala rengini verir hem de korozyona karşı üstün direnç gösterir. Zehirleyici olmayan bu metal aynı zamanda manyetik özellik göstermez. Saf alüminyum için çekme dayanımı yaklaşık olarak 49 megapaskal (MPa) değerini gösterirken alaşımlandırıldığı zaman 700 MPa değerine çıkmaktadır.

Kolay işlenmesi, demir metalinde 3 kat daha hafif ama aynı zamanda çelik kadar dayanıklı olmasıyla günümüzde en çok tercih edilen metal türüdür.

Döküm yöntemiyle üretilmiş alüminyum malzemeye T6 ısıl işlemi şöyledir:

Alaşım, ilk olarak saatte 50°C'lik bir artışla 530°C'ye ısıtılır ve bu sıcaklıkta 6 saat boyunca tutulur, su eklenip soğutularak alaşım 12 saat boyunca 160°C'de yaşlandırılır.

2.2.2. Dağlama Çözeltisi

Numuneyi dağlamak için 0,68 gr. NaOH ve 68 ml su kullanılarak çözelti hazırlandı. Numunenin yüzeyi dağlama sıvısına daldırılarak 7-8 saniye bekletildi.

2.2.3 Sertlik Testleri

Numunelerin mekanik özelliklerinin saptanması sertlik ölçümleri ile gerçekleşti. Metalografik olarak hazırlanan numunelere Instron marka üniversal sertlik test cihazı ile sertlik testleri yapılmıştır. Kompozit malzemelerin sertliklerinin belirlenmesi için Brinell 2,2/62,5 yöntemi ile ölçümler alındı. Üretilen numune alaşımli kompozit malzeme olduğundan

sertlik izinin homojen olarak alınabilmesi için hem matrisin hem de takviye malzemesinin ölçümü gerekir. Sertlik değerinin kompozitin kütle sertliğini temsil etmesi için sertlik ölçümleri birbirini izleyen 10 ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü sonucu elde edilen 10 değer in ortalama değeridir.

2.2.4. Mikroyapı Analizi

Metalografik olarak incelenecek numunede kesme işleminden dolayı oluşan çizikler, numune yüzeyinde bulunan kir, pas, nem tabakaları bulunmaktadır. Numune üzerinde bulunan bu tabakalar inceleme sırasında ışığın kırılmasını sağlayarak düzgün görüntü oluşmasına izin vermez. 180, 320, 500 ve 600 numara zımpara kullanılarak yüzey parlatıldı.

2.2.5. Optik Mikroskopta Görüntü Analizi

Optik mikroskopta incelenen numunede; tane yapısı, dendritler, döküm özellikleri, ötektik yapı dikkate alınarak incelendi (Şahin, Emek İbrahim, 2023). Mikroyapıda çekme ve oksit boşlukları gözlenmemelidir. Döküm sonrasında yapıda ötektik silisyum lifsi yapıda bulunmalıdır. Isıl işlemi sonrasında, ötektik yapıdaki silisyum küresel görünümde olmalıdır.

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Elde edilen numuneler, AlSi7 alaşımlı T6 asıl işlemine tabi tutulmuş ve alçak basınç döküm yöntemiyle üretilmiştir. Numunelerin özellikleri bir önceki bölümde verilmiş ve sertlik ölçüm değerleri detaylandırılarak Tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

3.1. Sertlik Ölçüm Test Sonuçları

Sertlik ölçüm test sonuçları Brinell HB 2,5/62,5 kullanılarak her bir ölçüm 10'ar kez tekrarlanmıştır, 3 ölçüm sonucuna yer verilmiştir. Bu ölçümler Tablo1 de gösterilmiştir.

Tablo 1: Sertlik ölçüm değerleri (HB)

	İç Flanş	Dış Flanş	Feder	Göbek	Lastik Yüzeyi
1	94,3	89,9	91,3	89,3	91
2	93,7	90,2	91,7	90,2	90,9
3	94,1	89,6	91,8	89,9	91,1

3.2 Mikroyapı Analizleri

Optik mikroskopta incelenen numuneler x2.5 kat büyütülerek 500 μ m ölçekte görüntülenmiştir. Mikroyapıda çekme ve oksit boşlukları gözlenmemiştir.



Şekil 1: İç flanş mikroyapı

Optik mikroskopta incelenen iç flanş ve dış flanş numunelerinde dış flanştaki dendritlerin boyları iç flanşta bulunan dendritlere göre daha uzun ve daha kabadır.



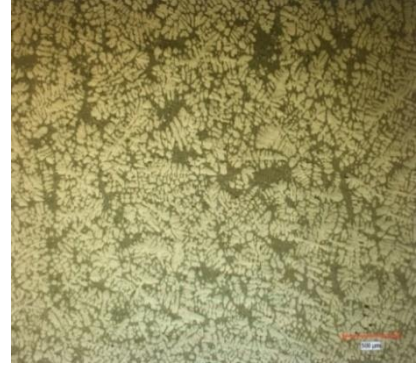
Şekil 2: Dış flanş mikroyapı



Şekil 3: Feder mikroyapı



Şekil 4: Göbek mikroyapı

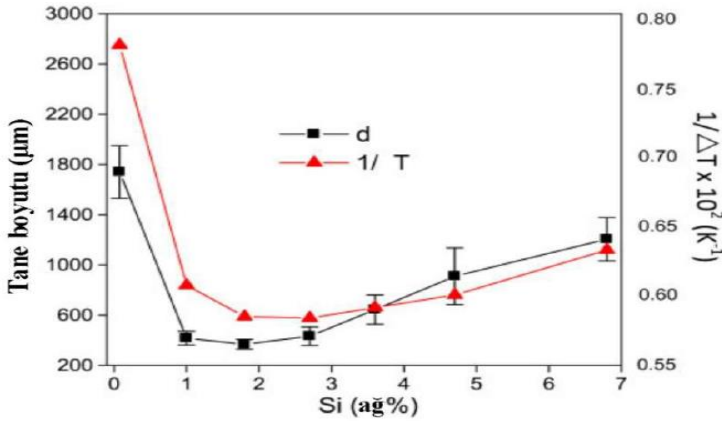


Şekil 5: Lastik yüzeyi mikroyapı

Dendritlerin kolları arasındaki mesafe, soğuma hızı ters orantılıdır. Soğuma hızı arttığında dendritlerin kolları arasındaki mesafe azalır. Yani malzemenin yapısı, dendrit kolları arasındaki açılarından incelmış oluyor. Bu dendrit ağı birbirine ne kadar kenetlenmişse malzemenin dayanımı da o oranda artar. Malzeme de bu oranda güçlenir. Şekil 4 ve Şekil 5'te görülen dendrit kolları arasındaki mesafenin daha az olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ

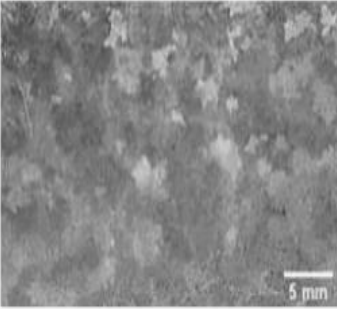
Bu çalışmada alüminyum alaşımlı otomobil jantlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi ve geliştirilmesi üzerine birtakım çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda A356 alaşımına sahip AlSi7Mg0.3 alaşımları otomotiv endüstrisi alanında oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır.



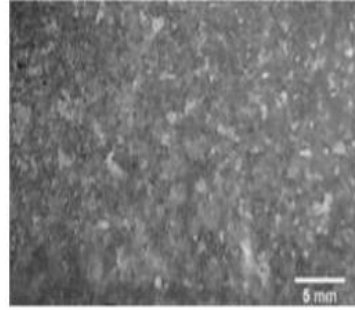
Şekil 6: Si'nin tane boyutuna etkisi.

Seri üretimi arttırmak için; yüksek basınç ile üretilen jantlarda üretim süresi saniyeler alırken düşük basınç altında bu süre dakika sürmektedir. Yüksek basınç metodu uygulanarak üretimin hızlandırılabilceği düşünülmüştür.

Yapılan literatür çalışması sonucunda mekanik özellikleri geliştirmek için; tane inceltme işlemi uygulanması düşünülmüştür. Tane inceltme işlemi sayesinde: tokluk, şekil alabilirlik, yüzey pürüzlülüğü, işlenebilirlik, akma mukavemeti, dayanım özelliklerinde gelişme gerçekleşir. Al-Ti-B master alaşımlı taneli incelticiler; Al₃Ti, TiB₂ partiküllerini içerir. Döküm alaşımları içindeki Si miktarı %3'ten çoktur. Bu Ti-Si bileşik yapısının oluşmasını yükseltir, Al₃Ti ve TiB₂ partiküllerinin etkinliğini azaltır. Tane inceltmenin verimliliği Si miktarının artmasıyla düşer (Şahin ve diğerleri, 2023; Topcu, 2021). Tane inceltme işlemine göre AlSi7Mg0.3 (A356) jant alaşımı mikroyapıları Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.

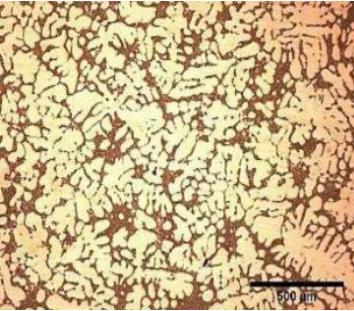


Şekil 7: İnceltilmemiş tane yapısı

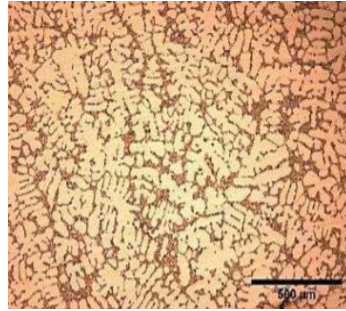


Şekil 8: İnceltilmiş tane yapısı

Döküm prosesi sonucunda elde edilmiş olan AlSi7Mg0.3 (A356) Jant alaşımı mikro yapıları Şekil 9 ve 10'da verilmiştir.



Şekil 9: Döküm mikroyapı

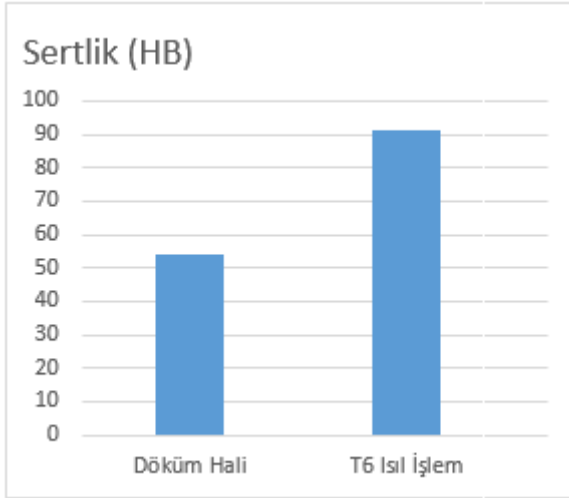


Şekil 10: Isıl işlem görmüş mikroyapı

T6 ısıt işleme uygulanması sonucunda yapı içinde Mg₂Si fazının oluşmuş ve yapıda homojen şekilde dağılmıştır.

Tüm gruplarda AlSi7Mg0.3 alaşımının mekanik karakteristiklerinin yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle SDAS'ın alüminyum döküm alaşımları için önemli yapısal parametre olduğu ayrıca mekanik özelliklerde tane yapısından daha çok etkinlik gösterdiği düşünülmektedir.

AlSi7Mg0.3 alaşımının akışkanlık performansının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Standart alaşımın akışkanlığının yüksek olması döküm yapısının daha iyi beslenmesine olanak sağlamış ve daha sağlam döküm yapısı ve dolayısıyla daha yüksek mekanik karakteristiklerinin elde edilmesine sebep olmuştur. Deneysel sonuç verileri ile dökülen alüminyum alaşımının sertlik değerleri Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11: Döküm yapılan Al alaşımının sertlik sonuçları.

Tablo 2: Standart jant alaşımının kimyasal bileşimi

Si	Mg	Fe	Mn	Zn	Ti	Diğer	Al
% minimum.- maksimum 6,52-7,45	% minimum.- maksimum 0,21-0,451	0,21	0,10	0,10	0,21	0,16	Geriye kalan Al miktarı

T6 ısıtma işlemi görmüş alüminyum jant ve döküm halindeki jant arasındaki fark net bir şekilde görülmektedir. Sadece ısıtma işlemi ile sertlik değerlerini arttıramayız. Döküm halindeki alüminyum janta ilave edilen alaşım elementleri de sertlik değerlerini yükseltir. Bu elementlerin miktarı yaklaşık olarak Tablo 2’de orantısal olarak verilmiştir. Sertlik değerlerinin iyileştirilmesi aynı zamanda akma, kopma, çekme değerlerinin de iyileşeceğini gösterir. Alüminyum otomobil jantlarının, alaşım elementleri ve T6 ısıtma işlemi sayesinde daha düzenli ve optimize olacağı düşünülmüştür.

Endüstri olarak değerlendirildiğinde dünya çapında yaygın kullanılan, kolayca temin edilebilen ve daha ucuz olan A356 alaşımının jant üretimi için kullanılmasının daha uygun olduğu anlaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

2021 yılındaki destekleri için, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesinden öğretim görevlisi Dr. Ethem İ. Şahin’e teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- Ayran, E. (2019). *Alüminyum alaşımlı otomobil jantlarında deneysel darbe testlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle doğrulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Birol, Y. (2013). Effect of Solute Si and Cu on Grain Size of Aluminium Alloys, *International Journal of Cast Metals Research*. 26, 22-27.
- Şahin E. İ., Emek, M. (2023). Elektromanyetik kirlilik ortamında Kaolinit/PVA kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama özellikleri. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22(43), 194-204.
- Güven, O. (2005). *Alüminyum silisyum magnezyum döküm alaşımlarının yapı incelemesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Işık, S. B., Zeren, M., Atamay, K. (2020). Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum alaşımlı otomobil jant üretiminin simülasyonu. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 125-132.
- Kara, A., Çubuklusu, H. E., Topçuoğlu, Ö., Çe, Ö. B., Aybarç, U., Kalender, C. (2017). Alüminyum alaşımlı jantların tasarım ve ağırlık optimizasyonu, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 23(8), 957-962.
- Özderin, Y. (2017). *Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi parametrelerinin döküm alüminyum alaşımlarının birleştirilebilirliğine olan etkilerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Şimşek, A. (2020). *Güçlendirilmiş döküm poliamidin otomotiv jantı olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük .
- Topcu, İ., Çetiner, B. N., Güllüoğlu, A. N., Gülsoy, Ö. (2020). Investigation of creep behavior of CNT reinforced Ti6Al4V under dynamic loads. *Journal of Chemical Society of Pakistan*, 42(1), 70-80.
- Topcu, İ., Muhammet, C., Yılmaz, E. B. (2020). Experimental investigation on mechanical properties of multi wall carbon nanotubes (MWCNT) reinforced aluminium metal matrix composites. *Journal of Ceramic Processing Research*, 21(5), 596-601.
- Topcu, İ., Gülsoy, H. O., Güllüoğlu, A. N. (2019). Evaluation of multi-walled CNT particulate reinforced Ti6Al4V alloy based composites creep behavior of materials under static loads. *Gazi University Journal of Science*, 32(1), 286-298.

- Topcu, İ. (2018). Karbon nanotüp takviyeli alüminyum matriksli AlMg/KNT kompozitlerinin mekanik davranışlarının incelenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 99-109.
- Topcu, İ. (2021). Examination of wear properties of Al/B4C composites reinforced with irregularly shaped B4C, *Journal Of Ceramic Processing Research* 22(3), 276-282.
- Türkan, S. (2017). *Düşük basınçlı döküm kalıpları için poteyaj uygulamasına alternatif termal spreyci yöntemleri ile termal bariyer kaplama uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Şahin E. İ. (2022). Microwave electromagnetic shielding effectiveness of ZnNb₂O₆-chopped strands composites for radar and wideband (6.5-18 GHz) applications. *Lithuanian Journal of Physics*, 62(3), 161-170.
- Şahin, E.İ., Emek, M., Ibrahim, J.E.F.M. et al. (2023). Shielding effectiveness performance of polyaniline-NiFe₂O₄:Cu composites for sub-8 GHz applications. *Optical and Quantum Electronics*, 55, 500.
- Şahin, E.İ., Canturk, S.B., Emek, M., Genç, S., Kartal, M. (2021). Production and microwave electromagnetic shielding effectiveness of polyaniline-La₂Ti₂O₇: Er, Yb composites. *Journal of Ceramic Processing Research*, 22(2), 208-213.
- Şahin, E.İ., Emek, M., Ibrahim, J.E.F.M. (2023). *Instrumental measurements laboratory* (1st ed.). Iksad Publishing House

BÖLÜM 7

SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ULUSLARARASI STANDART VE YÖNETMELİK KRİTERLERİ DOĞRULTUSUNDA İNCELENMESİ

Süleyman ERTEN¹

Fatma Nur ERDOĞMUŞ²

Melis ÖDER³

Ahmet Berk EZBER⁴

Şafak ATAŞ⁵

Mustafa AKTAŞ⁶

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8417481>

¹ Nurdil Teknik Soğutma, Ankara, Türkiye, suleymanerten@nurdil.com.tr, ORCID ID: 0000-0002-7811-6148

² Nurdil Teknik Soğutma, Ankara, Türkiye, fatmanurerdogmus@nurdil.com.tr, ORCID ID: 0000-0002-8887-6597

³ Nurdil Teknik Soğutma, Ankara, Türkiye, melisoder@nurdil.com.tr, ORCID ID: 0000-0002-1894-1445

⁴ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Ankara, Türkiye, ezberahmetberk@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-5283-4196

⁵ Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Karabük, Türkiye, satas@karabuk.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4124-8929

⁶ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Ankara, Türkiye, mustafaaktas@gazi.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-6026-0849

GİRİŞ

Yerküre hızla ısınmakta ve yükselen sıcaklıklar soğutma talebine olan ihtiyacı da artırmaktadır. Buna bağlı olarak elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları da artacaktır. Her soğutucu akışkanın sahip olduğu ayırt edici özelliklerden olan ozon delme potansiyeli (ODP) ve küresel ısınma potansiyeli (KIP) yüksek olduğunda doğrudan emisyonların çevreye olan tahribatları düşünüldüğünde soğutma ve iklimlendirme sektöründe katalitik değişime ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda küresel ısınma ve iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması yönünde uluslararası protokol, yönetmelik ve standartlar oluşturularak sınırlamalar getirilmiştir. Türkiye’de bu sınırlamaların birçoğunu kabul etmekte ve ilerleyen dönemlerde de bu uygulamalara ayrıca teminatlar vermektedir. Bahsedilen sınırlamalarla ilgili detaylar üç bölümde gruplandırılarak aşağıda verilmiştir:

- Anlaşma, protokol ve eylem planları
 - Standart, tebliğ ve direktifler
 - Yönetmelikler ve güncel uygulamalar
- Çalışmanın amaçları ise;
- Soğutma alanında çalışan araştırmacı ve mühendisler için soğutma sistemlerinin tasarımı ve işletilmesi süreçlerinde soğutucu akışkanların ODP ve KIP potansiyelleri, yanıcılık sınıfları ve zehirlilik oranları, güncel yönetmelik ve uygulamalar gibi önemli bilgilerin sunulması,
 - Soğutma sistemlerinin ve çevresel etkilerinin uluslararası standart ve yönetmelikler perspektifinde incelenmesi,
 - Anlaşma, protokol, eylem planı, standart ve yönetmeliklerin ortaya çıkış amacını ve dayanağını açıklamak,
 - Çevrenin korunması adına uzun vadeli sürdürülebilir hedef ve politikaları sunmak,
 - Eko tasarım çalışmaları kapsamında soğutma sistemi tasarımcılarını bilgilendirmek,
- olarak sıralanabilir.

1. Anlaşma, Protokol ve Eylem Planları

Bu bölümde protokoller, iklim değişikliği için yapılan sözleşmeler, anlaşmalara ve eylem planları aşağıdaki alt başlıklarda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

1.1 Montreal Protokolü ve Kigali Değişikliği

Ozon tabakasını incelten maddelere ilişkin Montreal Protokolü 1987'de kabul edilmiştir. 196 ülke tarafından imzalanan Montreal Protokolü tarihte ilk kez, çok taraflı anlaşmalara dayalı olarak ozon tabakasını incelten maddelere sınırlamalar getirdi. Ozon tabakasına uygulanan bu model, iklim değişikliği rejimi için emsal teşkil etmiştir (T.C. Dışişleri Bakanlığı, Montreal, 2023).

Protokol, ozon tabakasında klor (Cl) ve brom (Br) gibi kirletici maddeler içeren soğutucu akışkanların üretimini düzenledi. Böylece soğutucu akışkanların kullanımında yeni bir dönem başlamış ve çevresel etkisi minimum olan veya hiç olmayan alternatif soğutucu akışkan arayışları başlamıştır (Demirci ve ark. 2020). Protokol uyarınca ülkeler, beş tür kloroflorokarbon (CFC) kullanımını 1989'a kadar 1986 seviyelerine indirecek ve 1993'e kadar %20 ve 1998'e kadar %30 oranında azaltacak şekildeydi. Gelişmekte olan ülkelere de aynı koşulları sağlamaları için 10 yıl süre verilmiştir. Bu, Tarafların 1998 yılına kadar CFC kullanımlarını yarıya indirecekleri anlamına gelmektedir (Bülent, 2001).

Ekim 2016'da, hidroflorokarbonları (HFC'ler) Montreal Protokolü listesine eklemek için Kigali'de 28. Taraflar Konferansı düzenlendi. Kigali Değişikliği, Tarafların HFC'leri 2040'ların sonlarından itibaren %80-85 oranında azaltacağını ve ulusal gruplar için azaltma planlarını belirlemiştir. 15 Kasım 2016'da kabul edilen Kigali Değişikliği, HFC'lerin kademeli olarak azaltılmasını sağlıyor ve 2100'e kadar küresel sıcaklık artışını 0,5 °C azaltması beklenmektedir (T.C. Dışişleri Bakanlığı, Montreal, 2023).

1.2 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)

1994'te yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne, 197 ülke taraf olmuştur. Türkiye ise BMİDÇS'ne 24 Mayıs 2004'te 189. taraf olarak katılmıştır (Uçak ve Villi, 2021). 1995-1996 yılları arasında Birinci ve İkinci Taraflar Konferansları yapılmıştır. Bu konferansların ilkinde, taraf ülkelerden gelecek sera gazı emisyonu indirim bilgilerinin değerlendirilmesi, uygun teknolojilerin geliştirilmesi ve bahsedilen alanlarla ilgili iş birliğini sağlamak üzere iki organ oluşturulmuştur.

134 ülkenin katıldığı İkinci Taraflar Konferansında ise bir Bakanlar Bildirgesi hazırlanmıştır. Bildirge, gelişmiş ülkeler için 1997 sonuna kadar sera gazı emisyonunun azaltılmasına yönelik yükümlülükler ile ilgili kararları kapsamaktadır. Kyoto'da 3. Taraflar Konferansı Aralık 1997 tarihinde gerçekleştirilmiş ve ilk defa sera etkisi yaratan gazlara ilişkin bağlayıcı hükümleri olan bir belge kabul edilmiştir (Bülent, 2001).

1.3 Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü 11 Aralık 1997 yılında kabul edilmiş ve 2005'te yürürlüğe girmiştir. Protokol birçok maddeden oluşmakta ancak 3. maddede yer alan düzenleme en etkili düzenlemelerinden birisidir. Buna göre, protokolda beyan edilen Ek I listesindeki sanayileşmiş ülkeler, I. Taahhüt Döneminde, karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), HFC, perflorokarbon (PFC) ve sülfürheksaflorid (SF₆) gibi sera gazı emisyonlarını, 1990 yılındaki emisyonlara oranla düzeyinin en az %5 altına çekmeleri gerekmektedir (Bülent, 2001). II. Taahhüt Dönemi ise 2013-2020'yi kapsamaktadır. Ek-B listesinde yer alan tarafların sera gazı emisyonlarını 2020 yılında ilk dönem olan 1990 yılına göre en az %18 azaltmasına karar verilmiştir.

Türkiye ise Kyoto Protokolü'ne 2009 yılında taraf olmuştur. Türkiye, 1997 yılında BMİDÇS'ne henüz taraf olmaması sebebiyle Ek-B listesine dahil edilmemiştir. Böylece Türkiye, Protokol kapsamında sera gazı emisyonlarının azaltılması ya da sınırlandırılması ile ilgili taahhüdü bulunmamaktadır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, Kyoto, 2023).

1.4 Paris İklim Anlaşması

Paris Anlaşması Aralık 2015'te BMİDÇ Konferansı'nda 196 ülkenin onayıyla kabul edilmiştir. Bu anlaşma iklim değişikliğine karşı küresel çapta mücadele veren dönüm noktasını işaret etmektedir (Karakaya, 2016). Anlaşma, 4 Kasım 2016 itibarıyla yürürlüğe girmiştir. Bu anlaşma kabulünün üzerinden 1 yıl geçmeden yürürlüğe giren ilk küresel anlaşma niteliği taşımaktadır (Kocalar, 2022). Küresel ortalama sıcaklık artışını 2°C altında tutmayı hedeflemekte ve bu konuda 1,5°C yakalamanın önemine dikkat çekmektedir.

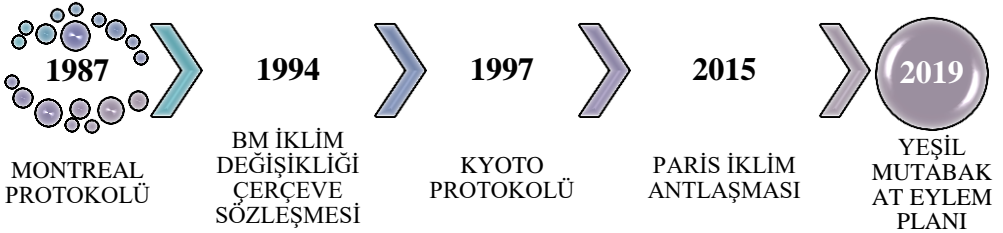
Avrupa Konseyi Ekim 2014 tarihinde 2030 İklim ve Enerji Politikaları Çerçevesi'ni hazırlamıştır. Bu içeriğin hedefleri ise, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği için en az %27 ve sera gazı emisyonunu 2030

yılına kadar en az %40 azaltma olarak belirtilmiştir. Paris Anlaşması ise, Avrupa Birliği'nin hedef ve yaklaşımlarını desteklemektedir (Talu, 2019).

1.5 Yeşil Mutabakat Eylem Planı

Avrupa Komisyonu tarafından 11 Aralık 2019'da sunulan "Avrupa Yeşil Mutabakatı", AB ülkeleri için sera gazı emisyonlarının 2050 yılına kadar sınırlamayı ve ilk karbon-nötr kıta olmayı amaçlamaktadır (Yılmaz, 2022). AB'nin ilk karbon-nötr kıta olma hedefini açıklamasından sonra Güney Kore ve Japonya 2050, Çin ise karbon-nötr olma hedefini 2060 olarak beyan etmiştir. Ayrıca AB 2030 yılında sera gazı emisyon azaltma hedefini %40'tan %55'e yükseltmiştir (Yaman ve Demir, 2021).

Türkiye'de Yeşil Mutabakat Eylem Planı 2021 yılında Ticaret Bakanlığı tarafında hazırlanmış ve eylem planındaki hedefler; Yeşil organize sanayi ve endüstri bölgeleri, sürdürülebilir tüketim ve üretim eylem planlarının hazırlanması, yeşil finansman ile ekosistemin güçlendirilmesi ve Türkiye'nin İklim Değişikliği Mücadele Raporunun hazırlanması gibi birçok konuyu kapsamaktadır (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021). Şekil 1'de anlaşma, protokol ve eylem planlarının kronolojik sıralaması görülmektedir.



Şekil 1: Anlaşma, protokol ve eylem planlarının kronolojik sıralaması.

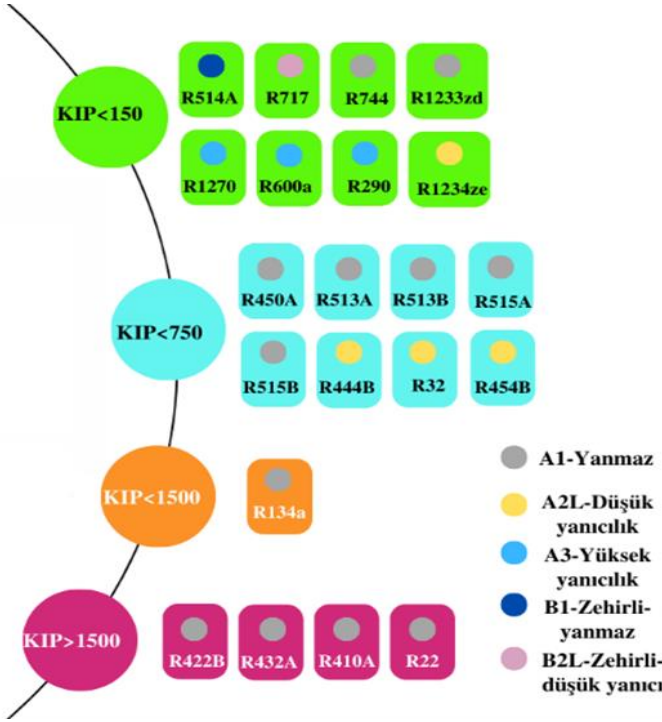
2. Standart, Tebliğ ve Direktifler

Standart, tebliğ ve direktifler alt başlıklar altında detaylıca irdelenmiştir.

2.1 ANSI/ASHRAE Standard 34-2010

Bu standartta saklama/nakliye koşullarında sızıntılar, ekipmandan sızıntılar, soğutucu karışımlar ve güvenlik sınırlamaları hakkında bilgiler verilmiştir (ANSI/ASHRAE, 2013). Bunlardan birisi;

- Soğutucu Akışkan Numarası: 445A
- Bileşim (%Kütle) = R-744/134a/1234ze(E) (6,0/9,0/85,0)
- Güvenlik Grubu = A2L
- Kod Sınıflandırması Altında Çok Zehirli veya Zehirli = Hiçbiri örnek olarak verilebilir. Sık kullanılan soğutucu akışkanların güvenlik grupları hakkında bilgiler Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Soğutucu akışkanlar ve güvenlik grupları.

2.2 EN 378

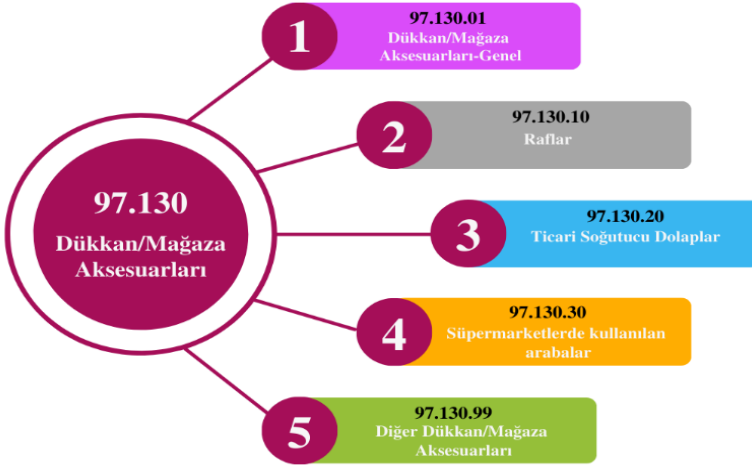
EN 378 Standardı 13 Ekim 2007’de Avrupa Standardizasyon Komitesi tarafından onaylanmıştır. Bu standart dört ana başlıktan oluşmaktadır. İlk olarak temel gereksinimler, tanımlar, sınıflandırma ve seçim kriterlerini içerirken, devamında; tasarım, imalat, test, işaretleme ve belgelendirme bölümleri bulunmaktadır. Diğer bölümde ise montaj alanı ve kişisel koruma ve son kısım; işletme, bakım, tamir ve geri kazanım konularını kapsamaktadır (Yılmazoğlu, 2017).

2.3 ICS 97 Evlerde ve Ticari Yerlerde Kullanılan Ekipmanlar

Bu komite 97.020 - Elde kullanılan elektrikli aletlerden başlayıp, 97.040 - Mutfak ekipmanları, 97.130 - Dükkan/mağaza aksesuarları ve 97.220 - Spor ve spor ekipmanlarını kapsamaktadır (TSE, ICS, 2023).

2.3.1 ICS 97.130.20 Ticari Soğutucu Dolap

Bu komite 97.130.01 – Dükkan mağaza aksesuarlarından başlayıp, 97.130.10 - Raflar, 97.130.20 – Ticari soğutucu dolaplar, 97.130.30 – Süpermarketlerde kullanılan arabalar ve 97.130.99 – Diğer dükkan/mağaza aksesuarlarını kapsamaktadır. Komitenin kapsadığı alt dalların tamamı Şekil 3'te verilmiştir (TSE, Ayna Komite, 2023).



Şekil 3: ICS 97.130.20 Komitesinin kapsadığı alt başlıklar.

2.4 ISO/TC 86/SC 7

Ayna komiteler ve takip ettikleri uluslararası teknik komitelere bakıldığında soğutma sistemleri basınçlı kaplar bölümü MTC 140: Soğutma ve Havalandırma komitesi (TSE, Ayna Komite, 2023) altındaki TC 86/SC 7 Ticari soğutmalı teşhir dolaplarının test edilmesi ve derecelendirilmesi (ISO/TC 86/SC 7, 2023) ile ilgili komiteye bağlanmaktadır. Standardizasyon işlemleri ile ilgili görüş ve öneriler bu komitelere bildirilmektedir. ISO/TC 86/SC 7' nin doğrudan sorumlu olduğu standartlar Tablo 1'de verilmiştir (ISO/TC 86/SC 7, 2023). Bu standartların bazıları daha da özele indirgenerek bölüm 2.3.1 ve 2.3.2'de açıklanmıştır.

Tablo 1: ISO/TC 86/SC 7'nin doğrudan sorumlu olduğu standartlar

ISO/FDIS 6369:

- Ticari kullanım için buz yapıcılar
- Sınıflandırma, gereklilikler ve test koşulları

ISO 22041:2019:

- Profesyonel kullanım için soğutmalı saklama dolapları ve kullanımları
- Performans ve enerji tüketimi

ISO 22042:2021:

- Profesyonel kullanım için şok soğutucu ve dondurucu dolaplar
- Sınıflandırma, gereksinimler ve test koşulları

ISO 22042:2021/FDAmD 1:

- Profesyonel kullanım için şok soğutucu ve dondurucu dolaplar
- Sınıflandırma, gereksinimler ve test koşulları
- Değişiklik 1

ISO 22043:2020:

- Dondurma dondurucuları
- Sınıflandırma, gereklilikler ve test koşulları

ISO 22044:2021:

- Ticari içecek soğutucuları
- Sınıflandırma, gereksinimler ve test koşulları

ISO 23953-1:2015

- Soğutmalı teşhir dolapları
- Bölüm 1: Sözlük

ISO/FDIS 23953-2:

- Soğutmalı vitrinler
 - Bölüm 2: Sınıflandırma, gereksinimler ve test koşulları
-

2.4.1 ISO 23953-1 / Soğutmalı teşhir dolapları - Bölüm 1: Sözlük

Bu standart gıda maddelerinin satışı ve teşhiri için kullanılan soğutmalı teşhir dolaplarıyla ilgili terimler ve tanımlar sözlüğünden oluşmaktadır (ISO 23953-1, 2015).

2.4.2 ISO 23953-2:2015 / Soğutmalı vitrinler - Bölüm 2: Sınıflandırma, gereksinimler ve test koşulları

Bu standart gıda maddelerinin satışında ve teşhinde kullanılan teşhir soğutucularının yapımı, özellikleri ve performansı ile ilgili gereklilikleri belirtmektedir. İmalatçı tarafından beyan edilecek kabinlerin

sınıflandırılmasını, işaretlenmesini ve özelliklerinin listesinin yanı sıra, şartların karşılanıp karşılanmadığını kontrol etmek için deney şartlarını ve yöntemlerini de belirten içeriğe sahiptir (ISO 23953-2, 2015).

2.5 ISO 23412:2020 - Dolaylı, sıcaklık kontrollü soğuk teslimat hizmetleri

Soğutulmuş ürünlerin taşınması ve depolanması için doğru hijyen, güvenli ve sağlam koşulların sağlanması için standartların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yeni bir ISO uzman komitesi olan ISO/TC 315 Soğuk Zincir Lojistiği oluşturulmuştur (ISO/TC 315, 2018). Bu komite, sıcaklığa duyarlı malların sıcaklık kontrollü soğutulmuş teslimi için gereklilikleri belirten ISO 23412:2020 standardını geliştiren bir proje komitesi olarak başlatılmıştır. Bu standart, sıcaklığa duyarlı mallar içeren kolilerin makbuzdan belirlenen varış noktasındaki teslimatına kadar olan her adımı kapsayan detaylı bir rehberdir. Bu belge teslimat hizmeti kullanıcılarına yönelik kaynaklar, işlemler ve iletişim için gereklilikleri de içermektedir (ISO 23412, 2020). Ayrıca ISO/TC 315 komitesi tarafından soğuk zincir lojistiğinde terminoloji, temassız teslimat hizmetleri için gereklilikler ve düşük sıcaklıkta depolama hizmetleri ve düşük sıcaklıkta taşıma hizmetleri için ilgili standart çalışmaları da yürütülmektedir (ISO/TC 315, 2018).

2.6 ATEX 2014/34/AB - Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler İle İlgili Yönetmelik

Bu yönetmelik, potansiyel olarak patlayıcı ortamlarda kullanılan ekipman ve koruyucu sistemlerin piyasaya güvenli bir şekilde tedarik edilmesi için gerekli olan temel sağlık ve güvenlik gereklilikleri ile uygunluk değerlendirme prosedürleri ve piyasa gözetim prosedürlerinin oluşturulmasına ilişkin ilkeleri belirlemektedir (Resmî Gazete, 2016.)

ATEX, "Explosive Atmospheres (patlayıcı ortamlar)" kelimelerinin kısaltması olarak tanımlanmaktadır. Diğer standartlarda olduğu gibi ATEX sertifikasındaki öncelik de insan sağlığının ve güvenliğinin korunmasıdır. ATEX direktifi üreticiler ve tüketici yani ekipman kullanıcısı için 2 ayrı şekilde verilmektedir.

ATEX sertifikası sadece patlayıcı ürünleri kapsamayıp yanıcı ve parlayıcı ürünleri de kapsamaktadır. Bu ürünleri üreten firmaların ATEX belgelerini alması ve gerekli denetimlerden geçmesi gerekmektedir. ATEX

uluslararası geçerlilik düzeyinde olan bir sertifika olması nedeniyle bahsedilen ürünlere CE işaretinin iliştilmesi büyük önem taşımaktadır (Masdaf, 2023).

Soğutma sistemlerinde ise ATEX Sertifikasının önemi; bazı soğutma sistemlerinde yanıcı ve patlayıcı özelliği olan soğutucu akışkanlar kullanılmaktadır. Bu akışkanların şarjı EN 378 Standardı ile sınırlansa bile risk hala mevcut olup, soğutucu akışkanlarla doğrudan ya da dolaylı yoldan temas edecek ekipmanların ATEX sertifikalı olması talep edilir. Bu sayede olası tehlikelere önlem alınmaktadır.

2.7 ISO 22000- Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi

ISO 22000, güvenli gıda üretim zincirlerinin kurulması için uluslararası bir standarttır. Bu standart, insan sağlığına zarar verebilecek tehlikelerin kontrol altına alınmasını, ortadan kaldırılmasını veya kabul edilebilir sınırlara düşürülmesini ve tedarikçiler, tüketiciler ve tüzel kişiler dahil olmak üzere tüm taraflar arasında etkin iletişimin kurulmasını gerektirmektedir (ISO 22000, 2018).

ISO 22000, tek başına veya diğer yönetim sistemi standartlarından biri olan ISO 9001 gibi standartlarla birlikte uygulanabilir. Bu standardın gıda güvenliği tehlike kontrolü sağlayan, müşteri memnuniyetini artıran ve ön gereksinim programlarının yönetimi ve kontrolü gibi birçok faydası bulunmaktadır (CTR, 2023).

2.8 Doğrudan satış işlevine sahip soğutma cihazlarının enerji etiketlemesi ile ilgili olarak Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 2017/1369 sayılı Yönetmeliği

Bu yönetmelik, doğrudan satış işlevine sahip elektrik ile çalışan soğutma cihazlarının etiketlenmesi ve ek ürün bilgilerinin sağlanması için gereklilikleri belirlemektedir.

Yönetmelikte;

- Enerji verimlilik endeksi (EVE) değeri ve buna karşılık gelen enerji etiketi sınıfı,
- Etiket tasarımı ve etikette yer alması gereken bilgiler,
- EVE değerinin hesaplanması için gerekli parametreler ve hesaplama yöntemi,

gibi içerikler bulunmaktadır.

Bu yönetmelik ile enerji etiketi uygulaması 1 Mart 2021 tarihi itibarıyla zorunlu tutulmuş ve 2023 tarihine kadar EVE değeri 100'den büyük cihazların satışı, 2023 yılı itibarıyla EVE değeri 80'den büyük cihazların satışı yasaklanmıştır. Böylece enerji verimlilik ve eko-tasarım çalışmaları zorunlu hale getirilmiştir. Eko-tasarım çalışma planından alınan önlemler ile 2030 yılında toplamda 260 TWh'yi aşan tahmini bir enerji tasarrufu ve yıllık 100 milyon ton sera gazı azaltma potansiyelinin olduğu bildirilmiştir. Ayrıca yönetmeliğe tabi ürünlerin 2015'teki yıllık enerji tüketimi 65 TWh olarak tahmin edilmiş ve bu tüketim 26 milyon ton CO₂ eşdeğerine karşılık gelmektedir (Commission Regulation, 2019). Eko-tasarım çalışmaları sayesinde enerji verimliliği sağlanarak sera gazı salımı azaltılacak ve çevre dostu tasarımlar yapılacaktır.

3. Yönetmelikler ve Güncel Uygulamalar

Yönetmelikler ve uygulamalar alt başlıklarda detaylıca incelenmiştir.

3.1 F-Gaz Yönetmeliği

F-Gaz yönetmeliğinin hedefi, Türkiye'nin taraf olduğu Montreal Protokolü kapsamında ozon tabakasına zarar veren maddeleri içeren florlu sera gazlarının emisyonları ve diğer florlu maddelerin yönetimine ilişkin usul ve esasları düzenlemek olarak söylenebilir.

Yönetmelik bu kapsamda florlu sera gazları ve diğer florlu maddelerin etiketlenmesi, verilerin toplanması, sızıntı kontrolleri, raporlanması, piyasaya arzı, ithalatı, ihracatı, kullanımı, kota dağıtımı, gazların geri kazanımı ve imha edilmesiyle birlikte bu gazların kullanıldığı ekipmanlara müdahale eden kişilerin eğitimine ve belgelendirilmesine ilişkin konuları kapsar.

F-Gazlar florlu sera gazı olarak adlandırılmaktadır. Bu gazlara HFC, PFC ve SF₆ dahil olup, atmosfere salınması küresel ısınmayı etkilemektedir. F-Gaz emisyonlarının yaklaşık olarak %80'inin nedeni ısıtma ve soğutma sektöründeki ürünlerden kaynaklı HFC'lerin emisyonlarıdır. Bu yüzden çevreyi korumak adına F-Gazların kullanımına sınırlamalar getirilmiştir.

Avrupa Birliği'nde (AB), Florlu Gazlar Yönetmeliği (F-Gaz) 2006 yılında (EC) 842/2006 olarak yayınlanmış ve 2014 yılında revize edilerek 1 Ocak 2015 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Yeni 2014 F-Gaz mevzuatı, F-Gaz emisyonlarını 2030 yılına kadar 2/3 oranında azaltmayı hedeflemektedir (Yakut, 2022).

Bu yönetmelik ile (Ertürk, 2020);

- F-Gazların atmosfere salımı yasaklanmıştır.
- Belirli KIP değerine sahip gazların kullanımı bazı ürün ve ekipmanlarda yasaklanmıştır.
- Etiketleme için yükümlülükler getirilmiştir.
- Sızıntılar için zorunlu kontroller başlamıştır.

2006 ve 2014 F-Gaz yönetmelikleri arasındaki farklar ise aşağıdaki Tablo 2 ile açıklanmıştır (Yakut, 2022).

Tablo 2: 2006 ve 2014 F-Gaz yönetmelikleri arasındaki farklar

2006 F-Gaz yönetmeliği	2014 F-Gaz yönetmeliği
Geri Kazanma Görevi	Geri Kazanma Görevi
Kaçak Kontrolü	Kaçak Kontrolü
Kayıt Tutma Görevi	Kayıt Tutma Görevi
Eğitim & Sertifikasyon	Eğitim & Sertifikasyon
Etiketleme & kullanım kılavuzları	Etiketleme & kullanım kılavuzları
Sınırlı ürün yasakları	İlave Ürün & Servis Yasakları
-	HFC'lerin Tüketimini Kademeli Olarak Azaltma

01.01.2019 tarihi itibarıyla; KIP 150 ve üzeri F-Gaz içeren tek bileşenli köpüklerin ve KIP 150 ve üzere HFC'li soğutucu madde veya köpük şişirme ajanı içeren evsel buzdolapları ve evsel dondurucuların piyasaya arzı yasaklanmıştır (Ertürk, 2020).

Türkiye'de de iklim değişikliğiyle mücadele adına birçok adım atılmıştır. Bunların en başında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ismi, Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı olarak değiştirilmesi gelmektedir. Bu değişiklikle bakanlık, çevre kirliliğini önlemek, doğanın korunmasını sağlamak ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek amacıyla yapılandırılmıştır (T.C. CSB, 2023). İlerleyen dönemlerde ise 2022 tarihinde "Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik" güncellenmiş, HFC'ler için kota sistemi getirilerek, merkezi veri tabanları oluşturulmuştur. Ayrıca 31 Aralık 2022 tarihinde 32060 (4. Mükerrer) sayılı Resmî Gazete' de yayımlanan "Çevrenin Korunması Yönünden Kontrol Altında Tutulan Kimyasalların İthalat Denetimi Tebliği (2023/6)" nin; 7. Maddenin 1 fıkrasında Ek-2'de yer alan maddeleri saf halde, kullanılmış, geri dönüştürülmüş veya ıslah edilmiş şekilde dökme halde kap içerisinde ithal

etmek isteyen gerçek veya tüzel kişilerin, her sevkiyat öncesi FARAVET üzerinden Hidroflorokarbon Kontrol Belgesi alması gerektiği belirtilmiştir.

Ayrıca Klorodiflorometan, Karbon tetraklorür ve belirlenen diğer kimyasalların ithalatında bu kimyasalların çevrenin korunması yönünden uygunluğunu belirten Ozon Tabakasını İncelten Madde (OTİM) Kontrol Belgesi ile belgelemesi gerekmektedir (Resmi Gazete, 2017). Türkiye’de “Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik” 04.01.2018 tarihinde yayımlanmıştır. Bu yönetmelik Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından revize edildikten sonra yeni yönetmelik 29.06.2022 tarihinde yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğe ait temel sorumluluklar ve yeni yönetmeliğin kapsamı (Şekil 4) aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

Florlu sera gazlarının ve diğer florlu maddelerin (Resmi Gazete, 2022);

- Atmosfere salımı,
- Mesleki Yeterlilik Belgesine sahip olmayan gerçek kişilere veya Faaliyet Raporları Veri Tabanı'na kaydı bulunmayan ve Hizmet Yeri Belgesine sahip olmayan tüzel kişilere, ürünlerin satılması veya ücretsiz olarak verilmesi,
- HFC’ler için Kota Sistemi getirilmiştir.
- Merkezi Veri Tabanı kayıt zorunluluğu getirilmiştir (FARAVET-EKOMVET).
- Ekipmanlardaki sızıntı kontrolleri (ton CO₂ eşdeğeri cinsinden) başlatılmıştır.
- Piyasaya arz ve kullanım yasakları ile ticaret yasakları getirilmiştir.



Şekil 4: F-Gaz yönetmeliği kapsamı.

3.1.1 Ekipman Operatörleri Merkezi Veri Tabanı (EKOMVET)

EKOMVET ekipmanların kayıt defterlerini içeren elektronik veri tabanını olarak tanımlanmaktadır. Bu veri tabanına F-Gaz içeren gerçek ve tüzel kişiler aşağıda yer alan cihazların elektronik kaydını yapmak zorundadır. Sabit soğutma, iklimlendirme ve ısı pompası ekipmanlarından oluşan cihazlar, içerdikleri 5 ton CO₂ eşdeğeri veya daha fazla florlu sera gazı nedeniyle bu düzenlemeden etkilenmektedir (Resmi Gazete, 2022).

3.1.2 Faaliyet Raporları Veri Tabanı (FARAVET)

Florlu sera gazları veya diğer florlu maddeleri ürün veya ekipman içerisinde veya dökme eşya olarak ithal eden, ihraç eden, geri kazanan, geri dönüştüren, ıslah eden veya imha eden işletmelerin sunması gereken yıllık raporlar, kota tahsisleri ve lisans modüllerinin bulunduğu bir elektronik veri tabanı tanımlanmaktadır.

F-Gaz Yönetmeliğinin yayımlandığı tarihten itibaren (29.06.2022) bu Yönetmelik kapsamındaki faaliyetlerin her yıl bir önceki yıla ait faaliyetlerin 31 Mart'ına kadar FARAVET üzerinden raporlanması gerektiği belirtilmektedir (Resmi Gazete, 2022).

3.1.3 Kota Uygulaması

2023 yılından itibaren bir sonraki yıl tahsis edilen kotayı almak isteyen işletmelere yönelik başvuruları FARAVET üzerinden her yıl 30 Nisan'a kadar toplanacak ve ekipman içerisinde soğutucu akışkan ithal eden firmalara kota uygulaması 2025 yılında başlayacaktır. Dökme gaz olarak F-Gaz ithal eden firmalar ilk kota başvurusunu, en geç 30.01.2023 tarihinde yapması gerekmektedir. Ürün içerisinde F-Gaz ithal eden firmalar ise ilk kota başvurusunu, en geç 30.01.2024 tarihinde yapacaktır. Her yıl, bir sonraki yıl için kota başvurusunun tekrarlanması gerektiği belirtilmiştir.

Kota uygulaması ise 2024 yılı için öngörülen hedef Bakanlığın belirleyeceği miktarda ton eşdeğer CO₂ F-Gaz kotası, sadece dökme gaz ithal eden firmalara dağıtılacaktır. Kota miktarı henüz net olarak açıklanmamıştır. 2025 yılı itibarı ile bu kota, hem dökme gaz ithalatçılarına, hem de ön şarjlı cihaz ithalatçılarına paylaştırılacaktır. Ürün içerisinde F-Gaz ithal eden firmalar ise 2025 yılından itibaren kotadan pay alacaktır. 2024 itibarıyla HFC tüketimi dondurulacağı ve

belirlenen azaltma takvimi çerçevesinde 2029 da en az %10'luk bir azaltma gerçekleştirileceği belirtilmektedir (Ertürk, 2020).

İdari yaptırımlar ise 3 başlık altında incelenebilir (Fındık, 2022).

- 1. Kota Aşımı Yaptırımı:** Kotalarını aşan ithalatçıların, sonraki yılın kotasından, kotadan aşılan miktarın %200'ü oranında kesinti yapılacaktır.
- 2. Kota Verilmeme Yaptırımı:** FARAVET'e rapor sunmayan veya mevzuata aykırı HFC ithalatı yapan ithalatçılara, takip eden takvim yılı için kota tahsis edilmeyecektir.
- 3. Kigali Değişikliğine Taraf Olmayan Ülkelerle Ticaret Yasağı:** 1 Ocak 2033 tarihinden itibaren, Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü Kigali Değişikliği'ne taraf olmayan ülkelerle HFC ticareti yapmak yasaklanacaktır.

3.2 Yeşil Vergiler ve Türleri

Çevre vergilerinin ilk örneği olan kirlilik vergisi terimi ilk defa, İngiliz İktisatçı ve yazar A.C. Pigou tarafından kullanılmıştır. Yeşil vergiler, iki ana başlık altında toplanabilmektedir. Birinci grupta ulusal çevre vergileri, ikinci grupta ise küresel nitelikte uluslararası çevre vergileri yer almaktadır. Uluslararası düzeyde yürütülen çalışmalar Türkiye'de de çevre konusunda düzenlemelere gidilmesine yol açmış ve bununla ilgili 1983 yılında yürürlüğe giren 2872 sayılı Çevre Kanunu bulunmaktadır. Türkiye AB üye ülkeleri ile karşılaştırıldığında çevre sorunlarının çözümünde yetersiz olduğu ancak kanunların ve vergiler ile birlikte kalkınma planlarının da olumlu katkısının büyük olduğu söylenebilmektedir (Ötgen, 2021). AB'ye uyum süreci ve çevre kirliliği artışının önlenmesi için Çevre Kanunu'nda yeni düzenlemeler yapılmıştır. Kanunda yer alan değişikliklerin başında (Çevre Kanunu, 2023);

- Kirlileme yasağı,
- Çevre koruması,
- Çevresel etkilerin değerlendirilmesi,
- Gürültü,
- Faaliyetlerin durdurulması,
- Teşvik,

gelmektedir. Ayrıca 10 Haziran 2022 tarihinde çevre kanunu ile bazı kanunlarda değişiklik yapılmasına dair kanun yayınlamıştır. Türkiye’de yeşil vergi uygulamalarına örnek olarak motorlu taşıtlar vergisi (MTV), özel tüketim vergisi (ÖTV) ve çevre temizlik vergisi (ÇTV) örnek olarak verilebilir.

3.3 Karbon Fiyatlaması ve Türleri

Dünya çapında birçok ülke, ya fosil yakıtları vergilendirerek ya da emisyon ticareti yoluyla karbon emisyonları için bir fiyat üzerinde anlaşılıyor. Birleşik Krallık'ta kömür tüketimi, 2013 yılında bir karbon vergisi getirilmesinin ardından düşüşe geçmiştir. Kuzeydoğu Amerika Birleşik Devletleri'nde, dokuz eyalet enerji sektöründen kaynaklanan emisyonları sınırlamış ve şirketlerin ticarete konu olan karbon kredisi satın almalarını şart koşmuştur.

Verilen öneklere bakılacak olursa karbon fiyatlandırma sistemleri: emisyon ticaret sistemi (ETS) ve karbon vergisi olmak üzere ikiye ayrılabilir.

3.3.1 Emisyon Ticaret Sistemi (ETS)

ETS, CO₂ başta olmak üzere küresel ısınmayı tetikleyen sera gazı emisyonlarının azaltılmasını hedefleyen bir mekanizma olarak tanımlanabilir. Sistem, ticareti yapılabilen karbon tahsisatları için oluşturulan bir ticaret platformunda alınıp satılması ve emisyonları azaltmalarının sağlanması için bir teşvik sistemine dayanmaktadır. Türkiye’de ETS uygulamasına yapılan somut adım ise 2015-2016 yılları arasında Türkiye’de Sera Gazı Emisyon Ticareti Sisteminin Kurulmasına Yönelik Yol Haritası raporunun yayımlanmasıdır. Bu yol haritası raporunda Türkiye’de kurulması muhtemel bir ETS için tasarım unsurları ele alınmaktadır. ETS Emisyon Üst Sınırı ve Ticareti ve Taban ve Kredi Sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır (Ubay ve Bilgici, 2021).

a) Emisyon Üst Sınırı ve Ticareti:

Emisyon üst sınırı ve ticareti, genel bir üst sınır belirlenmiş ve sistemde olan şirketlere belirlenen sınır içerisinde emisyon hakkı veren bir mekanizmadan oluşmaktadır. Emisyonlarını düşüren şirketler, artakalan kapasitelerini diğer şirketlere satabilme hakkı da mevcuttur (Ubay ve Bilgici, 2021).

b) Taban ve Kredi Sistemi

Taban ve kredi sistemi, şirketlerin sera gazı azaltımları belirli bir tabanın altına düştüğünde kredi aldığı bir sistemdir. Toplam ulusal emisyonlar için bir üst sınır yoktur (Ubay ve Bilgici, 2021).

3.3.2 Karbon Vergisi

Karbon vergisi, fosil yakıtların üretimi, dağıtımı veya kullanımı için yapılan ödemelere uygulanan bir çevre vergisidir (Zimmermannová, 2017). Bu vergi oranları aracılığıyla karbon fiyatını doğrudan sabitlemektedir. Karbon vergisi ile ETS arasındaki fark, emisyon azaltımları yerine bir karbon fiyatının belirtilmesidir (The World Bank, 2020).

4. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde en önemli evrensel gündemlerden biri yeşil ve dijital dönüşümün sürdürülebilir bir hale getirilmesidir. Bu dönüşümün uygulama noktasında enerji verimliliği ve çevresel etkiler büyük paya sahip olup, mevcut sistemlerin verimliliğini artırarak enerji tasarrufu yapmak ülkeler için önemli bir politika haline gelmiştir. Mühendislik endüstrileri iklim değişikliğinin etkilerini ve doğaya salınan emisyonların minimum seviyeye indirgemesi, sürdürülebilir ve temiz teknolojileri artırma görevi ile karşı karşıyadır. Bu kapsamda, küresel ısınmanın etkilerinin azaltılması ve temiz, yaşanabilir bir çevre için çalışmalar yapılmaktadır. Bulduğumuz yüzyılda enerji krizi, sıcak hava dalgaları, sel ve kuraklık gibi doğa olayları, buzulların eriyerek deniz seviyesini yükseltmesi gibi birçok tehlike bizi beklemektedir. Bahsedilen bu ve benzeri tehlikeleri minimum seviyede tutabilmek için protokol, sözleşme, standartlar ve yaptırımlar gibi birçok uygulama yapılmış ve hali hazırda ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Sistemlerde kullanılan yüksek KIP değerine sahip HFC soğutucu akışkanlar, AB pazarından aşamalı ya da tamamen kullanımdan kaldırmak üzeredir. Kullanımlarındaki azalma, Avrupa F-Gaz Yönetmeliği ve Montreal Protokolü'ndeki Kigali Değişikliği ile kolaylaştırılmıştır. Önümüzdeki yıllarda, doğal ve yeni nesil düşük KIP değerine sahip soğutucu akışkanların pazara hakim olacağı düşünülmektedir.

Ülkeler, Paris Anlaşması ile 2020 yılından sonraki süreçte iklim değişikliği tehlikesine karşı küresel çapta önlemler almış ve sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutulabilmek için soğutma endüstrilerinde yönlerini tekrar

doğal soğutucu akışkanlara çevirmişlerdir. İklim değişikliği ile mücadele için sınırdaki karbon düzenlemeleri, yeşil ve dögüsel bir ekonomi, sürdürülebilir tarım ve akıllı ulaşım gibi birçok hedef bulunmaktadır. Bu hedefler doğrultusunda öncü çalışmaları yürüten AB 2015'ten beri F-Gazların kullanımını kontrol etmekte ve iklim değişikliğine karşı eylem stratejileri geliştirmektedir.

Şirketler tarafından bu gazların emisyonlarını temiz ve verimli bir şekilde ortadan kaldıran ya da geri kazanımını sağlayacak olan sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu dögüsel ekonominin uygulanması için, F-Gazları içeren atıkların seçici olarak toplanması fayda sağlayacaktır.

Devletler tarafından F-Gazların kullanımına yönelik herhangi bir yaptırım uygulanmaması halinde doğrudan ve dolaylı kullanıcılar bu konuda gerekli farkındalığa sahip olmayabilir. Farkındalığın artırılması için teknik personellerin ve ilgili kullanıcıların profesyoneller tarafından eğitimine destek verilmelidir. Bu sayede kullanıcılar F-Gazların kullanımı, geri dönüşümü ve bertaraf edilmesi gibi konularda bilinçlendirilecektir.

Ülkeleri, ekonomilerini karbondan arındırma taahhütlerine yönlendirecek politika aracı olan, yeşil vergiler teknolojik gelişmeyi desteklemektedir. Yeşil vergiler teşvike dayalı araçlardır ve iklim değişikliğini önlemede çok etkin role sahiplerdir. Bu vergiler, yakıt tüketimini azaltması sebebiyle sera gazı emisyonunun düşürülmesi konusunda yararlı olacaktır. Uygulanacak politikalar ile yeşil vergilerin iklim değişikliği konusunda sonuç alabilmesi, toplumun çevre farkındalığı, bu politikaların işlevselliği birçok yönden incelenmelidir. Sürdürülebilir bir çevre amacıyla iklim değişikliği konusunda istenilen hedeflere ulaşmak için soğutma ve diğer endüstriler oluşturdukları sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunmalıdır.

Bu çalışmada bahsedilen karbon-nötr politikaları kapsamında birçok senaryo oluşturulmuş ve tüm senaryolar karbon yakalamayı içermektedir.

Bu nedenle, karbon yakalama, kullanma ve depolama içeren projeler son yıllarda önemli hız kazanmıştır. Bu sayede temiz enerji teknolojileri geliştirilerek, karbon yakalama teknikleri, fosil yakıtların kullanımının azaltılmasıyla yeşil enerjiye dönüşüm ve su kaynaklarının korunumu ile yeşil devrim sağlanacaktır.

5. Teşekkür

Nurdil Teknik Soğutma A.Ş.' ye verdiği katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bülent Duru, 2001. Viyana'dan Kyoto'ya İklim Değişikliği Serüveni. Mülkiye, 25(230), 301-333.
- Commission Delegated Regulation (EU) 2019/2024 of 11 October laying down ecodesign requirements for refrigerating appliances with a direct sales function pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council (Text with EEA relevance). (2019, 12 December). Office Journal of the European Union (L 315/313).
- CTR. ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi. Erişim Tarihi: 19.03.2023. <https://belgelendirme.ctr.com.tr/iso-22000-haccp-nedir.html>.
- Çevre Kanunu, Erişim Tarihi: 19.03.2023. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.2872.pdf>.
- Demirci, E., Özkaymak, M., Koşan, M., Akkoç, A. E. ve Aktaş, M., 2020. Doğal Soğutucu Akışkan Kullanımında Gelişmeler. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(3), 184-199.
- Ertürk, Ülkü Fusun, 2020. Türkiye'de F-Gaz Uygulamaları ve Kigali Değişikliği. 20. Ozon Paneli, 5 Mart 2020, Konya.
- Fındık Neslihan, 2022. Türkiye Yeni F-Gaz Yönetmeliği. ISKID Webinarı, 15.12.2022, online.
- International Organization for Standardization. ISO/TC 86/SC 7'ye göre standartlar, Ticari Soğutmalı Teşhir Dolaplarının Test Edilmesi ve Derecelendirilmesi. Erişim Tarihi: 12.03.2023. <https://www.iso.org/committee/50386/x/catalogue/>.
- ISO/TC 315, 2018. Cold chain logistics. International Organization for Standardization, İsviçre.
- ISO 22000, 2018. Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain. International Organization for Standardization, İsviçre.
- ISO 23412, 2020. Indirect, temperature-controlled refrigerated delivery services — Land transport of parcels with intermediate transfer. International Organization for Standardization, İsviçre.
- ISO 23953-1, 2015. Refrigerated display cabinets — Part 1: Vocabulary. International Organization for Standardization, İsviçre.
- ISO 23953-2, 2015. Refrigerated display cabinets — Part 2: Classification, requirements and test conditions. International Organization for Standardization, İsviçre.

- Karakaya, Ethem, 2016. Paris İklim Anlaşması: İçeriği ve Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme. Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 3(1), 1-12.
- Kocalar, Aziz Cumhur, 2022. Big Data Planning Policies in the Age of Green Consensus. European Journal of Science and Technology, özel sayı (34), 716-719.
- Masdaf. ATEX Sertifikası Nedir? ATEX Sertifikası Nasıl Alınır? Erişim Tarihi: 18.03.2023. <https://masgrup.com/atex-sertifikasi-nedir-atex-sertifikasi-nasil-alinir>.
- Ötgen, Yazgülü, 2021. Çevre Sorunlarının Çözümünde Yeşil Vergiler ve Türkiye Değerlendirmesi. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Dönem Projesi, 44, Denizli.
- Resmî Gazete, 2016. Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler İle İlgili Yönetmelik (2014/34/AB) Birinci Bölüm. Sayı:29758, 30 Haziran 2016 Perşembe.
- Resmi Gazete, 2017. Çevrenin Korunması Yönünden Kontrol Altında Tutulan Kimyasalların İthalat Denetimi Tebliği (Ürün Güvenliği Ve Denetimi: 2018/6). Sayı:3028, 30 Aralık 2017 Cumartesi.
- Resmi Gazete, 2022. Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik. Sayı:31881, 29 Haziran 2022 Çarşamba.
- Standard 34-2010: w, x, ag, ah, ai, aj, 2013. Designation and Safety Classification of Refrigerants. ANSI/ASHRAE, ABD.
- Talu, Nuran, 2019. Avrupa Birliği İklim Politikaları. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi-3. Ankara.
- The World Bank (2020b). Pricing carbon. Erişim Tarihi: 26.03.2023. <https://www.worldbank.org/en/programs/pricing-carbon>.
- Türk Standardları Enstitüsü. Ayna Komiteler ve Takip Ettikleri Uluslararası Teknik Komiteler. Erişim Tarihi: 10.03.2023. <https://www.tse.org.tr/IcerikDetay?ID=2101&ParentID=3516>.
- Türk Standardları Enstitüsü. ICS Kod Listesi. Erişim Tarihi: 10.03.2023. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/ICSTree.aspx>.
- Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 'nın Tarihçesi. Erişim tarihi 20.03.2023. <https://www.csb.gov.tr/tarihcemiz-i-7012#:~:text=29%20Ekim%202021%20tarihli%20ve,%C4%B0kl%C4%9Fi%20Bakanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20olarak%20de%C4%9Fi%20Ftirilmi%20Ftir>.

- Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı. Kyoto Protokolü. Erişim Tarihi: 04.03.2023. <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>.
- Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı. Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü. Erişim Tarihi: 03.03.2023. <https://www.mfa.gov.tr/viyana-sozlesmesi-ve-montreal-protokolu.tr.mfa>.
- Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, 2021. Yeşil Mutabakat Eylem Planı.
- Ubay, B. ve Bilgici, Y., 2021. Karbon Fiyatlandırmasında Emisyon Ticaret Sistemi ve Önemi. Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10 (1), 47 – 72.
- Uçak, S. ve Villi, B., 2021. Avrupa Yeşil Mutabakatının Çelik Sektörüne Olası Etkileri. Uygulamalı Ekonomi ve Sosyal Bilimler Dergisi, 3 (2), 94-113.
- Yakut, Andaç, 2022. Soğutucu Akışkanların İklim Değişikliğine Etkisi ve Dünyadaki Güncel Gelişmeler. ISKID Webinarı, 15.12.2022, online.
- Yaman, D. ve Demir, D. G., 2021. İklim Değişikliğiyle Mücadelede Yeşil Vergiler. II. International Academician Studies Congress, 22-24.10.2021, online, 461-479.
- Yılmaz, Filiz, 2022. Enerji Yönetimi ve Türkiye: Avrupa Yeşil Mutabakatı Çerçevesinde Bir Değerlendirme. Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi, 8(1), 19-37.
- Yılmazoğlu, Mustafa Zeki, 2017. EN 378 Standartının Tanıtılması ve Seçim Kriterlerine Etkileri. Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, Temmuz-Ağustos (110). <https://www.tmd.org.tr/PdfDosyaları/Dergi-Eki-110-1-1.pdf>.
- Zimmermannová, J., Hájek, M., Rozenský L., 2017. Carbon taxation in the European countries. Proceedings of the 22nd International Conference Theoretical and Practical Aspects of Public Finance, 7-8.04.2017, Prag, Çek Cumhuriyeti.

BÖLÜM 8

ENDÜSTRİYEL SERAMİK SOFRA EŞYASI ÜRETİMİNDE BÜNYE KOMPOZİSYONLARININ GELİŞTİRİLMESİ

Prof. Dr. Gencay SARIİŞİK¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8417487>

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Şanlıurfa, Türkiye,
gsariisik@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-1112-3933

1. GİRİŞ

Seramik, inorganik madde ve metal alaşımların karışımı ile şekillendirilip, sırlama sonrası pişirilerek mukavemet kazandırılan malzemedir (Erzincan ve ark. 2021). Seramik sektörü sanayi devrimi ile dünyada ve ülkemizde gelişme gösteren, seri üretim ile en önemli imalat alanlarından birisi haline gelmiştir. Seramik sektöründeki ekonomik büyüme geniş kullanım alanlarından özellikle yer ve duvar karoları, seramik sofa gereçleri, sağlık gereçleri ve vitrifiye ürünlere ihtiyacı artırmıştır (Göl ve ark. 2021).

Porselen % 50 kaolen veya kil, % 25 kuvars ve %25 feldspattan oluşan vitrifiye olmuş ürünler olarak bilinmektedir (Wong, 2019; Santos ve ark. 2022). Porselen bünyesindeki kaolen ve killer ürünün şekil almasını, feldspat bünyenin sinterlenmesini, kuvars ise bünye mukavemetinin artırılmasını sağlamaktadır (Bahtli ve Erdem 2021). Pişirme sıcaklığı 1350–1450°C arasında sert porselen, 1200°C–1250°C sıcaklıkta ise yumuşak porselen oluşmaktadır (Leonelli ve ark. 2001).

Dünya seramik sofa eşyaları sektör büyüklüğü 15 milyar dolar, tüketimi ise her yıl %5 artmaktadır (Kalkınma Bakanlığı Raporu, 2015). Seramik sofa eşyaları sektöründe ihracatın %36'sı Çin, Türkiye ise % 1'dir. TÜİK verilerine göre 2018 yılında imalatta net katma değer yaklaşık 750 milyon TL civarındadır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022).

Sır malzemesi seramik ürünlerin yüzeylerini kaplayan estetik ve hijyenik özellik kazandıran camsı tabaka olarak bilinmektedir (Revuelta, 2021). Farklı sıcaklıklarda yapılan pişirim sonrası seramik ürünleri gerek sır gerekse bünyenin sinterleşmesi ile fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişime sebebiyet vermektedir (Binhussain ve ark. 2014; Capatina ve ark. 2012; Köseoğlu, 2017; Sariisik ve ark. 2011; Sarıışık ve ark. 2013). Sır içeriğindeki malzemelerin oranı tane boyutu ve pişme sıcaklığına göre belirlenmektedir (Amorós ve ark. 2021). Sır bileşimde bazı oksitler (Na_2O , B_2O_3 , K_2O , ZnO , PbO) erime sıcaklığını azaltırken, bazı oksitler (SiO_2 , Al_2O_3) erime sıcaklığını artırmaktadır (Brosh ve ark. 2012; Huang ve ark. 2021). Borik asit (H_3BO_3) ilavesi seramik ürünlerde dayanımın artmasına ve fırın rejiminin düşmesine neden olmaktadır (Ustunel ve ark. 2021). Feldispat ve alkali içerikli bünye ve sırlarda ergime sıcaklığı düşmektedir. Bu nedenle bünye ve sırlarda sinterleşme sonrası pişme küçülmesi olmaktadır. Sinterleme sıcaklığının artmasına bağlı olarak camsı fazın ergimesiyle tanelerin birbirine yaklaşarak,

gözeneklilik azalmaktadır. Buna göre bünyede porozite ve su emme değerleri azalmakta, yoğunluk artmaktadır (Dondi ve ark. 2002; Çelik, 2015; Öztürk ve ark. 2021).

Literatür araştırmalarında seramik porselen üretiminde farklı bölgelerin feldspat türevlerinin ergimeyi kolaylaştırmak ve sıcaklığı düşürmek için kullanıldığı görülmektedir (Fuertes ve ark. 2022; Tarhan ve Tarhan 2019). Ayrıca feldspat yerine alternatif hammadde olarak pomza ve kalsine kolemanit kullanılmıştır (Akpınar ve ark. 2017; Öztürk ve Can 2023). Seramik porselen sofraya eşyası üretiminde yeni ürünlerin yüksek ısıya dayanıklı olması oldukça önem taşımaktadır. Özellikle seramik sofraya eşya sektörü üretiminde müşterinin memnuniyetine yönelik inovatif ürün tasarımı yapılması, ürün kalitesini artırılması, maliyeti azaltılması için üretim aşamasındaki sorunların giderilmesi, alternatif hammadde kullanımı ve verimliliğin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, işletme koşullarında endüstriyel seramik sofraya eşyası üretiminde bünye kompozisyonlarının geliştirilmesi çalışmaları yapılması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada bünye ve sıra ait karakterizasyon testleri (mineralojik analizleri, XRF, XRD, dilatometre, ısı mikroskobu ve tane boyut dağılımı), A ve B sır numunesinden elde edilen nihai ürünlerin su emme tayini analizi ve otoklavda çatlamaya dayanıklılık tayini analizleri yapılmıştır.

2.1. Materyal

Sır reçetesinde kullanılan malzemeler öncelikle bilyeli jet değirmeninde sulu öğütme yapılarak, istenilen tane boyutuna getirilmiştir. Sır malzemeleri özelliklerine göre $\pm 0,01$ g hassas terazi ile istenilen oranda tartılmıştır. Sır karışıma su ilave edilip, 100 mesh elek ile süzme işlemi yapılmıştır. Hazırlanan sıranın akışkanlığının kontrolü için viskozimetre ile 20 l/s ölçümü yapılmıştır. Ayrıca sıranın çökmesi bir süre beklenerek, katı-sıvı oranı kontrol edilmiştir. Böylelikle sır sırlamaya hazır hale getirilerek, daldırma yöntemiyle bünye üzerine uygulanmıştır. Tablo 1'de sır reçeteleri A (Opak) ve B (Şeffaf) bileşenleri verilmiştir.

Tablo 1. A (Opak) ve B (Şeffaf) sır reçeteleri

Sır Türü	Katı					Sıvı
	Transparan	Opak	Flaks	Groleg	Magnezyum	Su
A Sır (%)	16.63	37.42	2.08	3.74	0.06	40.06
B Sır (%)	43.52	0.00	1.70	3.07	0.05	51.65

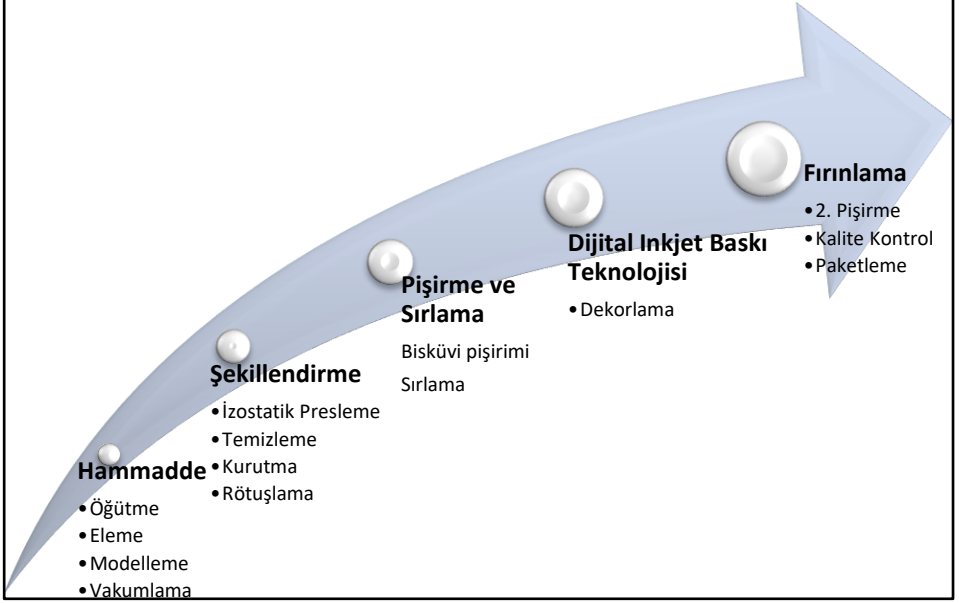
Seramik ürünlerin yapımında kullanılan kil hammadde ve analizlerde kullanılan bünye ve sır numunelerinin görünümü Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir. Sır karışımları öncelikle bilyeli değirmende öğütülmüş, sonra 105 °C’lik etüvde kurutulmuştur. Ayrıca bünyede 105 °C’lik etüvde 1.5 h kurutulmuştur.

**Şekil 1:** Seramik ürünlerin yapımında kullanılan kil hammaddenin görünümü.**Şekil 2:** Analizlerde kullanılan bünye ve sır numunelerinin görünümü.

2.2. Seramik Ürünlerin Klasik ve Dijital Baskı Teknolojisi ile Üretimi

Seramik ürünlerin üretiminde izlenen basamaklar Şekil 3'de verilmiştir. Seramik ürünlerin üretiminde klasik yöntemde Modelhanede yeni ürünlerin kalıpları hazırlanmaktadır. Bünye hammaddesi çamur (kil) vakumlama yapılarak, şekillendirilmesi için prese gönderilmektedir. Kalıbın şeklini alan malzemenin kenarları temizlenmektedir. Temizlenen ürünler kurutularak, rötuşlama bölümünde kenarlarındaki çapakları ve fazlalıkları alınmaktadır. Seramik üretiminde şekillendirme izostatik toz presleme, plastik şekillendirme, ram pres ve dökümle yöntemleri kullanılmaktadır. Üretilen ürünün geometrik yapısına göre en çok tercih edilen yöntem izostatik toz preslemedir. Bu çalışmada ürün çeşitliliğine göre izostatik toz presleme yöntemi de kullanılmıştır. Rötuşlanan ürünler kamara tip elektrikli fırında bisküvi pişirimi yapılarak, sırlama bölümüne gönderilmektedir. Eğer ürüne dekor yapılacaksa sırlama bölümünden önce dekorlama bölümünde dekorlamaktadır. Sırlanan ve dekorlanan ürünler ikinci pişirim için tünel fırında pişirilmektedir. Nihai ürünler kalite kontrolleri yapılarak paketlenmektedir.

Seramik endüstrisinde dekorlama ve desen baskı yöntemleri dekal (çıkartma) baskı, tampon baskı ve dijital inkjet baskı yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada dijital inkjet baskı makinesinde üretim süreçleri kullanılmıştır. Dijital Inkjet Baskı Makinesi ürün giriş bölümü, yükseklik fotoselleri, kamera yardımıyla merkezleme, uyarı lambası, dokunmatik kontrol ekranı, band, baskı alanı, ürün çıkış alanı ve band yıkama haznesinden oluşmaktadır. Yarı mamul (sırlanmış bisküvi) üretim bandından ilerleyen yarı mamul üzerine püskürtme yoluyla daha önceden tasarımı hazırlanmış desen işlenmektedir. Yarı mamul üretim bandından çıkarılıp diğer işlemlerin yapılacağı tezgahlara yönlendirilmektedir. Yarı mamulün üretim bandına bırakılması ve üretim bandından çıkarılması işlemi manuel olarak yapılmaktadır. Dijital Inkjet Baskı makinesinin manuel olarak kontrol edilmesi baskı başlık ayarlarının yapılması ve diğer başlık plakası ile alakalı ayarlamaları kontrol panelinden gerçekleştirilmektedir. Seramik mutfak gereçlerin sırt öncesi ve sonrası görünümü Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 3: Seramik ürünlerin üretiminde izlenen basamaklar.

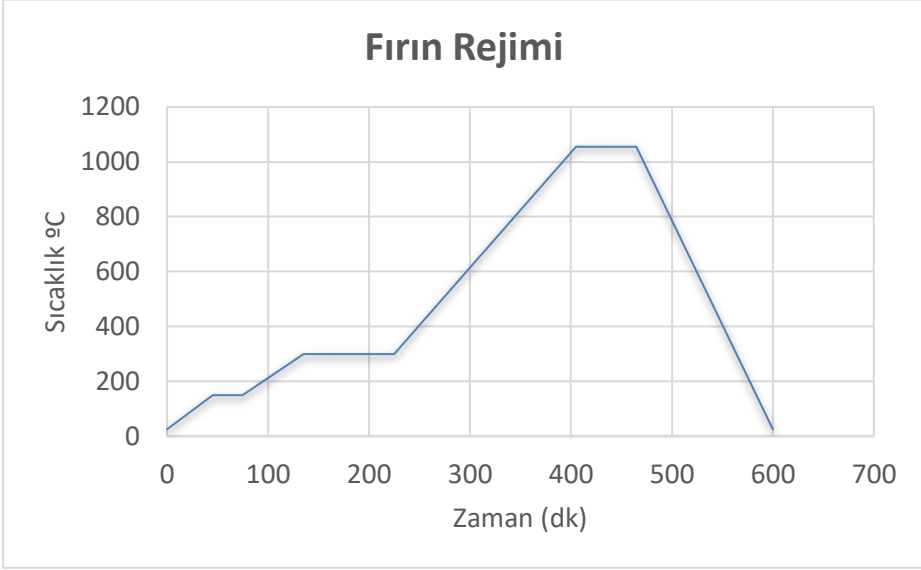


Şekil 4: Seramik ürünlerin klasik üretiminde sır öncesi ve sonrası görünümü.



Şekil 5: Seramik ürünlerin dijital baskı teknolojisi ile üretiminde sır sonrası görünümü.

Bünye ve sır uygulamasının ısıtma işlemi için fırın hacmi 0,5 m³ olan REF-SAN marka elektrikli kamara tipi fırın kullanılmıştır. Bünye ve sırlanmış ürün 1055 °C’de pişirilmiştir. Bünye ve sır uygulamasının pişirme işleminde fırın rejimi Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6: Bünye ve sır uygulamasının ısıtma işleminde fırın rejimi.

2.3. Bünye ve Sırların Test ve Analizleri

Bünye, A sır ve B sır numuneleri karakterizasyon testleri (mineralojik analizleri, XRF, XRD, dilatometre, ısı mikroskobu ve tane boyut dağılımı) SEM (Seramik Araştırma Merkezi) laboratuvarlarında yapılmıştır. Lazer difraksiyon tekniği ile hammadde, çamur ve sırların 0.2-2000 pm arası tane boyutları ölçülmüştür. Bünye ve sır numunelerinin kimyasal özellikleri XRF (ICP-ES) yöntemi ile oksit bileşikleri belirlenmiştir. Numuneler Rigaku marka Miniflex 600 model XRD cihazı ile $2\theta=5^{\circ}-70^{\circ}$ tarama aralığında ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüm ile bünye ve sır malzemelerinin kristal yapıları ve içeriğindeki fazlar incelenmiştir. Dilatometre analizleri Netzsch marka 402PC model cihaz ile numunelerin $10^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızı ile 700°C 'ye kadar ısı karşısında boyut değişimi gözlemlenmiştir. Numunelerin Misura ODHT HSM 1600-80 marka ısı mikroskobu cihazı ile ergime davranışı analiz edilmiştir. Sinterleme, yumuşama, tam küre, yarı küre ve akma sıcaklık noktaları belirlenmiştir. A ve B sır numunesinden yapılan ürünlerin su emme tayini ve otoklavda çatlamaya dayanıklılık tayini analizleri Seramik Araştırma Merkezi (SAM) laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde bünye ve sıra ait tane boyut dağılımı, XRF, XRD, dilatometre ve ısı mikroskobu analiz sonuçları ve nihai ürünlerin su emme tayini analizi ve otoklavda çatlamaya dayanıklılık tayini analiz sonuçları verilmiştir.

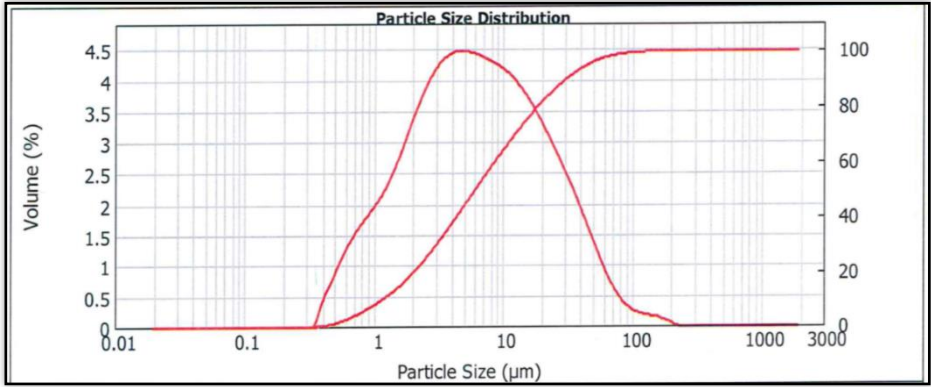
3.1. Tane Boyut Dağılımı Analiz Sonuçları

Sıvı çamur, opak sır ve şeffaf sır numunelerinin tane boyut dağılımı analizleri Seramik Araştırma Merkezi (SAM) laboratuvarlarında lazer yöntemiyle yapılmıştır. Ölçüm sonucunda, d₁₀, d₅₀, d₉₀ değerleri, hacim veya yüzey cinsinden boyut dağılım yüzde değerleri tespit edilmiştir. d (0.1) µm numunenin %10'u, d (0.5) µm numunenin %50'si ve d (0.9) µm numunenin %90'ı bu boyutun altındadır. Bünye, A ve B sıra ait tane boyut dağılımı analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

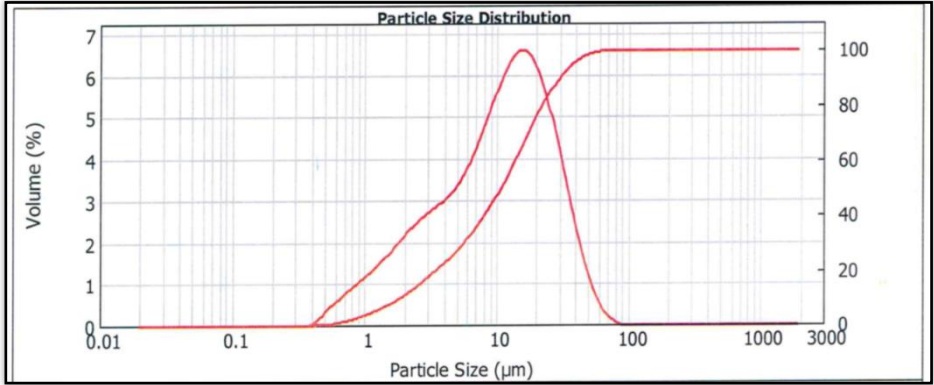
Tablo 2: Bünye, A ve B sıra ait tane boyut dağılımı analiz sonuçları

Numune	d (0.1) µm	d (0.5) µm	d (0.9) µm
Bünye	1.2	6.1	31.8
A sır	1.9	11	30.8
B sır	2	10.3	29.3

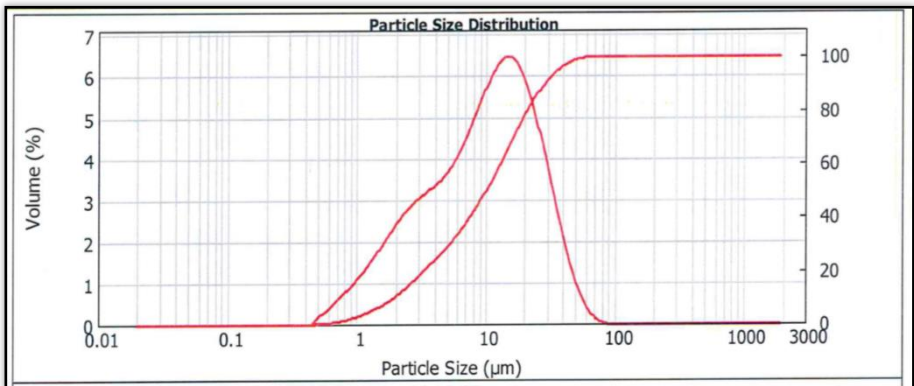
Seramik bünyenin sinterlenme davranışı ve fiziko-mekanik özellikleri ham bünyenin tane boyut dağılımının etkilemektedir. Bu çalışmada, bünye, A ve B sır numunelerinin tane boyut dağılımı incelenmiştir. Bünyelerin sinterlenme davranışı bünye içerisindeki sert hammaddelerin tane boyutu azaldıkça değişiklik göstermektedir. Bünye ve sır numuneleri daha fazla öğütülerek sinterlenme sıcaklığı düşürülebilir.



Şekil 7: Bünye tane boyut eğrisi.



Şekil 8: A sınıfı tane boyut eğrisi.



Şekil 9: B sınıfı tane boyut eğrisi.

3.2. XRF (X-Işınları Flüorensansı) Analizi Sonuçları

Seramik bünye, A sır ve B sır numunelerinin XRF yarı kantitatif analiz sonuçları Tablo 3.'de verilmiştir. Bünye, A sır ve B sır numunelerinde SiO₂ % 60.87-64.59, Al₂O₃ % 10.51-20.92, CaO % 7.14-9.98 arasındadır. Bünye, A sır ve B sır numunelerinde alkali oksit oranı (Na₂O, K₂O, TiO₂) %3.06-9.01 olarak belirlenmiştir. Ayrıca az miktarda Fe₂O₃ %0.22-1.26, MgO %0.26-2.12, %0.01-8.88 oranında ZrO₂ ve %0.01-3.20 ZnO bulunmaktadır.

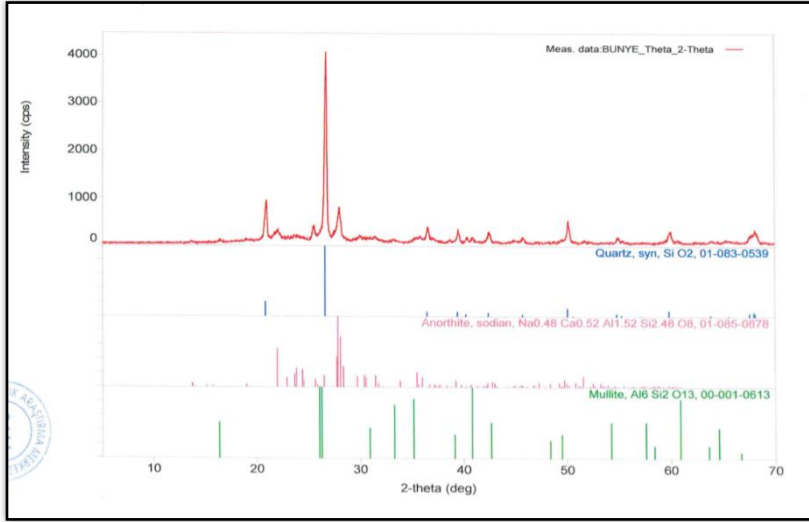
Tablo 3: XRF analiz sonuçları

Kimyasal Bileşenler (%)	Bünye	A Sır	B sır
Na ₂ O	0.57	5.76	5.28
MgO	2.12	0.26	0.4
SiO ₂	63.37	60.87	64.59
Al ₂ O ₃	20.92	10.51	14.28
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.13
SO ₃	1.46	0.01	0.12
K ₂ O	1.74	2.18	3.56
CaO	7.14	7.75	9.98
TiO ₂	0.75	0.15	0.17
ZrO ₂	0.01	8.88	0.49
Fe ₂ O ₃	1.26	0.22	0.31
ZnO	0.01	3.20	0.62
A.Z.	0.66	0.20	0.07

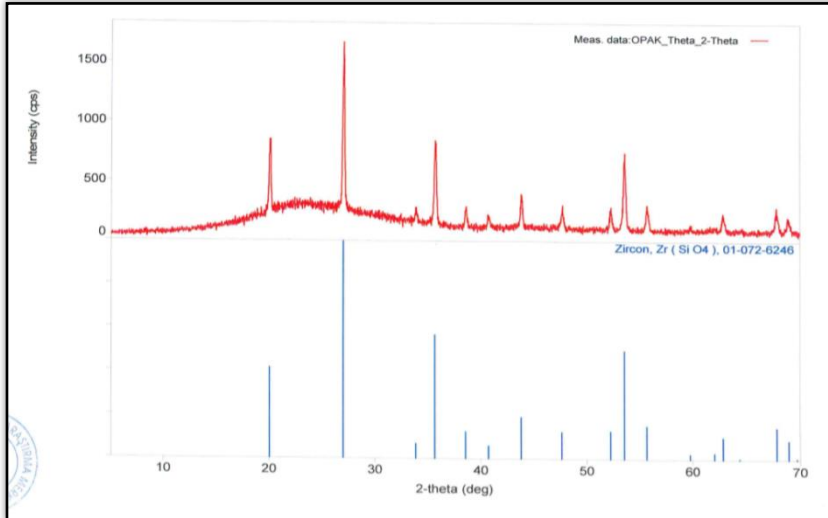
Yarı mamullerin bisküvi pişirim sonrası sırlama işleme yapılarak, tünel tipli fırında ikinci pişirim gerçekleşmektedir. Bünye ile sıranın birbiriyle kenetlenmesi için ikinci pişirme işleminde çıkan ürünlerde kavlama ve sır çatlakları incelenmiştir. Analiz sonuçlarında bünye, A sır ve B sır numunelerinde alkali oksit oranı % 3.06-9.01 olarak belirlenmiştir. Bu durumda alkali oksit oranı A ve B sır numunesinde % 8.09-9.01 arasında iken bünyede % 3.06 ile düşük bir seviye olduğu görülmektedir. Bünyede alkali oksit oranının düşük olması neticesinde bünye ve sır arasındaki bağlanma ve kenetlenme noktası daha zayıf olabilmektedir. Bu durumda bünyede kil minerallerine ilaveten alkali oksit oranını artırabilmek için farklı endüstriyel hammaddeler katılarak iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Böylelikle elde edilecek ürünlerin özellikle sıcaklığa, darbeye ve kimyasal malzemelere maruz kaldığında çatlak ve kavlamaların önüne geçilmiş olacaktır.

3.3. XRD (X-Işınları Difraksiyonu) Analizi Sonuçları

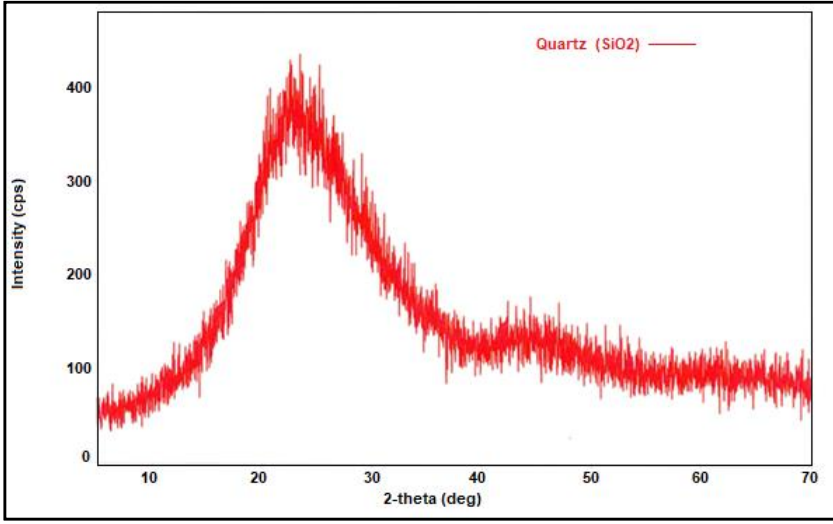
Bünye, A sır ve B sır numunelerinin XRD (X-Işınları Difraksiyonu) analizleri yapılarak, mineralojik bileşenleri verilmiştir. Bünye, A sır ve B sır numunelerinin XRD mineralojik analizleri sonucunda, 20° ile 30° arasındaki mineralojik analiz sonuçları aşağıda verilmiştir (Şekil 10-Şekil 12).



Şekil 10: Bünyenin XRD mineralojik analiz sonuçları.



Şekil 11: A sır numunesinin XRD mineralojik analiz sonuçları.



Şekil 12: B sıır numunesinin XRD mineralojik analiz sonuçları.

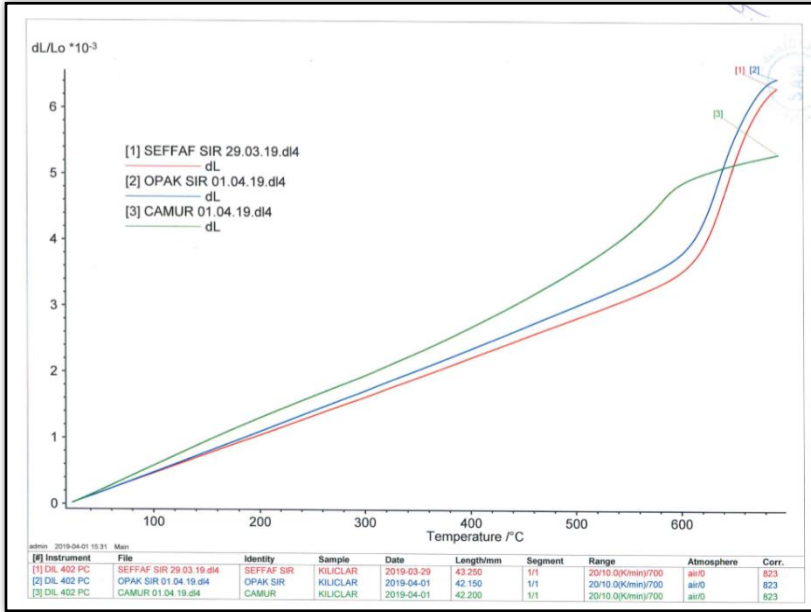
Bünyenin XRD mineralojik analizleri sonucunda, 20° ile 30° arasında kuvars (SiO₂), anortit, sodian, mullite (Al₆Si₂O₁₃) mineralleri, A sıır numunesinde ZrSiO₄ minerali ve B sıır numunesinde kuvars (SiO₂) mineralinin yüksek bir pik oluşturduğu tespit edilmiştir.

3.4. Optik Dilatometre Analiz Sonuçları

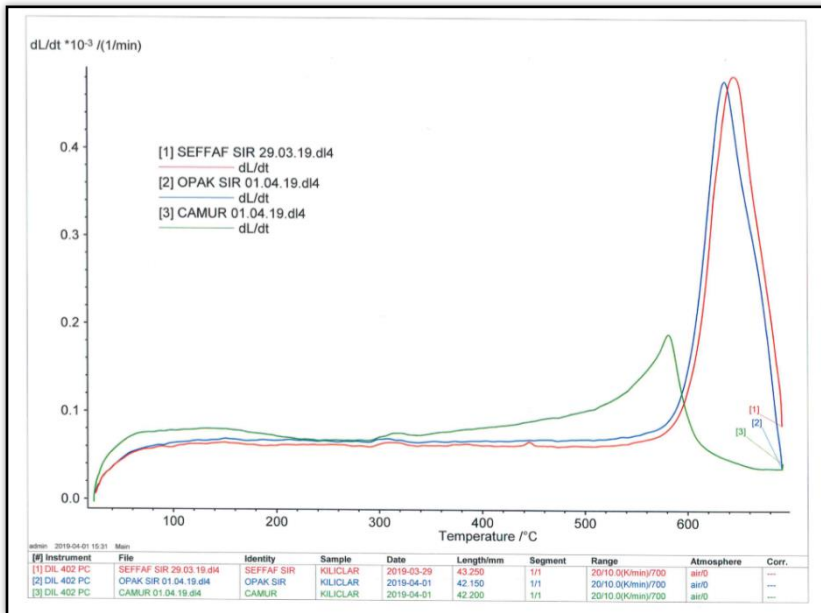
Optik dilatometre analiz ile bünye, A sıır ve B sıır numunelerinin termal genişleme davranışı sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Dilatometre ölçümünde, malzemenin ısı karşısında gösterdiği boyut değişimine bakılmıştır. Termal genişleme değerleri genelde doğrusal genişleme katsayısı (α) cinsinden verilmiştir. Numune oda sıcaklığında bekletilerek kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Numuneler için ısıtma hızı 10°C/dk ile 700°C’ye kadar olan standart bir pişme periyodu uygulanmıştır. Numunelerin 50°C’de bir boyutsal değişim ve genişleme katsayıları ~50°C-650°C arasında dilatometre eğrileri Şekil 13 ve Şekil 14’de verilmiştir.

Tablo 4. Bünye, A ve B sıra ait temassız optik dilatometre analiz sonuçları

Numune	$\alpha_{300} \times 10^{-7}$	$\alpha_{400} \times 10^{-7}$	$\alpha_{500} \times 10^{-7}$
Bünye	69.7	70.7	74.4
A Sıır	57.8	58.4	58.8
B Sıır	61.3	62	62.8



Şekil 13: Bünye, A ve B sır optik dilatometre eğrileri (dL).



Şekil 14: Bünye, A ve B sır optik dilatometre eğrileri (dL/dt).

Ham bünye, A ve B sır numuneleri 50°C-700°C arasında ısıl genişleme davranışı ölçülmüştür. Isıl genişleme katsayısı değerlerine göre A ve B sır ile ham bünyenin uyum derecesi incelenmiştir. Ham bünye ve sır arasında kuvvetli bağlanma meydana gelmesinde ısıl genişleme katsayısının uyumlu olması gerekmektedir. Bünye, A ve B sır optik dilatometre eğrilerine bakıldığında ham bünyenin ısıl genişleme katsayısının sır numunelerine göre daha düşük olduğu görülmektedir.

3.5. Isı Mikroskobu ile Ergime Davranışı Analiz Sonuçları

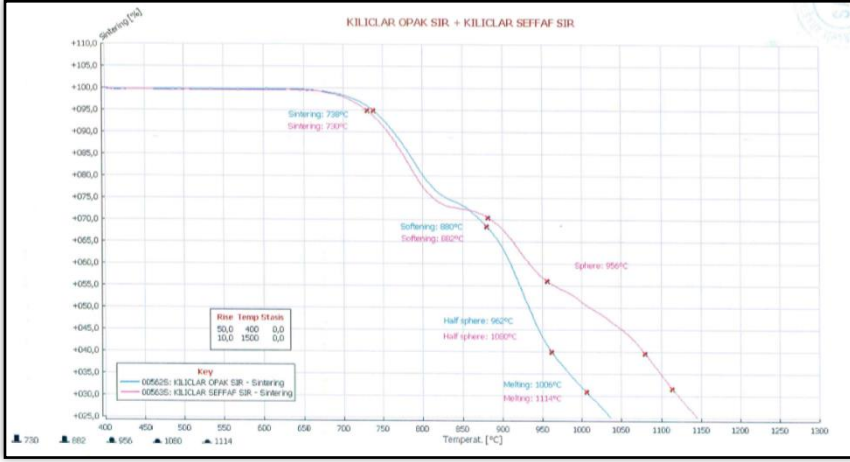
A ve B sır numunelerinin ısı mikroskobu ile ergime davranışı analizleri Seramik Araştırma Merkezi (SAM) laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Tablo 5’de A ve B sır numunelerine ait ısı mikroskobu ile yapılan ergime davranışı analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 5: A ve B sır numunelerine ait ergime davranışı analiz sonuçları

Numune	A sır	B sır
Sinterleme Sıcaklığı (°C)	738	730
Yumuşama Sıcaklığı (°C)	880	882
Tam Küre Sıcaklığı (°C)	952	956
Yarı Küre Sıcaklığı (°C)	962	1080
Akma Sıcaklığı (°C)	1006	1114

A ve B sır numunesinin ısı mikroskobu ile yapılan ergime davranışı analizi sonuçları incelendiğinde sinterlenme sıcaklığının 730-738 °C, yumuşama sıcaklığı 880-882 °C, yarı küre sıcaklığı 952-956 °C, tam küre sıcaklığı 962-1080 °C, ergime sıcaklığı 1006-1114 °C olarak tespit edilmiştir.

Şekil 15 ‘de A ve B sır numunenin ergime davranışı ölçüm sonrasında grafik üzerinde ve animasyon görüntüleri ile ayrı ayrı incelenmiş, ergime davranışı ve karakteristik sıcaklık noktaları (sinterleme, yumuşama, tam küre, yarı küre ve akma sıcaklığı) verilmiştir.



Şekil 15: A sır ve B sır ısı mikroskobu eğrileri.

Sır malzemelerinde sıcaklık arttıkça viskoz akış aktivasyon fazını aşarak, sinterleme fazına geçmektedir. Numunenin boyutu azalır, ancak gerçek şekilde değişme olmamaktadır. Numunenin sır olması durumunda sinterlemenin itici gücü, camsı fazın yüzey gerilimidir. Malzemenin sinterlemesi sürecinde yüzey gerilimi ile camsı taneler birbirine yaklaşarak, deforme olmaktadır.

Numune maksimum yoğunluğa ulaştığında sinterleme aşaması sona ermektedir. Malzemenin belli bir sinterleme sıcaklık aralığında bir akışkan camsı faza gelene kadar % 6 oranında boyutu değişmemektedir. Çalışmada sırlama öncesi ve sonrası pişirimlerde fırın rejimi 1050 °C olarak ele alınmıştır. Isı mikroskobu analiz sonuçlarına göre A ve B sırların sinterlenme sıcaklığının 730-738 °C ve yumuşama sıcaklığı 880-882 °C arasında olduğu için uygulama sıcaklığını 900 °C’de uygulanması gerekmektedir. Bu durumda tünel fırın uygulamasında 150 °C’de ısı kaybı olduğu tespit edilmiştir.

3.6. Su Emme Tayini Analiz Sonuçları

A ve B sır numunesinden elde edilen nihai ürünlerin su emme tayini analizleri Seramik Araştırma Merkezi (SAM) laboratuvarlarında yapılmıştır. Söz konusu analiz yapılırken ilgili standart TS EN 1217’dir.

Numunelerin su emme tayini analiz sonuçları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6: A ve B sırlı numunelerin su emme tayini analiz sonuçları

Numune	Su Emme (%)	Görünen Gözeneklilik (%)	Görünen Bağlı Yoğunluk (kg/m ³)	Hacim Kütleli (kg/m ³)
A sırlı	23.85	38.85	2660	1630
B sırlı	23.13	37.77	2620	1630

Yapılan su emme analizleri sonucunda su emme yüzdeleri opak sırlı numunede % 23,85, şeffaf sırlı numunede % 23.13, yarı şeffaf sırlı numunede ise %22.1 olarak tespit edilmiştir. TS EN 14411 standardına göre su emme deneyi E>%10 olduğu için sırlı ürünler GrupAIII, BIII sınıflandırılmasında yer almıştır.

3.7. Otoklavda Çatlamaya Dayanıklılık Tayini Analiz Sonuçları

A ve B sırlı numunenin otoklavda çatlamaya dayanıklılık tayini analizleri Seramik Araştırma Merkezi (SAM) laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Numunelerin otoklavda çatlamaya dayanıklılık tayini analiz sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7: Opak sırlı, şeffaf sırlı ve yarı şeffaf sırlı numunelerin otoklavda çatlamaya dayanıklılık tayini analiz sonuçları

Numune	Numunede Çatlama ve/veya Renk Değişikliği (Var/Yok)
A Sırlı	Hasarlı
B sırlı	Hasarlı

Tablo 7’de görüldüğü gibi TS 10850 standardına göre yapılan sırlı çatlama dayanım analizi sonucunda her üç sırlı numunelerde saç teli inceliğinde çatlaklar tespit edilmiştir. Bu çatlakların ana sebebi bünye ile sırlı arasındaki bağlanmanın oldukça zayıf olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu kapsamda bünye içerisindeki kil minerallerine ilave olarak alternatif hammaddeler (kaolin, wollastonit, mermer tozu ve öğütülmüş bisküvi kırığı gibi) kullanılarak yeni bünye çalışması yapılması gerekmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada bünye ve sırlarda oluşan sorunlara neden olan noktaları tespit edebilmek için mevcut durumda yapılan analizler incelenmiştir. Bünye ve sırlara yapılan test ve analizler sonuçları özetlenmiştir;

- Bünye, A ve B sır numunelerinin tane boyut dağılımı incelenmiştir. Bünye ve sır numuneleri içerisinde kullanılan hammaddelerin daha fazla öğütülerek sinterlenme sıcaklığı düşürülebilir.
- XRF analizleri bakıldığında, bünye ve sır arasındaki alkali oksit oranının uyumlu olmadığı için bağlanma ve kenetlenme noktası daha zayıf olduğu saptanmıştır. Özellikle alkali oksit oranını artırabilmek için iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır.
- XRD analizleri incelendiğinde, bünyede 20° ile 30° arasında kuvars (SiO₂), anortit, sodian, mullite (Al₆Si₂O₁₃), A sır numunesinde ZrSiO₄ ve B sır numunesinde kuvars mineralleri tespit edilmiştir.
- Dilatometre analizleri incelendiğinde, ham bünyenin ısıl genleşme katsayısının sır numunelerine göre daha düşük olduğu bünye ve sır arasında uyumsuzluk görülmektedir.
- Isı mikroskobu ile ergime davranışı analizlerine bakıldığında, her iki pişirmede de 1050 °C'deki sıcaklığın 150 °C düşürülerek, pişirme sıcaklığının yaklaşık 900°C'de uygulanmalıdır. Bu durumda tünel fırın uygulamasında 150 °C'de ısı kaybı olduğu tespit edilmiştir.
- Nihai ürün testleri incelendiğinde, TS EN 14411 standardına göre su emme deneyi E>%10 olduğu için sırlı ürünler GrupAIII, BIII sınıflandırılmasında yer almıştır.
- Sırın çatlama dayanım analizleri incelendiğinde, TS 10850 standardına göre sırlı numunelerde saç teli inceliğinde çatlaklar tespit edilmiştir. Bu çatlakların en aza indirilmesi için bünye ile sır arasındaki bağlanmanın kuvvetlendirilmesi gerekmektedir.

Çalışmada yapılan test ve analiz sonuçları dikkate alınarak bünye içerisindeki alkali oksit oranının artırılması için kil mineraline ilave olarak kaolin, wollastonit, mermer tozu ve öğütülmüş bisküvi kırığı gibi farklı malzemeler ile yeni bir bünye çalışması önerilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya katkılarından dolayı Kılıçlar İthal Mutfak Gereçleri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akpınar S., Evcin A., Ozdemir Y. (2017). Effect of calcined colemanite additions on properties of hard porcelain body, *Ceram. Int.*, 43, 8364-8371, 2017.
- Amorós, J. L., Blasco, E., Feliu, C., & Moreno, A. (2021). Effect of particle size distribution on the evolution of porous, microstructural, and dimensional characteristics during sinter-crystallisation of a glass-ceramic glaze. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 572, 121093.
- Bahtli T., Erdem Y. (2022). The use of foundry waste sand from investment casting in the production of porcelain tiles, *Ceram. Int.*, 48, Part A, 27967-27972.
- Binhussain, M. A., Marangoni, M., Bernardo, E., & Colombo, P. (2014). Sintered and glazed glass-ceramics from natural and waste raw materials. *Ceramics International*, 40(2), 3543-3551.
- Brosh, E., Pelton, A. D., & Decterov, S. A. (2012). A model to calculate the viscosity of silicate melts. *International Journal of Materials Research*, 103(5), 537-550.
- Capatína, C., Simonescu, C. M., & Florea, G. (2012). Glazes From Wastes Obtaining. *Metalurgia International*, 17(1), 16.
- Celik, H. (2015). Recycling of boron waste to develop ceramic wall tile in Turkey. *Transactions of the Indian Ceramic Society*, 74(2), 108-116.
- Dondi, M., Biasini, V., Guarini, G., Raimondo, M., Argnani, A., Di Primio, S., 2002, "The influence of magnesium silicates on technological behaviour of porcelain stoneware tiles", *Key Engineering Materials*, Vol. 206, 1795-1798.
- Erzincan, A., Yıldız, N., Erken, E., Parlak, D., Akbak, S., Evren, B., Ebeoğlu, S., Arslan, M., & Mercin, L. (2021). Anadolu kilim motiflerinin sofa seramiklerine yansması. *Medeniyet Sanat- İMÜ Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1),127–162.<https://doi.org/10.46641/medeniyetsanat.913171>
- Göl, F., Yılmaz, A., Kaçar, E., Şimşek, S., Sarıtaş, Z. G., Türe, C., Arslan, M., Bekmezci, M., Burhan, H., & Şen, F. (2021). Reuse of glass waste in the manufacture of ceramic tableware glazes. *Ceramics International*, 47(15), 21061–21068.[CrossRef]
- Huang, H., Yu, J., Liu, F., & Zeng, H. (2021, December). Preparation of A High-Performance Frit Glaze Using High-Potassium Feldspar. In *IOP*

- Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 943, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Köseoğlu, K. (2017). Effect of ulexite concentrator waste on the physical and mechanical properties and sintering behaviour of floor tile bodies. *Clay Minerals*, 52(1), 97-105.
- Leonelli C., Bondioli F., Veronesi P., Romagnoli M., Manfredini T., Pellacani G.C., Cannillo V. (2001). Enhancing the mechanical properties of porcelain stoneware tiles: a microstructural approach, *J. Eur. Ceram. Soc.* 21, 785-793.
- Öztürk, Ç., Akpınar, S., & Tarhan, M. (2021). Investigation of the usability of Sille stone as additive in floor tiles. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 57, 567-577.
- Öztürk Z.B., Can A. (2023). The use of micronized pumice in the production of ceramic sanitaryware glazes with sustainable industrial characteristics, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (3), 1967-1977 [22] Fuertes V., Reinoso J.J., Fernández J.F., Enríquez E. (2022). Engineered feldspar-based ceramics: A review of their potential in ceramic industry, *J.Eur. Ceram. Soc.*, 42, 307-326.
- Revuelta, M.B. (2021). Ceramic Products. *Construction Materials: Geology, Production and Applications*, 339-374.
- Santos T., Hennetier L., Costa V.A.F., Costa L.C. (2022). Microwave versus conventional porcelain firing: Colour analysis, *Mater. Chem. Phys.*, 275, 125265.
- Sariisik, A., Sariisik, G., & Şentürk, A. (2011). Applications of glaze and decor on dimensioned andesites used in construction sector. *Construction and Building Materials*, 25(9), 3694-3702.
- Sarıışık, G., Sarıışık, A., & Gökay, M. K. (2013). Investigation the glazability of dimension andesites with glaze coating materials containing boron minerals in construction sector. *Materials and structures*, 46(9), 1507-1517.
- Tarhan M., Tarhan B. (2019). Sırlı porselen karo üretimi için alternatif hammadde olarak Eşme/Uşak feldspatı, *AKÜ FEMÜBİD*, 19 (025702), 5429-438.
- TC. Kalkınma Bakanlığı, Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018, Seramik Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 2015, <https://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2022/08/Onuncu->

Kalkınma-Plani-Seramik-Calisma-Grubu-Raporu.pdf, Güncelleme tarihi 08, 2022.

TC. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Seramik Sektörü Raporu, Sanayi Genel Müdürlüğü, Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi. <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/planprogram/SeramikSektorRaporu2020.pdf>, Erişim tarihi 09, 2022.

Turkmen, O., Kucuk, A., & Akpınar, S. (2015). Effect of wollastonite addition on sintering of hard porcelain. *Ceramics International*, 41(4), 5505-5512.

Ustunel, G., Yenikaya, C., Bekmezci, M., & Sen, F. (2021). Prevention of mat glazed acid permeability used in monoporosa wall ceramics. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101628.

Wong-Ng W. (2019). *Ceramic Materials, International Tables for Crystallography*, John Wiley & Sons, New York, A.B.D.

BÖLÜM 9

MIKRODALGA MEME KANSERİNİN GÖRÜNTÜLENMESİNDE KULLANIM İÇİN ANTEN TASARIMI

Dr. Öğr. Üyesi Javad JANGI GOLEZANI¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8417496>

¹ Üsküdar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik mühendisliği Bölümü. İstanbul, Türkiye. jangi.javad@gmail.com, ORCID ID : 0000-0002-1217-0862

1. GİRİŞ

Meme kanseri tespitine yönelik mikrodalga görüntüleme teknolojisi günümüzde pek çok ilgiyi çekmektedir. Mikrodalga görüntülemeyle meme kanseri tespitinin fiziksel temeli, normal ve kötü huylu meme dokularının dielektrik özelliklerindeki farklılıktır. Meme kanserini tespit etmek için bir mikrodalga görüntüleme tekniği geliştirmenin motivasyonu, mikrodalga frekanslarında normal ve kötü huylu memenin dielektrik özellikleri arasındaki önemli farktan dolayı gözden kaçan tespitlerin ve yanlış pozitiflerin sayısının daha düşük olmasıdır. Tahmin edilen malign-normal meme dokusu kontrastı, normal dokunun yoğunluğuna bağlı olarak 2:1 ile 10:1 arasındadır. Başka bir avantaj olarak, mikrodalga görüntüleme teknikleri, ilgili doku özelliklerinin üç boyutlu (3 boyutlu) hacimsel haritasıyla sonuçlanır. Diğer taraftan mikrodalga meme kanseri görüntülemesi invazif olmayan ve potansiyel olarak az maliyetli bir seçenektir.

Bahsedilen tüm nedenlerden dolayı, mikrodalga meme görüntülemesi, olağan meme kanseri tarama sistemlerinin bazı kısıtlamalarının üstesinden gelme potansiyeline sahiptir (Fear, Li, Hagness, Stuchly, 2002; Ray, et al., 2001).

2. METOT VE MALZEME

Bu bölümde mikrodalga görüntüleme yöntemlerinden anten tasarımlarına, radyasyon modeline ve anten bilgilerine yer verilecektir.

2.1 Mikrodalga Görüntüleme Yöntemleri

Mikrodalga görüntülemenin tıbbi uygulamalarına ilişkin geniş bir literatür bulunmaktadır. Aktif mikrodalga görüntüleme tekniklerinin iki farklı yöntemi, dielektrik özelliklerdeki kontrastlardan yararlanır: topografik yöntemler ve geri saçılım yöntemleri.

Mikrodalga tomografisinde amaç, bir nesnenin dielektrik özellikleri profilinin, nesneden iletilen mikrodalga enerjisinin ölçümlerinden elde edilmesidir. Ancak diğer taraftan, yere nüfuz eden radar durumunda olduğu gibi, geri saçılma yöntemleri, önemli mikrodalga saçıcıların konumlarını çıkarmak için ölçülen yansıyan sinyalleri kullanır. Normal meme dokusu ile kötü huylu lezyonlar arasında Saçılma, dielektrik özelliklerdeki önemli farklılıklardan kaynaklanır. Son zamanlarda meme kanseri tespitine yönelik, eş odaklı mikrodalga görüntüleme (CMI) olarak adlandırılan başka bir yaklaşım önerilmiştir. CMI'da göğüs tümörünün tespit edilmesi prosedürü,

göğsün bir dizi fiziksel anten konumundan ultra geniş bantlı bir darbe ile aydınlatılmasını içerir. Dağınık konumu belirlemek için kullanılan bilgiyi sağlamak amacıyla, geri saçılan sinyalin göreceli varış süreleri ve genlikleri, ilgili algoritmalar kullanılarak analiz edilir. Mikrodalga tomografi ile kıyaslandığında, dielektrik özellik profilini tamamen yeniden yapılandırmaya çalışmak yerine, CMI yaklaşımı sadece göğüsteki güçlü saçıcıların konumunu belirlemeyi amaçlamaktadır (Fear et al., 2002; Kurrant, Fear, Westwick, 2008).

2.2 Anten Tasarımı

Kısaca radar tabanlı mikrodalga meme görüntüleme, girişim prosedürü, memenin ultra geniş bantlı mikrodalga darbesi ile aydınlatılması ve dolayısıyla yansımaların tespit edilmesidir.

Dokudan yansımakta olan dalgalar daha sonra işlenerek memedeki tümörlerin yerini tanımlayan ve gösteren görüntüler oluşturulur. Bu sistemlerin mühim bir kısmı ultra geniş bant sinyalini yaymak ve almak için kullanılmakta olan antenlerdir (Kumar and Ray, 2003).

Antenin bu uygulamalarda kullanılabilmesi için hem giriş empedansı uyumu hem de istenen bant genişliği üzerindeki radyasyon modeli açısından iyi bir performans sergilemesi gerekir.

Antenin yönlülüğü, yüksek çözünürlük elde etmek için antenin en mühim özelliğidir. Antenin yarım güç ışın genişliği (HPBW), daha küçük ayrıntıları tespit edebilecek kadar küçük olmalıdır. Bazı durumlarda yönlülüğü geliştirmek için anten dizilerinin kullanılması tercih edilir (Golezani, Parker et al., 2016; (Golezani, 2012).

Diğer taraftan, antenin fiziksel montajının karmaşıklığını azaltmak ve aynı zamanda gövdeye bir dereceye kadar uygunluk sağlamak için kompakt bir anten tasarımı istenilir (Nilavalan, Craddock, Preece, Leendertz and Benjamin, 2007; Shannon, Okoniewski and Fear, 2003; Wong, 2008). Dolayısıyla, radar tabanlı mikrodalga meme kanseri görüntüleme gibi yakın alan yakın yüzey ölçüm uygulamalarında kullanıma yönelik anten tasarımı ihtiyaçları aşağıdaki gibidir:

Kısa darbeleri iletmek için ultra geniş bant sinyal radyasyonu, seçici olarak aydınlatması ve taramaya izin vermesi için antenin boyutu birkaç cm civarındadır. Her antenin görüş alanı çok geniş olduğunda ortaya çıkan saçıcıların bulaşmasını önlemek için optimum yarım güçlü ışınma genişliği

(HPBW) tüm bant boyunca iyi bir empedans uyumu içindedir, bu enerjinin çoğunun iletilmesini sağlamaktadır (Golezani, 2012).

Bir antenin HPBW'sini azaltmak için antenin yönlülüğünü istenilen yönde arttırmamız gerekir. Darbeli radar tekniklerini kullanan doku algılama uygulamalarında yer alan araştırma gruplarınca çeşitli farklı anten türleri değerlendirilmektedir. Bu tür antenlerin tipik örnekleri arasında vivaldi, papyon, slot line papyon, boynuz ve mikroşerit antenler yer alır (Bourqui, Okoniewski, Fear, 2007).

2.3 Yönlendirici Antenler

Günümüzde Ultra Geniş Bant (UWB) uygulamalarına yönelik yönlü antenlere yönelik talepler artmaktadır. Yönlü antenler, Yarım Güç Işın Genişliğini (HPBW) optimize etmek, daha net bir şekilde, radyasyon desenini yakınsayarak radyasyon yoğunluğunu istenen yönde artırmak için kullanılır (Chen et al., 2005).

Radar sistemlerinde antenin HPBW'si radarın çözünürlüğünü tespit eden ana parametrelerinden birisidir, yani daha dar bir ışın kullanılarak daha ince detaylar çözülebilir. Yönlendirici antenlerin diğer avantajlarından biri de uzun mesafeleri kapsamak için HPBW'nin en aza indirilmesinin gerekli olmasıdır (Stutzman, Thiele, 1998)

Yönlendirici antenlerin farklı çeşitleri mevcuttur. Horn veya Vivaldi antenleri gibi antenin istenilen yönde büyük olması durumunda yönlülük elde edilebilir (Qing, Chen, 2004). Mikrodalga göğüs görüntüleme için, fiziksel özelliklerine ve radyasyon karakteristiğine bağlı olarak genellikle üç türden biri (dipol, slot veya monopol) olarak sınıflandırılabilen kompakt geniş bant yönlü antenlerin tasarlanması amacıyla birçok çaba gösterilmiştir (Agarwall ve diğerleri, 1998).

Diğer tiplerde anten, arkasında boşluk veya koruyucu düzlem içerir veya yönlülük elde etmek için emici malzemeleri kullanır. Ancak bu tür yaklaşımların kullanılması anten boyutunun artmasına ya da anten verimliliğinin azalmasına neden olduğu gibi üretim sürecinde de karmaşıklığa neden olmaktadır (Klemm, Kovcs, Pederson, Troster, 2005; Yarovoy, Pugliese, Zijderveld, Lightart, 2004).

Geleneksel slot antenleri benzeri diğer bazı yönlü antenler de sunulmaktadır ancak bir dezavantaj olarak sınırlı bir çalışma frekansı aralığına sahiptirler (Klemm ve diğerleri, 2005; Lu, Huang, Chattha, 2009), vivaldi tipi

antenler ise iyi bir bant genişliğine ve yönlü radyasyon modeline sahiptir (John, Ammann, McEyoy, 2008).

L şeklinde veya parabolik şekilli zemin düzlemine sahip baskılı disk tek kutuplu antenler de yönlü antenler olarak sunulmaktadır (Locatelli, Modotto, Pigazzo, Boscolo, Autizi, DeAngelis, Capobianco, Midrio, 2007; Mokhaari, Bornemann, 2008).

Radar tabanlı meme kanseri tespiti için 2-4 GHz'de çalışan kompakt papyon anten (Yun, Fear, Johnston, 2005), mikrodalga yakın alan görüntüleme için 3.4-9.6 GHz'de çalışan 50 ohm eş düzlemlilikli dalga kılavuzundan beslenen geniş bant tek kutuplu anten de sunulmaktadır (Jafari, Deen et al., 2007). Mikroşerit yönlendirici antenlerin özel türü olarak, L şeklinde veya parabolik şekilli yer düzlemine sahip baskılı disk tek kutuplu antenler, mikrodalga görüntüleme sisteminde kullanılmak üzere yönlü anten olarak tanıtılmıştır (Locatelli ve diğerleri, 2007; Mokhtaari, Bornemann, 2008; Kuo and Wong, 2001; Ray ve diğerleri, 2001).

Bir antenin performansını incelemek için antenin çeşitli parametrelerinin bilinmesi gerekir. Herhangi bir anten tipi alanında daha fazla çalışma yapılabilmesi için antenin radyasyon deseni, kazancı, yönlülüğü, yansıma katsayısı ve diğer parametrelerinin tanımlanması gerekmektedir.

Parametre tanımları aşağıdaki bölümde verilmiştir.

2.4 Radyasyon Modeli

Bir anten radyasyon modeli veya anten modeli, “uzay koordinatlarının bir fonksiyonu olarak antenin radyasyon karakteristiklerinin matematiksel bir fonksiyonu veya grafiksel bir temsili” olarak tanımlanır (Balanis, 2005).

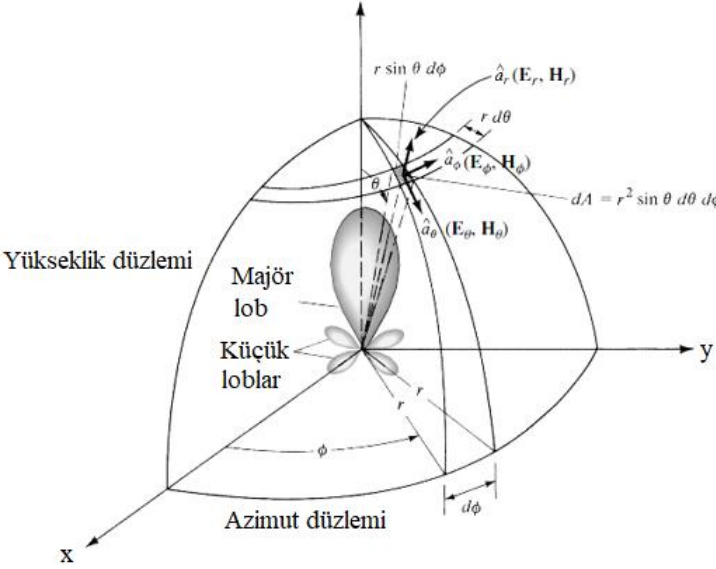
Bir antenin ışınım modeli uzak alan bölgesinde belirlenir ve aynı zamanda yön koordinatlarının bir fonksiyonu olarak da temsil edilir. Çoğu durumda radyasyon modeli, sabit yarıçaplı bir yüzeyin yanındaki gözlemcinin konumunun bir fonksiyonu olarak yayılan enerjinin iki veya üç boyutlu uzaysal dağılımıdır.

Uygun bir koordinat seti Şekil 1'de gösterilmektedir.

Güç modeli genellikle logaritmik ölçekte veya daha yaygın olarak desibel (dB) olarak çizilir. Bu ölçek genellikle tercih edilir çünkü logaritmik bir ölçek, modelin küçük loblar olarak adlandırılan çok düşük değerlere sahip

kisimlerini daha ayrıntılı olarak vurgulayabilir. Bir antenin radyasyon modelinin tam resmini elde etmek için E-düzlemi ve H-düzlemi modellerini ölçmeliyiz. E-düzlemi elektrik alanı (E-alanı) vektörünü ve maksimum radyasyonun yönünü içerir. Manyetik alan veya H-düzlemi E-düzlemine dik açıda uzanır ve manyetik alan (H-alanı) vektörünü ve maksimum radyasyonun yönünü içerir. Radyasyon deseni dağılımı, antenin kullanılacağı uygulamaya bağlıdır.

Örneğin, radar uygulamalarında yönlü antenlerin kullanılması tercih edilmektedir. Ayrıca uzun mesafeleri kapsamak için yönlü antenler de kullanılabilir (Stutzman and Thiele, 1998; Balanis, 2005; Cordeiro et al., 2011; Golezani, 2012).

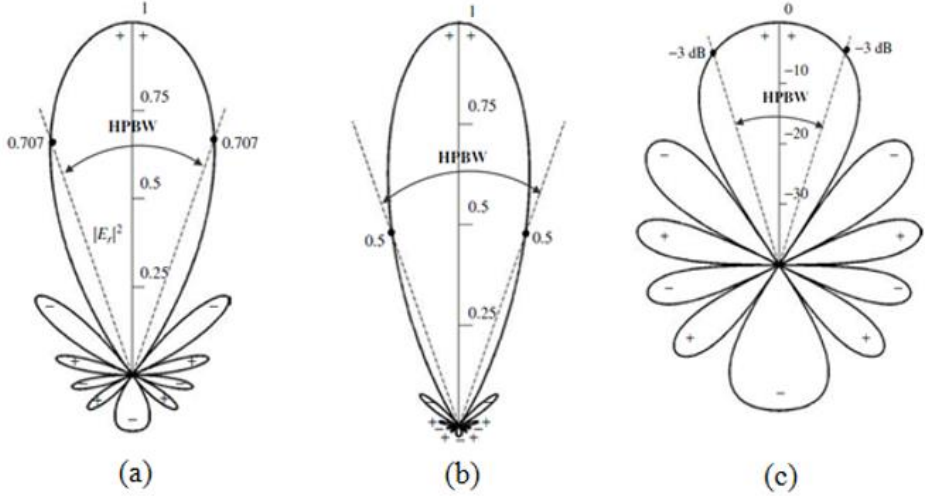


Şekil 1: Anten analizi için koordinat sistemi.

Bir anten için, doğrusal ölçekteki Alan deseni, açisal uzayın bir fonksiyonu olarak elektrik veya manyetik alanın büyüklüğünün bir grafiğini temsil eder. Doğrusal ölçekte güç modeli, açisal uzayın bir fonksiyonu olarak elektrik veya manyetik alanın büyüklüğünün karesinin bir grafiğini temsil eder.

Son olarak, güç modeli (dB cinsinden), açisal uzayın bir fonksiyonu olarak elektrik veya manyetik alanın büyüklüğünü desibel cinsinden temsil

eder. Arasında $d = 0,25\lambda$ aralık bulunan izotropik kaynakların 10 elemanlı doğrusal anten dizisinin iki boyutlu normalleştirilmiş alan modeli (doğrusal ölçek), güç modeli (doğrusal ölçekte çizilmiş) ve güç modeli (dB ölçeği) elemanları Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 2'de desenin maksimum değerine göre yarı gücüne ulaştığı noktalar maksimumunun 0,707 değerinde bir alan desenindedir (Golezani, 2012).



Şekil 2: İki boyutlu normalleştirilmiş (a) alan deseni (doğrusal ölçek), (b) güç modeli (doğrusal ölçek) ve (c) $d = 0,25\lambda$ aralıklı 10 elemanlı doğrusal dizinin güç modeli (dB cinsinden).

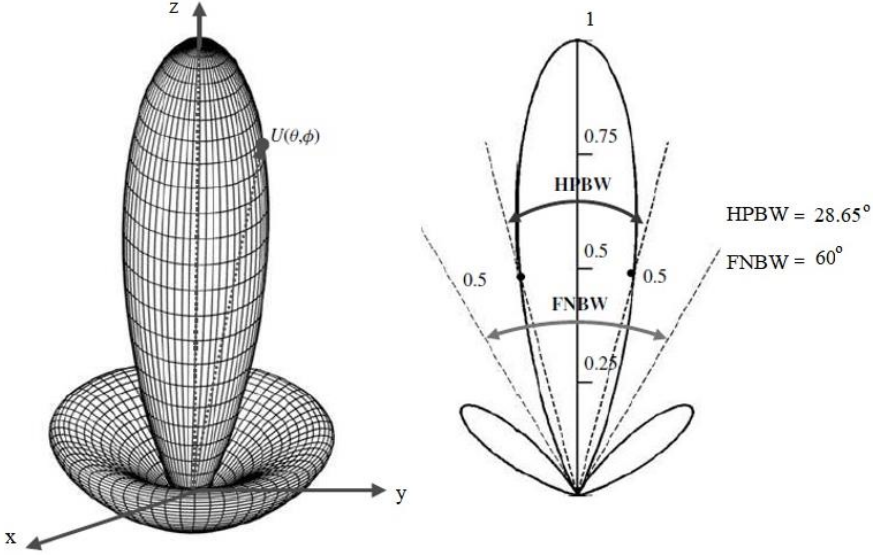
Şekil 2(a)'da gösterildiği gibi veya Şekil 2(b)'de gösterildiği gibi maksimumunun 0,5 değerindeki güç düzeninde (doğrusal ölçekte) veya Şekil 2(c)'de gösterildiği gibi maksimumunun -3 dB değerinde güç düzeninde (dB cinsinden). Her üç model de iki yarım güç noktası arasındaki aynı açısız ayırımı doğrulamaktadır.

2.5 Işın Genişliği

Bir modelin ışın genişliği, model maksimumunun karşı tarafındaki iki özdeş nokta arasındaki açısız ayırım olarak tanımlanır. Bir anten modelinde en yaygın kullanılan ışın genişliklerinden biri Yarı Güçlü Işın Genişliğidir (HPBW).

Bu, Şekil 2'de gösterilmektedir. HPBW, radyasyon yoğunluğunun ışının yarısı değerinde olduğu iki yön arasındaki açı olarak tanımlanır. Bir diğer önemli hüzmeye genişliği, modelin ilk sıfır değerleri arasındaki açısal ayırmadır ve buna ilk sıfır hüzmeye genişliği (FNBW) adı verilir.

Şekil 3'teki model için hem HPBW hem de FNBW gösterilmiştir.



Şekil 3: $U(\theta) = \cos^2(\theta) \cos^2(3\theta)$ 'nin üç (sol) ve iki (sağ) boyutlu güç modelleri (doğrusal ölçekte).

Bir antenin hüzmeye genişliği çok önemli bir değer göstergesidir ve çoğunlukla anten ile yan lob seviyesi arasında bir denge olarak kullanılır; yani ışın genişliği azaldıkça yan lob artar ve bunun tersi de geçerlidir. Ek olarak, antenin hüzmeye genişliği aynı zamanda antenin iki bitişik yayılan kaynağı veya radar hedefini ayırt etme yeteneğini tanımlamak için de kullanılır. Bir antenin iki kaynağı ayırt etme konusundaki çözünürlük kapasitesi, ilk sıfır ışın genişliğinin (FNBW/2) yarısına veya yarı güç ışın genişliğine (HPBW) eşittir. Yani, düzgün dağılıma sahip bir antenin $FNBW/2 \approx HPBW$ 'sine eşit veya daha büyük açısal mesafelerle ayrılmış iki kaynak çözülebilir.

2.6 Yönlülük

Antenin belirli bir yönündeki yönelimi, radyasyon yoğunluğunun tüm yönlerde ortalaması alınan radyasyon yoğunluğuna oranı olarak tanımlanır. Ortalama radyasyon yoğunluğu, antenin yaydığı toplam gücün 4π 'ye bölünmesine eşittir.

Daha basit olarak, izotropik olmayan bir kaynağın yönlülüğü, belirli bir yöndeki radyasyon yoğunluğunun izotropik bir kaynağınkine oranına eşittir (McDonald, 1978).

Matematiksel formda şu şekilde yazılabilir:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (1.1)$$

2.7 Kazanç

Anten kazancı, antenin verimliliğinin yanı sıra yön yeteneklerini de dikkate alan bir ölçüdür.

Bir antenin kazancı, belli bir yöndeki yoğunluğun, anten tarafından kabul edilen gücün izotropik olarak yayılması durumunda elde edilecek radyasyon yoğunluğuna oranı olarak tanımlanır.

İzotropik olarak yayılan güce karşılık gelen radyasyon yoğunluğu, anten tarafından kabul edilen (girilen) gücün 4π 'ye bölünmesine eşittir:

$$Gain = 4\pi \frac{\text{radiation intensity}}{\text{total input (accepted) power}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (\text{Dimensionless}) \quad (1.2)$$

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in} \quad (1.3)$$

Burada e_{cd} antenin radyasyon verimliliğidir (boyutsuz). Ayrıca kazanç yönlülükle şu şekilde ilişkilidir:

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} D(\theta, \phi) \quad (1.4)$$

2.8 Yansıma Katsayısı

Yansıma katsayısı (S11), bir antenin giriş iletim hattıyla ne kadar iyi eşleştiğini gösterir. Giriş iletim hattından boş alana sinyal geçişinin anten tarafından ne kadar iyi gerçekleştirildiğini belirleyen bir parametredir. Bu geçiş süreci sırasında gelen sinyalin %10 veya daha azı kaybolursa antenin yeterince eşleştiği söylenir.

Anten yansıtma katsayısının (S11) -10 dB veya daha az olduğu frekans aralığına antenin empedans bant genişliği denir. Bu bant genişliği üzerinde minimum güç yansıması ve maksimum radyasyonla çalıştırılabilir. Normalde yansıma katsayısı minimum seviyeye ulaştığında en düşük yansıma kaybı elde edilir (Şahin, Emek, Ibrahim, 2023). Diğer taraftan S11 ile bağlantılı olan S21 yani ekranlama etkinliği yada perdeleme etkinliği değeri gelen elektromanyetik dalganın malzemenen ne kadarının karşıya geçtiği ile alakalıdır (Şahin ve arkadaşları, 2023; Şahin, 2022).

2.9 Mikroşerit Antenler

İlk olarak 1953 yılında Deschamps tarafından önerilen Mikroşerit anten kavramı ortaya çıkmıştır. Ancak pratik antenler 1970'lerde Munson ve Howell tarafından geliştirildi.

MSA'ların avantajları göz önüne alındığında, kişisel ve mobil iletişim gereksinimlerinin artmasıyla birlikte daha küçük ve düşük profilli mikroşerit antenlere olan talep de arttı. Mikroşerit antenin en basit şekli, dielektrik alt tabakanın bir tarafında yayılan bir yama ve diğer tarafında bir toprak düzleminden oluşur.

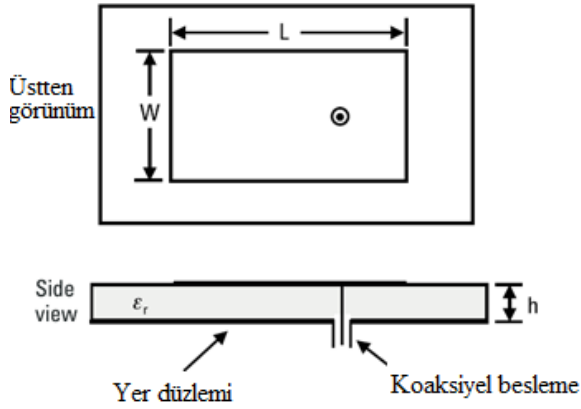
Dikdörtgen bir MSA'nın (RMSA) üstten ve yan görünüşleri Şekil 1.4'te gösterilmektedir. Ancak kare, dairesel, üçgen, yarım daire, sektörel ve halka şeklinde halka şekilleri gibi başka şekiller de kullanılmaktadır (Liang ve arkadaşları, 2005; Waterhouse, 1995).

MSA'dan gelen radyasyon, yamanın çevresi ile yer düzlemi arasındaki saçak alanlarından meydana gelebilir. Temel TM_{10} modu uyarımı için dikdörtgen yamanın L uzunluğu $\lambda/2$ 'den biraz daha küçüktür; burada λ , dielektrik ortamdaki dalga boyudur ve serbest uzay dalga boyu λ_0 cinsinden

$\lambda/\sqrt{\epsilon_r}$ olarak verilir, burada ϵ_r , W genişliğinde bir mikroşerit hattının etkin dielektrik sabitidir (Dey ve Mittra, 1996).

Mikroşerit antenlerin geleneksel mikrodalga antenlere göre birçok avantajı vardır. Mikroşerit antenlerin önemli ve dikkat çeken avantajları şu şekilde sıralanmaktadır:

- Hafiftirler ve küçük hacimli ve düşük profilli konfigürasyona sahiptirler.
- Konak yüzeyine uygun hale getirilebilir.



Şekil 4: MSA yapılandırması.

- Baskılı devre teknolojisini kullanarak seri üretim kolaylığı, düşük üretim maliyetine yol açar.
- Aynı alt tabaka üzerindeki diğer MIC'lerle entegre edilmeleri daha kolaydır.
- Hem doğrusal polarizasyona hem de CP'ye izin verirler.
- Çift ve üçlü frekans işlemlerine olanak sağlarlar.

Ayrıca mikroşerit antenlerinin geleneksel mikrodalga antenlerine göre bazı dezavantajları vardır.

Bunlar şunlardır:

- Dar Siyah Beyaz
- Daha düşük kazanç
- Düşük güç kullanma kapasitesi

MSA'lar dar BW'ye sahiptir ve bu, bu antenlerin yaygın olarak uygulanması için ana sınırlayıcı faktördür. MSA'ların BW'sinin artırılması bu alandaki araştırmaların en büyük itici gücü olmuştur. MSA'ların avantajları onları çok sayıda uygulama için uygun hale getirir. Füzelerdeki telemetri ve iletişim antenlerinin ince ve uyumlu olması gerekir ve genellikle MSA'lardır. Radar altimetreleri küçük mikroşerit radyatör dizileri kullanır. Ayrıca uydu iletişimi ve telefon da mikroşerit antenlerin diğer uygulamalarıdır. Mikroşerit diziler görüntüleme sistemleri için kullanılmaktadır (Liberti ve Rappaport, 1999).

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Momografi küçük meme lezyonlarının noninvaziv yöntemler sayesinde kanser tedavisini kolaylaştırmaktadır. Geleneksel cerrahiden başkaca yeni tedaviler taleplerin karşılanması için incelenmiştir. Meme kanseri tespitinde mikrodalga görüntüleme teknolojisi oldukça ilgi çekmiştir.

Meme kanseri tespit edilmesinde farklı yönlü anten türleri mevcuttur. Horn ya Vivaldi benzeri antenlerde, antenin boyutu istenen doğrultuda büyük olması durumunda direktivite elde edebilir, mikrodalga meme görüntüleme için fiziksel ve radyasyon özelliklerine göre ayrılan üç tip kompakt geniş bant yönlü antenler sunulmaktadır. Bundan ayrı olan diğer tipleri de, direktivite elde etmek için antende kavite ya da arkasında koruyucu yada yutucu malzeme kullanılmaktadır. Ancak bu gibi yaklaşımlar kullanıldığında anten boyutu veya antenin verim azalması benzeri üretim sürecinde komplikasyonlara neden olur. Bu çalışmamız modifiye tasarım için gerekli geniş bant üzerinden çalışabilen bir parabolik şeklinde yansıtıcı ground sayfalı yönlü monopol anten sunmaktadır, ground sayfasının antenin istenen yönsel özelliklerini elde etmek üzerinde etkisi vardır.

3.1 Mikrodalga Meme Kanseri Görüntülemeye Kullanıma Yönelik Geniş Bant Baskılı Monopole Anten

Şu anda, özellikle Ultra Geniş Bant (UWB) uygulamalarına yönelik, yönlü ve yüksek kazançlı antenlere yönelik artan talepler bulunmaktadır. Radarlar ve mikrodalga meme kanseri görüntüleme sistemleri, yönlendirici anten sistemlerinin gerekli olduğu başlıca örneklerdir. İlgi konusu olan uygulama, sağlıklı ve kötü huylu doku arasındaki dielektrik özelliklerdeki kontrastlardan yararlanan mikrodalga meme kanseri tespitidir (Chan ve diğerleri, 2005).

Yönlü antenler, yarım güç ışın genişliğini (HPBW) optimize etmek, daha açık bir şekilde, radyasyon desenini yakınsayarak radyasyon yoğunluğunu tercih edilen bir yönde artırmak için kullanılır. Radarlarda antenin HPBW'si, radarın çözünürlüğünü belirleyen ana parametrelerden biridir; daha ince ayrıntılar daha dar bir ışın kullanılarak çözülebilir.

Mikrodalga göğüs görüntüleme için kompakt geniş bant antenlerin tasarlanması amacıyla birçok çaba sarf edilmiştir. Bu antenler genellikle fiziksel özelliklerine ve ışınım özelliklerine göre üç tipten (dipol, slot veya monopollü) biri olarak sınıflandırılabilir.

Radar Tabanlı Mikrodalga meme kanseri görüntüleme sistemlerinin önemli bir bileşeni, ultra geniş bant darbelerini yaymak ve almak için kullanılan antendir (Fear, Hagness, Meaney ve arkadaşları, 2002; Agarwall ve arkadaşları, 1998; Chan ve arkadaşları, 2005).

Yani anten tasarımı için gereksinimler aşağıdaki şekildedir:

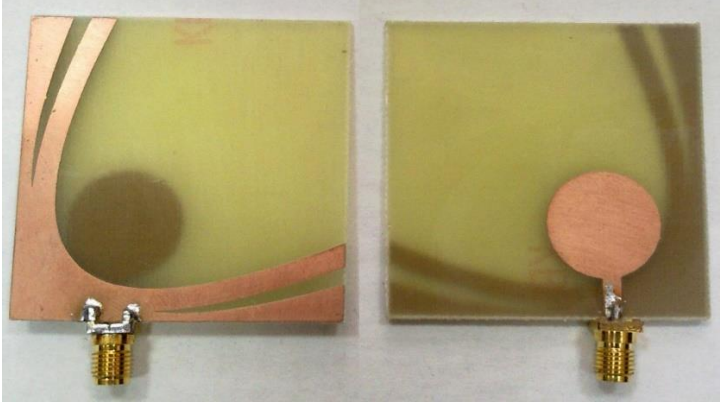
- Kısa darbeleri iletmek için ultra geniş bantlı bir sinyal yayın.
- Seçici olarak aydınlatmak ve taramaya izin vermek için boyutu birkaç santimetre civarındadır.
- Her antenin görüş alanının çok geniş olması durumunda ortaya çıkan saçıcıların bulaşmasını önlemek için optimum yarım güçlü yakın alan ışın genişliği.
- Tüm bant genişliği boyunca iyi empedans uyumu. Bu, enerjinin çoğunun iletilmesini sağlar.

Parabolik şekilli veya L şeklinde bir yer düzlemine sahip yönlü tek kutuplu antenler, mikrodalga görüntüleme sisteminde kullanılmak üzere iyi bir yön özelliklerine, bant genişliğine ve ayrıca uygun bir boyuta sahiptir (Golezani et al., 2012).

Bu bölümde parabolik şekilli yer düzlemine sahip anten kısaca anlatılmaktadır. Bu tasarımın amacı, yakın alan yüzeye yakın görüntüleme uygulamalarında kullanılmak üzere, 4 GHz ile 9 GHz arasında empedans bant genişliğine sahip, istenen bant genişliği boyunca oldukça yönlü bir radyasyon desenine sahip bir anten önermektir. Antenin bir prototipi Şekil 5'te gösterilmektedir.

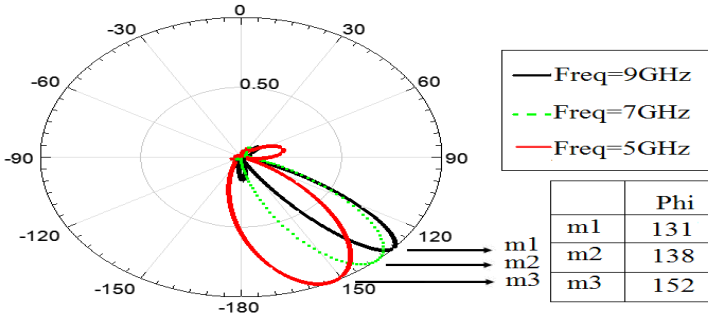
Tercih edilen bant genişliğindeki kazanç ile antenin boyutu arasında bir denge sağlamak amacıyla, dielektrik sabitinin $\epsilon_r=4.4$ olduğu 50 mm

boyutunda kare FR4 alt tabaka üzerinde tasarlanmıştır. Dielektrik (d) ve iletken katmanların kalınlıkları sırasıyla 1,6 mm ve 35 μm 'dir (Golezani, Abbak, Akduman, 2012).



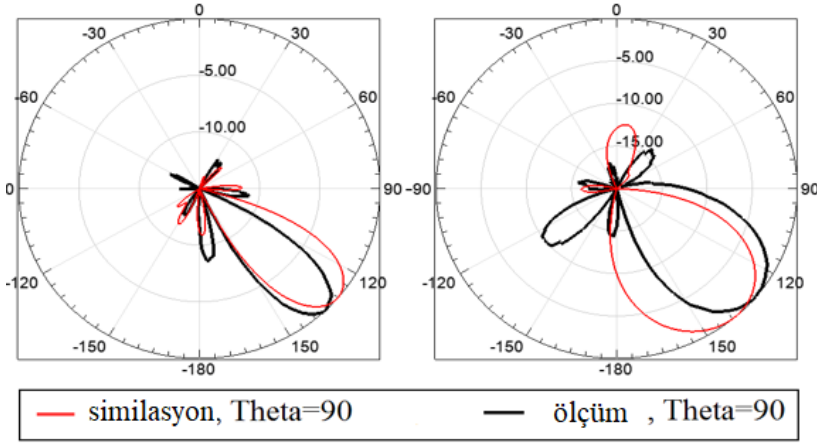
Şekil 5: Fabrikasyon anteni.

Antenin radyasyon modelinin yönü, 5-9 GHz arasında $\text{Phi}=131^\circ$ ve $\text{Phi}=152^\circ$ arasında hareket eder (Şekil 6), bu, anten ışınının frekansa karşı iyi bir stabilitesini doğrular; bu, görüntüleme uygulamalarında kullanım için bir avantajdır (Golezani, 2012).



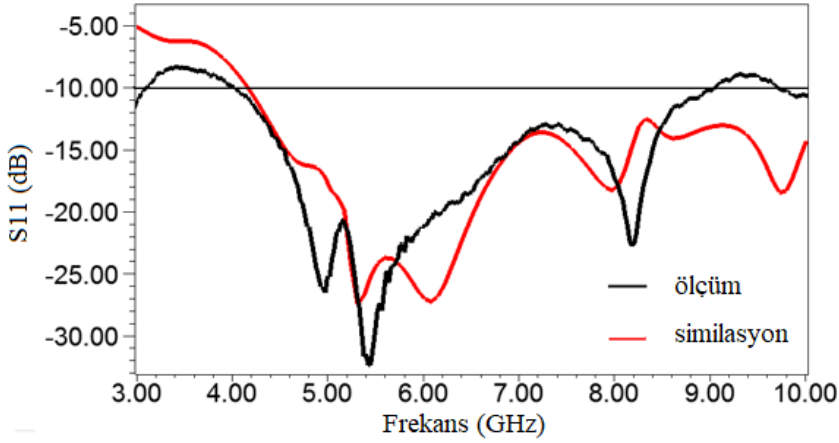
Şekil 6: Antenin radyasyon modeli (doğrusal ölçekte). m1, m2 ve m3 sırasıyla 9,7 ve 5 GHz frekanslarında maksimum kazancın yönüdür.

Şekil 7, antenin simüle edilmiş ve ölçülen ışınını iki frekansta göstermektedir.



Şekil 7: Logaritmik ölçekte frekans= 8,5 GHz (solda) ve frekans=6 GHz (sağda) simüle edilmiş ve ölçülen anten huzmesi.

6 GHz frekansında ölçülen HPBW 41°'dir ve simüle edilmiş HPBW 44°'dir, ayrıca 8.5GHz frekansı için HPBW, 26° olan simüle edilmiş HPBW'ye kıyasla 23° elde edilir. Son olarak simüle edilmiş ve ölçülen yansımaya katsayısı Şekil 8'de gösterilmektedir;



Şekil 8: Simüle edilmiş ve ölçülen yansımaya katsayısı.

Bu, tercih edilen bant genişliğindeki antenin iyi karakteristiğini doğrular (Golezani, 2012).

Boyut, yönlülük ve iyi bir yansımaya katsayısı, mikrodalga meme kanseri görüntüleme sistemi gibi yakın alan yakın yüzey ölçüm

uygulamalarında kullanılmak üzere anten tasarımı gereksinimlerinin en önemli özellikleridir.

Parabolik şekilli veya L şeklinde yer düzlemine sahip yönlü tek kutuplu antenler, mikrodalga görüntüleme sisteminde kullanılmak üzere iyi yönsel özelliklere, bant genişliğine ve ayrıca uygun boyuta sahiptir. Bu antenin minyatür boyutu ve kabul edilebilir yön özelliği, mikrodalga görüntüleme sistemlerinde ve radar uygulamalarında kullanılmasını mümkün kılar (Golezani, 2012).

TEŞEKKÜR

2012 yılındaki destekleri için, İstanbul Teknik Üniversitesinden Prof. Dr. İbrahim AKDUMAN hocama teşekkür ederim, bu çalışma yüksek lisans tezinden Türkçe diline çevrilerek elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Agarwall, N. P., Kumar, G. and Ray, K. P. (1998). Wide-band planar monopole antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 46(2), 294–295.
- Balanis, C. A. (2005). *Antenna Theory Analysis and Design* (3rd ed.). Wiley-Interscience.
- Bourqui, J., Okoniewski, M., and Fear, E. C. (2007). Balanced antipodal vivaldi antenna for breast cancer detection. *2nd European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2007)*. 1 – 5.
- Chan, K. C. L., Huang, Y., Zhu, X. (2005). A planar elliptical monopole antenna for UWB applications. *IEEE/ACES International Conference on Wireless Communications and Applied Computational Electromagnetics*, Honolulu, HI USA, 182-185.
- Chen, X., Liang, J., Li, P., Guo, L., Chiau, C. C., Parini, C. G. (2005). Planar UWB monopole antennas. *2005 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*, Suzhou, China, 4.
- Cordeiro, C. de M., Agrawal, D. P. (2011). *Ad Hoc and Sensor Networks-Theory and Applications* (2nd ed.). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Dey, S. and Mittra, R. (1996). Compact microstrip patch antenna. *Microwave and Optical Technology Letters*. 13, 12–14.
- Fear, E. C., Hagness, S. C., Meaney, P. M., Okoniewski, M. and Stuchly, M. A. (2002). Enhancing breast tumor detection with near-field imaging. *IEEE Microwave Magazine*, 3(1), 48–56.
- Fear, E. C. Li, X., Hagness, S. C. and Stuchly, M. A. (2002). Confocal microwave imaging for breast cancer detection: localization of tumors in three dimensions, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 49(8), 812–822.
- Golezani, J. J. (2012). *Directional Wide Band Printed Monopole Antenna for Use in Microwave Breast Cancer Imaging*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, İstanbul-Türkiye.
- Golezani, J. J., Abbak, M. and Akduman, I. (2012). Modified directional wide band printed monopole antenna for use in radar and microwave imaging applications. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 33, 119-129.
- Golezani, J. J., Parker, S. and Balanis, C. A. (2017). Compact expression for the directivity of binomial array with no restriction in element

- spacing. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 653-656.
- Jafari, H. M., Deen, M. J., Hranilovic, S. and Nikolova, N. K. (2007). A study of ultrawideband antennas for near-field imaging. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 55(4), 1184-1188.
- John, M., Ammann, M. J., McEvoy, P. (2008). UWB Vivaldi antenna based on a spline geometry with frequency band-notch. *2008 Antennas and Propagations Society International Symposium*, San Diego, CA, USA, 1-4.
- Klemm, M., Kovcs, I. Z., Pederson, G. F., and Troster, G. (2005). Novel small-size directional antenna for UWB WBAN/WPAN application. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 53(12), 3884-3896.
- Kumar, G., Ray, K. P. (2003). Broadband microstrip antennas. *Artech House antennas and propagation library*. ARTECH HOUSE, INC. 685 Canton Street Norwood, MA 02062.
- Kuo, J. S. and Wong, K. L. (2001). A compact microstrip antenna with meandering slots in the ground plane. *Microwave and Optical Technology Letters*, 29, 95-97.
- Kurrant, D. J., Fear, E. C., and Westwick, D. T. (2008). Tumor response estimation in radar-based microwave breast cancer detection. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 55(12), 2801-2811.
- Liang, J. X., Chiau, C. C., Chen, X., Parini, C. G. (2005). Study of a printed circular disk monopole antenna for UWB systems. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 53(11), 3500-3504.
- Liberti, J. C. and Rappaport, T. S. (1999). *Smart antennas for wireless communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Locatelli, A., Modotto, D., Pigazzo, F. M., Boscolo, S., Autizi, E., DeAngelis, C., Capobianco, A.-D. and Midrio, M. (2007). Highly directional planar ultra wide band antennas for radar application. *2007 European Microwave Conference*, Munich, Germany, 1421-1424.
- Lu, Y., Huang, Y. and Chattha, H. T. (2009). Size reduction of a wideband slot antenna. *2009 3rd European Conference on Antennas and Propagation*, 1455-1458.
- McDonald, N. (1978). Approximate relationship between directivity and beamwidth for broadside collinear arrays, *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, 26(2), 340-341.

- Mokhtaari, M., Bornemann, J. (2008). Directional ultra-wideband antennas in planar technologies. *2008 38th European Microwave Conference*, Amsterdam, Netherlands, 885-888.
- Nilavalan, R., Craddock, I. J., Preece, A., Leendertz, J., and Benjamin, R. (2007). Wideband microstrip patch antenna design for breast cancer tumour detection. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 1(2), 277-281.
- Qing, X., Chen, Z. N. (2004). Antipodal Vivaldi antenna for UWB applications. *EUROEM 2004 Conf.*, Magdeburg, Germany, 12-16.
- Ray, K. P., et al (2001). Broadband planar rectangular monopole antennas. *Microwave and Optical Technology Letters*, 28(1), 55-59.
- Shannon, C. J., Okoniewski, M., and Fear, E. C. (2003). A dielectric filled ultra-wideband antenna for breast cancer detection. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Columbus, OH, USA*, 218-221.
- Stutzman, W.L. and Thiele. G.A. (1998). *Antenna Theory and Design* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Şahin E. İ. (2022). Microwave electromagnetic shielding effectiveness of ZnNb₂O₆-chopped strands composites for radar and wideband (6.5-18 GHz) applications. *Lithuanian Journal of Physics*, 62(3), 161-170.
- Şahin, E. İ., Emek, M., Ibrahim, J. E. F. M. (2023). *Instrumental measurements laboratory* (1st ed.). Iksad Publishing House.
- Şahin, E.İ., Emek, M., Ibrahim, J.E.F.M. et al. (2023). Shielding effectiveness performance of polyaniline-NiFe₂O₄:Cu composites for sub-8 GHz applications. *Optical and Quantum Electronics*, 55, 500.
- Waterhouse, R. (1995). Small microstrip patch antenna. *Electron Letters*, 31, 604-605.
- Wong, K. L. (2008). *Compact and broadband microstrip antennas*. John Wiley & Sons, Inc.
- Yarovoy, A. G., Pugliese, R., Zijderveld, J. H. and Ligthart. L. P. (2004). Antenna development for UWB impulse radio. *34th European Microwave Conference*, Amsterdam, Netherlands, 1257-1260.
- Yun, X., Fear, E. C. and Johnston, R. H. (2005). Compact antenna for radar-based breast cancer detection. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 53(8), 2374-2380.

BÖLÜM 10

KROM KAPLAMA TEKNOLOJİSİ VE ANALİTİK İNCELEMELERİ

Prof. Dr. Ramazan KATIRCI¹
Arş. Gör. Taha OĞUZ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8417502>

¹ Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye.
ramazankatirci@sivas.edu.tr. ORCID ID: 0000-0003-2448-011X

² Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye.
taha.oguz@sivas.edu.tr. ORCID ID: 0000-0003-4447-645X

1.GİRİŞ

Krom kaplama, endüstriyel süreçlerin en kritik alanlarından biri haline gelmiştir. 20. yüzyılın başlarından bu yana kullanılan bu elektrokimyasal işlem, aslında metalürji ve malzeme bilimiyle iç içedir (Mandich ve Snyder, 2000). Kaplama teknolojileri arasında öne çıkan krom kaplama, yalnızca estetik bir amaçla değil, aynı zamanda metal ürünlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirmek amacıyla da tercih edilmektedir (Fotovvati vd., 2019).

Metal endüstrisi, tarih boyunca metallerin özelliklerini geliştirme konusunda sürekli yenilik arayışı içerisinde olmuştur (Baral ve Engelken, 2002a). Geleneksel döküm, dövme ve kaynak tekniklerine ek olarak, metallerin yüzeylerinin kaplanması da bu yenilikler arasında yer almaktadır (Katırcı, 2015). Krom kaplama teknolojisi, bu alanda karşımıza çıkan en etkili yöntemlerden biridir (Baral ve Engelken, 2002a).

Pirinç, bronz ve diğer alaşımlar, tarih boyunca değerli metaller olarak kabul edilmiştir (Oğuz ve Katırcı, 2023). Ancak bu metaller, atmosferik şartlar ve mekanik aşındırmalara karşı doğal olarak dayanıklı olmadığından, koruyucu bir yüzey işlemine ihtiyaç duyarlar (M.Schlesinger ve M.Paunovic, 2000). Krom kaplama, bu metalleri korozyona, oksidasyona ve aşındırmaya karşı koruma altına alarak, ömürlerini uzatır (Katırcı ve Takcı, 2021) (Gray ve Luan, 2002).

Krom, doğada bol miktarda bulunan bir element olup, metal kaplama sanayiinde yaygın olarak kullanılan bir madde haline gelmiştir (Barnhart, 1997; Nriagu ve Nieboer, 1988). Ancak krom kaplama, yalnızca krom elementini elektrolitik bir çözelti içerisinde çözerek metal yüzeyine indirgeme işlemi değildir (Mordechay Schlesinger, 2011). Bu süreç, karmaşık kimyasal reaksiyonları ve hassas sıcaklık, akım ve karıştırma gibi birçok parametre içermektedir (Tsuda vd., 2017).

Günümüzde, otomotivden elektroniğe, havacılıktan inşaata kadar birçok sektörde krom kaplama teknolojisi tercih edilmektedir (Schopphoven vd., 2016; Tenório ve Espinosa, 2001). Kaplamalı metaller, parlaklık, sertlik ve korozyon direnci gibi özellikleriyle hem estetik hem de fonksiyonel avantajlar sunar (Roy ve Bose, 2020).

Krom kaplama krom III veya krom VI iyonları içeren kaplama banyolarından elde edilebilir (Katırcı ve Altınsarı, 2020). Krom VI banyoları,

uzun yıllar boyunca sektör standardı olarak kabul edilmiştir ve genellikle daha parlak, daha sert kaplamalar üretir. Ancak, krom VI'nın toksik doğası ve kanserojen etkisi, işçi sağlığı ve çevresel endişeler doğurmuştur (Baral ve Engelken, 2002b; Saravanan ve Mohan, 2009). Uzun süreli maruz kalma durumunda solunum yolları, göz, deri ve iç organlara ciddi zararlar verebilir. Öte yandan, krom III banyoları, son yıllarda daha çevre dostu ve işçi sağlığına daha az zararlı bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (Ramazan Katrc, 2016; Ramazan Katrc vd., 2021) .

Krom III, biyolojik olarak daha az aktiftir ve bu nedenle krom VI'ya kıyasla daha az toksiktir. Ancak, krom III kaplamalarının estetik ve mekanik özellikleri, krom VI kaplamalarına göre bazen daha düşük olabilir (Katirci, 2015). Bu nedenle, endüstri, hem performans hem de güvenlik standartlarını karşılamak için yeni teknolojiler ve formülasyonlar geliştirmeye devam etmektedir (Sunderman, 2001).

Bu bölümde, krom III kaplama teknolojisinin nasıl çalıştığına, hangi avantajları sağladığına ve bu konudaki en son araştırma ve geliştirmelere nasıl katkıda bulunduğuna dair bilgilere derinlemesine bir bakış sunmaktayız. Bu süreçte, krom kaplamanın tarihçesi, kimyası, uygulamaları ve endüstride nasıl bir devrim yarattığına dair ayrıntılara da değinilecektir.

2. KROM KAPLAMA TEKNOLOJİSİ VE ANALİTİK İNCELEMELERİ

Krom kaplama teknolojisi, metal yüzeylerine krom tabakası kaplamak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, metalin mekanik, kimyasal ve estetik özelliklerini iyileştirmek için önemli bir uygulamadır. Krom kaplama, elektrolitik bir çözelti içinde, katot olarak kullanılan metalin yüzeyine krom iyonlarının indirgenerek metalik krom formunda birikmesiyle oluşur. Krom kaplamanın kalitesi ve özellikleri, işlem parametreleri ve kullanılan kimyasal bileşenlere bağlıdır.

2.1. Krom Kaplama Nedir?

Krom kaplama, bir metalin yüzeyine elektroliz yöntemiyle krom tabakası eklenmesi işlemidir (Katirci ve Altınsarı, 2020). Elektrolitik bir çözelti içinde, katot olarak kullanılan metalin yüzeyine krom iyonlarının indirgenerek metalik krom formunda birikmesiyle gerçekleşir. Bu kaplama, metalin özelliklerini korumak, ona estetik bir görünüm kazandırmak,

sürtünmeyi azaltmak ve korozyona karşı direnç kazandırmak amacıyla kullanılır (Dennis ve Such, 1993).

Elektrolitik krom kaplama işlemi, belirli bir akım yoğunluğunda, belirli bir süre boyunca gerçekleştirilen elektrokimyasal bir işlemdir. Özellikle pirinç üzerine $5A/dm^2$ şiddetinde 5 dakika süreyle gerçekleştirilen krom kaplama, bu metali dış etkenlere karşı daha dirençli kılar. Aynı zamanda, krom kaplama işlemi sırasında kullanılan kimyasal bileşenler, kaplamanın kalitesini ve özelliklerini doğrudan etkiler.

2.2. Krom kaplama banyosunun kimyasal içeriği

Krom III banyoları genel olarak krom III iyonları (A), sakarin (B), borik asit (H_3BO_3), sodyum sülfat (Na_2SO_4) malonik asit (C), glisin (D) ve borik asit gibi kimyasalları içermektedir. Katırcı ve ekibi krom III kaplama banyosunda kullanılan kimyasalların, kaplamanın fiziksel özelliklerine nasıl etki ettiğini belirlemek için bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmanın özeti aşağıda sunulmuştur (Katirci, 2015).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

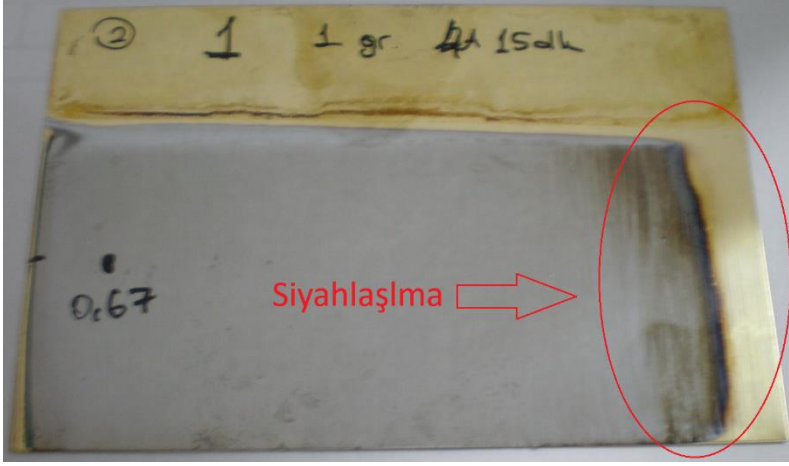
Krom III kaplama 2 amper 5 dakika $55^\circ C$ de gerçekleştirilmiştir. Anot olarak IrO_2/Ti tipi anot, kaplama hücresi olarak Hull hücresi, kaplama malzemesi olarak pirinç kullanılmıştır. Katot yüzeyi $1 dm^2$ dir. Deneysel çalışmalarda iki seviyeli L16 kesirli deneysel tasarım metodu kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, A kimyasalının %10'luk krom sülfat, B kimyasalının % 50'lik sakarin, E kimyasalının ise % 10'luk EDTA çözeltisi kullanılmıştır (Katirci, 2015).

3.1. Krom III Kaplama Kalite Analizi

Krom III kaplama çözeltilerinden elde edilen kaplamaların kalitesini istatistiksel olarak değerlendirmek için, siyahlaşma, örtme gücü, kalınlık ve kalınlık dağılımı, kalite değişkenleri olarak belirlenmiştir.

3.1.1. Siyahlaşma

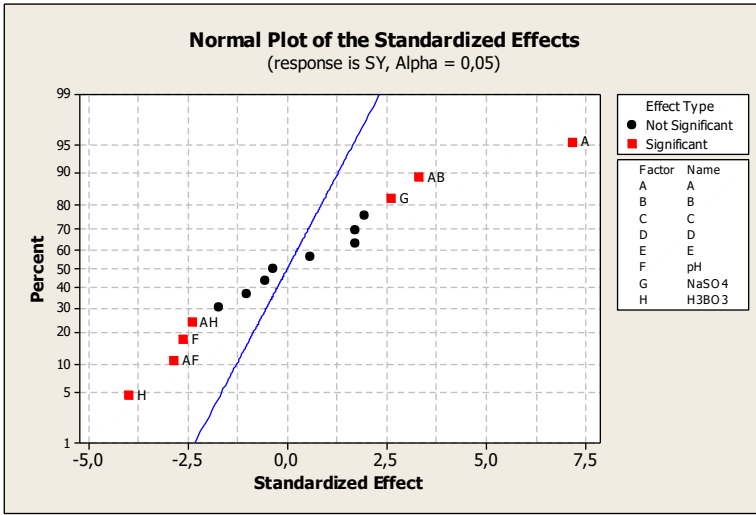
Krom III kaplama banyosundan elde edilen kaplamaların yüksek akım yoğunluğundan düşük akım yoğunluğuna doğru kaplamanın bittiği noktada siyahlaşma meydana gelmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Kaplamalarda meydana gelen siyahlaşma örneği.

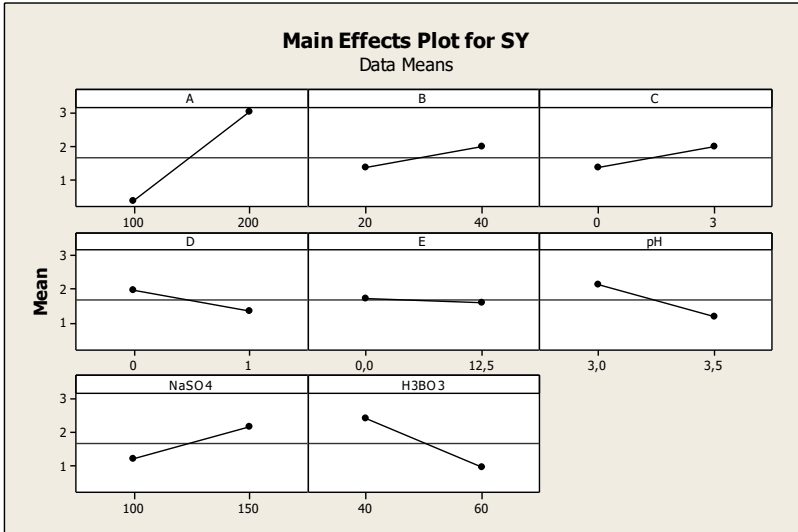
L16 deney deseni oluşturularak siyahlaşmaya etki eden kimyasallar ve oranları araştırılmıştır. Siyahlaşmanın miktarı herhangi bir cihazla kantitatif olarak tespit edilemediğinden gözlemsel olarak siyahlaşma miktarı birbirine göre kıyaslanarak oranlanmıştır. Kaplama yüzeyindeki siyahlaşma miktarı, 0 ila 10 arasında puanlanmıştır. 0 değeri siyahlaşmanın hiç olmadığını 10 ise en yüksek siyahlaşma olan kaplanmış plakayı ifade etmektedir.

Şekil 2 de görüldüğü gibi hangi faktörün ne yöne doğru etki ettiği ve kuvveti hakkında bilgi vermektedir. A (krom metali) ve G (Sodyum Sülfat) kimyasalları siyahlaşmayı artırıcı yönde; H (Borik Asit) ve F (pH) faktörleri ise siyahlaşmayı azaltıcı yönde etki etmektedir. Ayrıca AB, AH, AF kombinasyonları birbiriyle etkileşim halindedir. B malzemesi varlığında A malzemesinin siyahlaşmayı artırıcı etkisi azalmaktadır. H ve F kimyasalı varlığında ise A malzemesinin siyahlaşmayı azaltıcı etkisi gözlenmektedir.



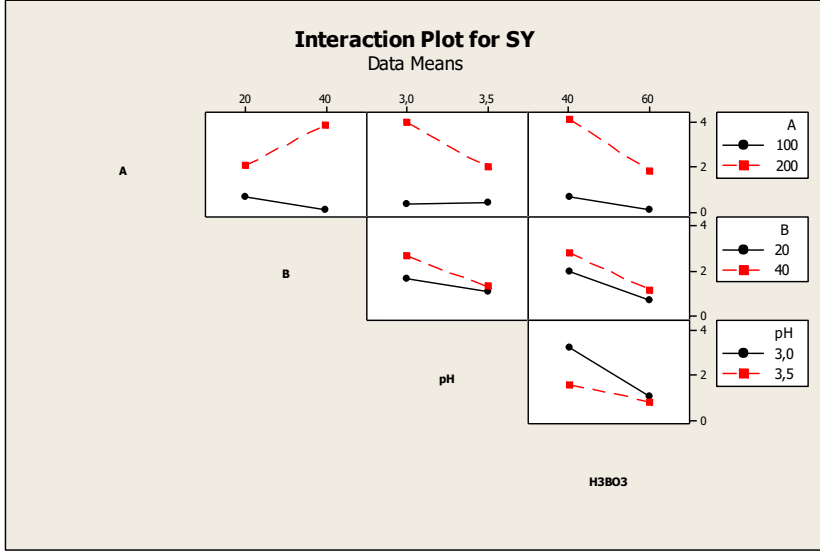
Şekil 2: Faktörlerin siyahlaşma üzerindeki etkileri.

Şekil 3'ü incelediğimizde A faktörü en fazla siyahlığı artıran kimyasalıdır. Siyahlaşmayı en fazla azaltan kimyasal ise H'dir. B kimyasalı A malzemesinin siyahlaştırma etkinliğini azaltmaktadır. A malzemesi B malzemesinin varlığında kullanılmalıdır.



Şekil 3: Faktörlerin miktarının siyahlaşma üzerindeki etkileri.

Şekil 4'dü incelediğimizde A malzemesi 100 mL/L düzeyinde tutulduğunda B, pH, ve H₃BO₃ değişimlerine karşı daha az duyarlıdır. A'nın daha yüksek değerlerinde yüzeyde siyahlaşmayı artırıcı etkisi artmaktadır. B malzemesi siyahlaşmayı az miktarda azaltıcı etkisi vardır. Ancak diğer parametrelerle etkileşimi düşüktür. pH'ı 3,5'te tutmak daha düşük siyahlık oluşmasına sebep olmaktadır. Şekil 2, 3, 4 grafiklerini incelediğimizde en düşük siyahlık için Tablo 1'deki optimum değerler elde edilmiştir.



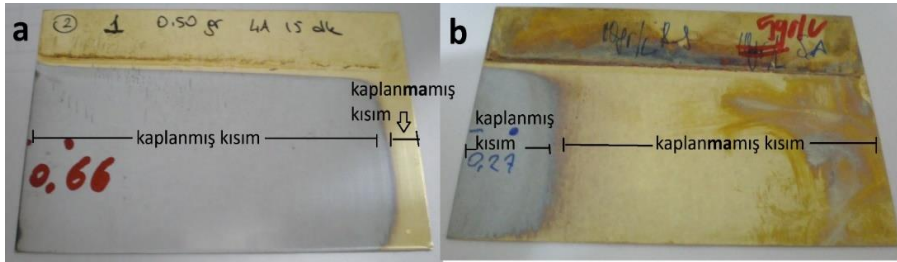
Şekil 4: Faktörlerin etkileşimlerinin siyahlık üzerindeki etkisi.

Tablo 1: En düşük siyahlık için optimum değerler

KİMYASAL	MİKTAR
A	100 mL/L
B	20 mL/L
C	-
D	1 gr/L
E	12.5 mL/L
pH	3,5
Na ₂ SO ₄	100 gr/L
H ₃ BO ₃	60 gr/L

3.1.2. Örtme gücü

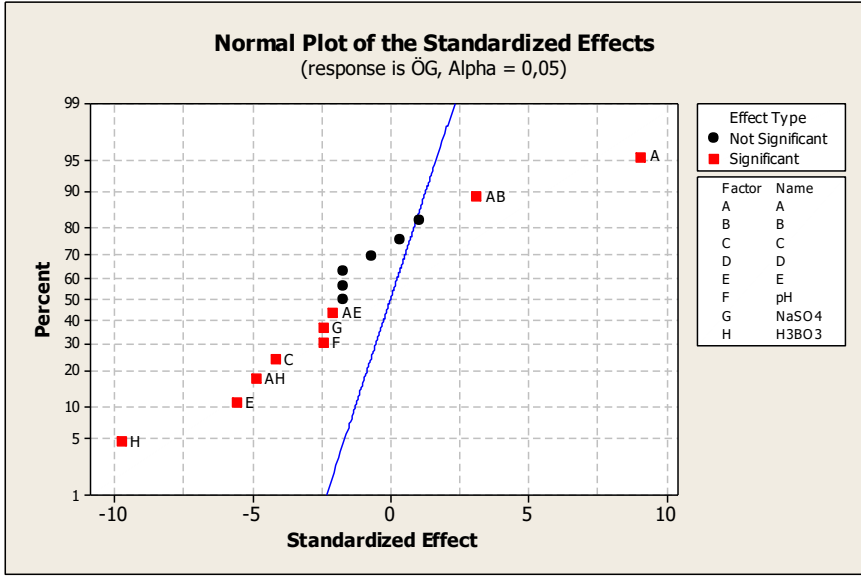
Standart bir pirinç plakaya uygulanan krom kaplamada, kaplamanın homojen olmadığı gözlemlenmektedir. Kaplama kalınlığı yüksek akım yoğunluğu bölgesinden düşük akım yoğunluğu bölgesine doğru azalmaktadır. Daha düşük akım yoğunluğu olan bölgelere doğru yaklaşıldıkça, kaplama daha ince hale gelmektedir. Bu nedenle, düşük akım yoğunluğu bölgesine doğru yaklaşıldığında yaklaşık 1 ila 5 cm arasında kaplanmamış bir bölge ortaya çıkmaktadır. Şekil 5a, iyi bir kaplama miktarını (kaplanmamış kısmın yaklaşık 1 cm olduğunu) gösterirken, Şekil 5b ise kötü bir kaplama miktarını (kaplanmamış kısmın yaklaşık 7,5 cm olduğunu) örneklemektedir.



Şekil 5: a, örtme gücü yüksek b, örtme gücü düşük plaka örneği.

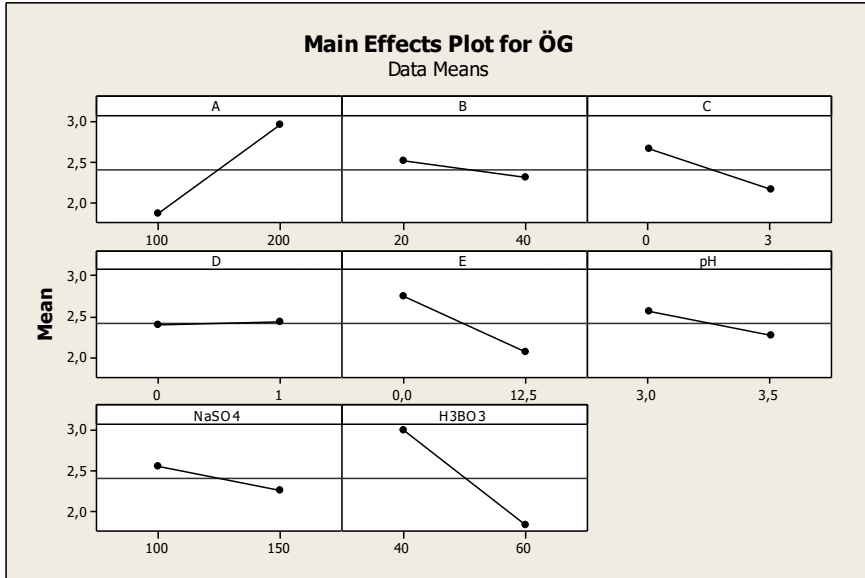
Kaplama almayan bu bölgeler cetvel yardımıyla ölçülmüş ve kaliteyi değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu bağlamda, istatistiksel olarak en düşük değer en iyi kaliteyi, en yüksek değer ise en kötü kaliteyi temsil etmektedir. Değerlendirme ölçütü, kaplanmamış bölgenin cetvelle ölçülen miktarıdır ve birim olarak santimetre (cm) kullanılmaktadır.

A malzemesi kaplamanın örtme gücünü azaltıcı yönde H, E, C, G, F malzemeleri ise örtme gücünü artırıcı yönde etki göstermektedir (Şekil 6). Grafikten A malzemesi örtme gücünü sayısal olarak yükseltmiş gibi görülmekle beraber kalite değişkeni en düşük en iyi olarak belirlendiği için örtme gücünü azaltıcı etki gösterdiği anlaşılmalıdır. B kimyasalı varlığında A malzemesinin örtme gücünü azaltıcı yöndeki etkisi önemli ölçüde düşmektedir.



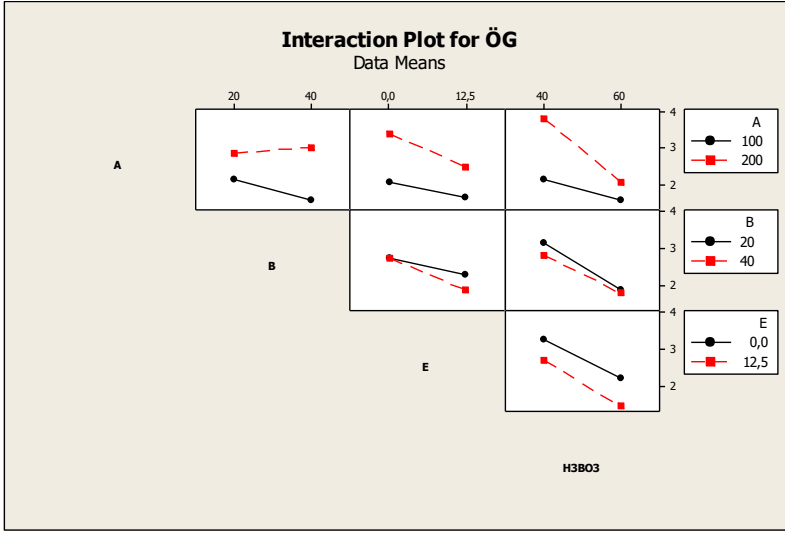
Şekil 6: Malzemelerin (A, B, H, E,C,G,F) ve ikili etkileşimlerinin örtme gücü üzerindeki etkileri.

Örtme gücünü en fazla düşüren A malzemesidir. Örtme gücünü en fazla artıran kimyasal H₃BO₃ kimyasalıdır. D malzemesinin örtme gücüne hiç etki etmediği gözlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7: Malzeme miktarlarının örtme gücü üzerindeki etkileri.

A malzemesi 100 mL/L de örtme gücü en iyi seviyededir. E malzemesi miktarı 12,5 mL/L ilave edildiğın H₃BO₃ varlığında örtme gücünü iyileştirmektedir. Etkileşim ve faktör grafikleri (Şekil 6, 7, 8) incelendiğinde en iyi örtme gücüne sahip krom III formülü Tablo 2 de verilmiştir.



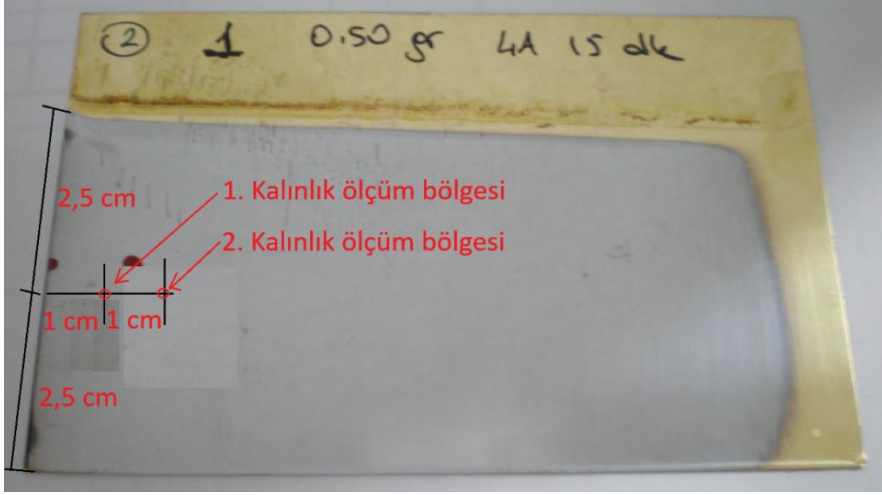
Şekil 8: Malzemelerin etkileşimlerinin örtme gücü üzerindeki etkileri.

Tablo 2: En iyi örtme gücüne sahip krom III formülü

KİMYASAL	MİKTAR
A	100 mL/L
B	20 mL/L
C	3 mL/L
D	-
E	12.5 mL/L
pH	3,5
Na ₂ SO ₄	150 gr/L
H ₃ BO ₃	60 gr/L

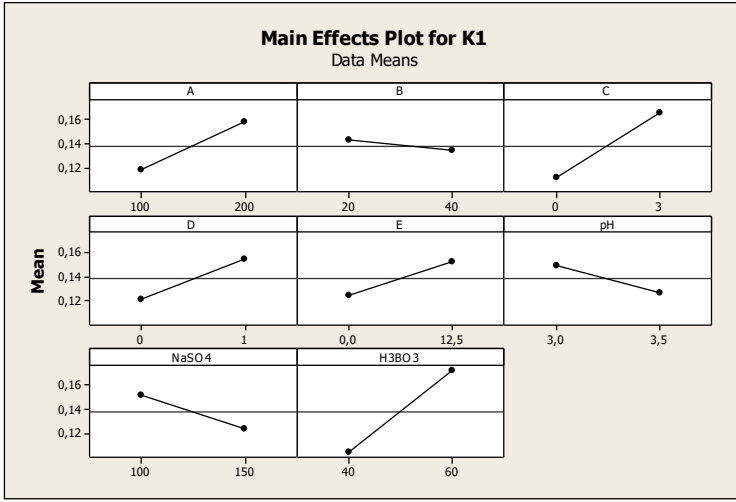
3.1.3. Kalınlık ve kalınlık dağılımı

Kaplama yapılan plakanın kaplanmış yüzeyinin kalınlık değeri Şekil 9 da gösterildiği gibi ölçülmüştür. Sol taraftan 1 cm içeri ve alttan 2,5 cm yukarı olacak şekilde 1.bölge kalınlık ölçüm yeri belirlenmiştir. 2. bölge ölçüm yeri ise sol taraftan 2 cm, alttan 2,5 cm olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 9). 1. bölge kalınlık değerinden 2. bölge kalınlık değeri çıkarıldığında elde edilen değer kalınlık dağılımı olarak ifade edilmiştir.



Şekil 9: Plakalarda kaplama kalınlığının ölçüldüğü noktalar.

Krom III kaplamada, yüksek akım yoğunluğuna doğru gidildikçe krom kaplama verimi düşmektedir (Katirci, 2015). Katılan kompleksanlarla kaplama verimi belirli ölçüde yükseltilebilmektedir.



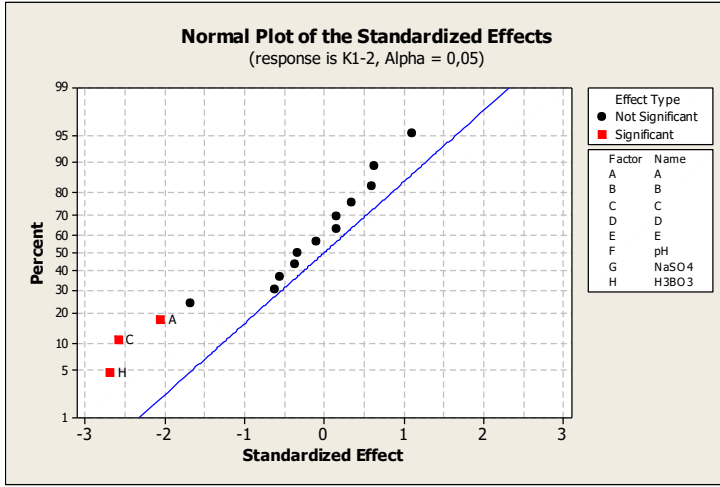
Şekil 10: Değişen kimyasal oranının kaplama kalınlığı üzerindeki etkisi.

Şekil 10 de kimyasalların hangi oranlarda değiştirildiğinde kaplama kalınlığını ne kadar arttığı gözlenmektedir. H₃BO₃ 40 gr/L den 60 gr/L ye çıkarıldığında kaplama kalınlığı 0,1045 mikrondan 0,1722 mikrona çıkmıştır. pH'ın 3,0 dan 3,5 e yükselme kaplama verimini düşürmektedir. Şekil 10 incelendiğinde en yüksek kalınlık değeri Tablo 3'deki formülasyon elde edilmiştir.

Tablo 3: En yüksek kaplama kalınlığı formülü

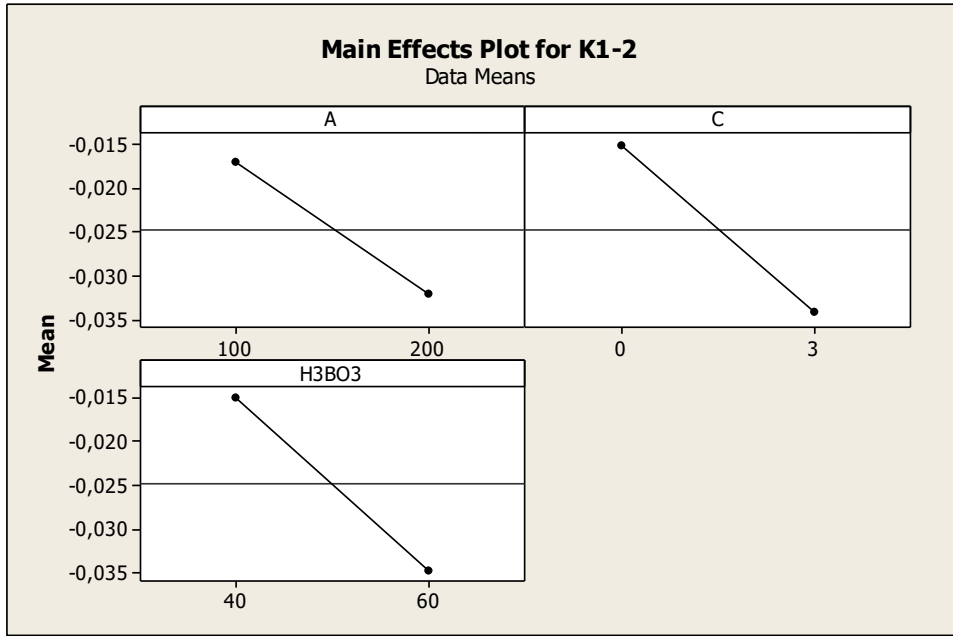
KİMYASAL	MİKTAR
A	200 mL/L
B	20 mL/L
C	3 mL/L
D	1 gr/L
E	12.5 mL/L
pH	3,0
Na ₂ SO ₄	100 gr/L
H ₃ BO ₃	60 gr/L

Krom III kaplamada, yüksek akım yoğunluğuna doğru gidildikçe krom kaplama verimi düşmektedir (Katirci, 2015). Katılan kompleksanlarla kaplama verimi belirli ölçüde yükseltilebilmektedir. 1. bölge kalınlık değerinden 2. bölge kalınlık değeri çıkarıldığında değerin sıfırdan büyük çıkması istenir. Düşük çıktığı takdirde yüksek akım yoğunluğundaki verimin düştüğü anlaşılmalıdır. Bu durum krom III banyosunda yüksek akım yoğunluk bölgelerinde krom kaplama yapmayacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 11: Kimyasalların kaplama dağılımı üzerindeki etkileri.

Şekil 11'i incelediğimizde belirlenen aralıklarda kullanılan kimyasalların kaplama dağılımını sıfırın üzerine çıkardığı gözlenmemiştir. A, C ve H₃BO₃ kimyasalları kaplama dağılımını sıfırın altında düşürmektedir. Hangi değer aralıklarında kaplama dağılımını sıfırın altına düşürdüğünü gözlemek için Şekil 12 grafiği elde edilmiştir. İstatistiksel olarak anlam ifade edecek şekilde kimyasallar arasında etkileşim mevcut olmadığından etkileşim grafiği gösterilmemiştir.



Şekil 12: A, C ve H₃BO₃ kimyasal miktarlarının dağılım üzerindeki etkisi.

Kalınlık dağılımını en fazla bozan kimyasalın H₃BO₃ olduğu gözlenmiştir. H₃BO₃ değeri 40 gr/L den 60 gr/L ye çıkarıldığında kalınlık dağılımı -0.014 den -0.035 değerine düşmüştür. A ve C kimyasalıda kalınlık dağılımını sırasıyla -0.017 den -0.032 ye ve -0.015 den -0.034 değerlerine düşürmüştür. Şekil 12'den elde edilen veriler ışığında A kimyasalının 100 mL/L de, C kimyasalının hiç olmaması H₃BO₃ kimyasalının ise 40 gr/L olması uygun olacaktır. Ancak C kimyasalı örtme gücünü ve kalınlık değerini artırdığı için 3 mL/L değerinde tutulmuştur.

3.1.4. Formül Optimizasyonu

Genel formülasyon oluşturulmasında tüm kalite değişkenleri dikkate alınarak yapılmıştır. Yüksek kalınlık elde etmek için A kimyasalını 200 mL/L ye çıkardığımızda örtme gücünün zayıfladığı ve siyahlaşma miktarının arttığı gözlenmiştir. Bu yüzden A kimyasalı 100 mL/L değerinde tutulmuştur. Tablo 2 ve 3'teki B'nin en ideal değeri hepsinde 20 mL/L olduğundan, B değeri 20 mL/L de tutulmuştur. C kimyasalı siyahlaşmayı az miktarda artırdığı ancak örtme gücünü ve kaplama kalınlığını yüksek miktarda artırdığı için C kimyasalı 3 mL/L olarak belirlenmiştir. D kimyasalı yüksek akım yoğunluğundaki verimi ve kalınlığı artırdığı ve diğer kalite değişkenlerini

olumsuz yönde istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde etkilemediğinden 1 gr/L değerinde tutulmuştur. E kimyasalının örtme gücünü ve kaplama kalınlığını artırdığı, siyahlaşmayı ve kalınlık dağılımını istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde bozucu etki yapmadığından 12,5 mL/L değerinde tutulmuştur. H_3BO_3 kimyasalının siyahlaşmayı azalttığı, örtme gücünü ve kaplama kalınlığını artırdığı istatistiksel deneyler sonucunda gözlemlendiğinden H_3BO_3 değeri 60 gr/L de tutulması uygun görülmüştür. Na_2SO_4 kimyasal iletkenliği yükseltmek, dolayısıyla enerji tasarrufu sağlamak için 150 gr/L olarak belirlenmiştir. pH değeri 3,5 de tutulduğunda siyahlaşmanın azaldığı ve örtme gücünü arttığı gözlenmiştir. Tüm kalite değişkenleri dikkate alınarak yapılan değerlendirme sonucunda oluşturulan formül Tablo 4 de gösterilmiştir.

Tablo 4: Tüm kalite faktörlerini dikkate alarak elde edilen kimyasal formül

KİMYASAL	MİKTAR
A	100 mL/L
B	20 mL/L
C	3 mL/L
D	1 gr/L
E	12.5 mL/L
pH	3,5
Na_2SO_4	100 gr/L
H_3BO_3	60 gr/L

3.1.5. Krom III Banyosu Formülünün Tekrarlanabilirliği

Tablo 4 de belirtilen formül içeriğine sahip krom III banyosu ayrı kişilere ve farklı sıralarda kimyasal karışımlarda 10 adet hazırlanmıştır (Tablo 5), 2A 5 dakika süreyle pirinç üzerine kaplama yapılmıştır. Kaplanan plakaların kalınlık ve örtme güçleri ölçülmüştür. Sonuçlar t (student) testine tabi tutulmuştur (Tablo 6).

Tablo 5: Ayrı kişi ve farklı sıralarda hazırlanmış Tablo 4 deki kimyasal formülün kalınlık, örtme gücü ve siyahlık ölçüm sonuçları

S.NO	KAL1	KAL2	ÖRT GÜCÜ	SİY AHLIK
1	0,1960	0,2450	1,1000	1,0000
2	0,2090	0,2460	0,7000	0,0000
3	0,3250	0,3320	1,4000	0,0000
4	0,2740	0,2900	0,8000	1,0000
5	0,2240	0,2500	1,6000	0,0000
6	0,2030	0,2340	0,8000	0,0000
7	0,2620	0,2750	0,8000	0,0000
8	0,2950	0,3300	1,2000	0,0000
9	0,2300	0,2490	0,5000	0,0000
10	0,2400	0,2710	1,0000	1,0000

Tablo 6: t (student) testine tabi tutulmuş Tablo 5 deki kaplama sonuçları

Değişken	Örn.Say	Ort.	Std.Sap	Güv.Ara (%95)
Kal1	10	0,2458	0,0424	(0,2155;0,2761)
Kal2	10	0,2722	0,0352	(0,2470;0,2974)
Ört.Güc	10	0,9900	0,3380	(0,748;1,232)
Siyahlık	10	0,3000	0,4830	(-0,046;0,646)

Elde edilen sonuçları irdelediğimizde Kal1 (1. noktadaki kalınlık değeri) güven aralığı (0,2155;0,2761) aralığında, kalınlık ölçümlerinin standart sapması ise 0,0424 olarak çıkmıştır (Tablo 6). Hazırlanan örneklerden 1,2,6,3,8 nolu örnekleri güven aralığı dışında kalmıştır. Ancak burada x-ray cihazının ölçüm hassasiyetini dikkate aldığımızda elde edilen ortalama değer güven aralığı içinde olduğu tespit edilmiştir. Kal2 (2. noktadaki kalınlık değeri) sonuçlarını istatistiksel olarak irdelediğimizde ortalama kalınlık değeri arttığından standart sapması düşmekte ve ölçüm hassasiyeti artmaktadır. Genel olarak krom III banyosuyla kaplanan plakaları görsel olarak irdelediğimizde (Şekil 9a'da söz konusu plakalardan bir tanesi örnek olarak gösterilmiştir.) tüm plakalar kabul edilebilir sınırlar içindedir. Dolayısıyla elde edilen krom III banyosunun hazırlanışının tekrarlanabilirliği yüksektir.

3.1.6. Yüksek Safflıkta ve Sanayi Kalite Kimyasalların Karşılaştırılması

Tablo 7, 8, 9 dikkate alındığında, sanayi ve merck kalite kimyasallardan elde edilen kaplama kalınlığı (Kal1) değeri sırasıyla 0,1818 ve 0,2458 dir. Ortalama değerlere baktığımızda merck kalite kimyasallardan elde edilen ortalama kalınlık değeri daha yüksek çıkmıştır. Ortalama sonuçlar arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark olup olmadığını anlamak için student test yapılmış ve elde edilen p-değeri 0,004 çıkmıştır. P-değeri 0,05 den daha küçük olduğu için iki ortalama arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde Kal2 sonucu p-değeri 0,000 çıkmıştır. İstatistiksel açıdan ortalama değerler arasında önemli fark vardır. Örtme gücünü (Ört.Güc) irdelediğimizde p-değeri 0,245 çıkmıştır. P-değeri 0,05 den büyük olduğu için merck ve sanayi kalite kimyasalların örtme gücüne etkisi istatistiksel açıdan anlamlı olacak şekilde fark oluşturmadığı tespit edilmiştir. Sanayi kalite kimyasallar kullanıldığında kalitenin düşmesi, kimyasallar içinde analitik kalite kimyasallara göre daha yüksek safsızlık içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 7: Sanayi kalite kimyasallardan elde edilen kaplama sonuçları

Değişken	Örn.Say	Ort.	Std.Sap	Güv.Ara (%95)
Kal1	10	0,1818	0,0435	(0,1507;0,2129)
Kal2	10	0,1939	0,0435	(0,1628;0,2250)
Ört.Güc	10	1,1600	0,2914	(0,9516;1,3684)

Tablo 8: Merck kalite kimyasallardan elde edilen kaplama sonuçları

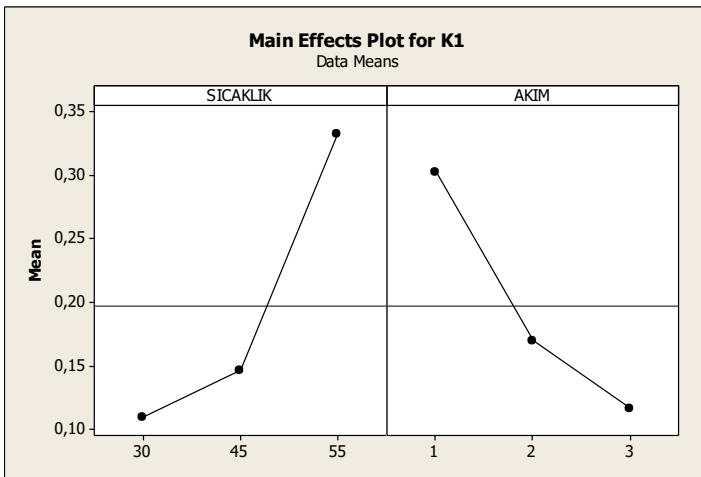
Değişken	Örn.Say	Ort.	Std.Sap	Güv.Ara (%95)
Kal1	10	0,2458	0,0424	(0,2155;0,2761)
Kal2	10	0,2722	0,0352	(0,2470;0,2974)
Ört.Güc	10	0,990	0,338	(0,748;1,232)

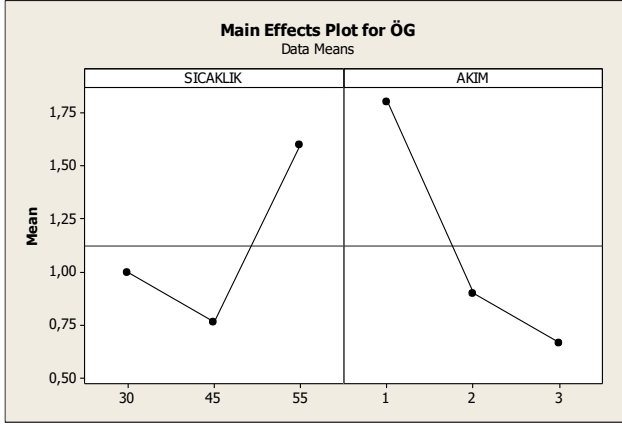
Tablo 9: Mercek ve sanayi kalite kimyasallar student testi ile istatistiksel olarak kıyaslanması

Değişken	P-Value
Kal1	0,004
Kal2	0,000
Ört.Güc	0,245

3.1.7. Çalışma Şartlarının Optimizasyonu (Sıcaklık, Akım, Karıştırma)

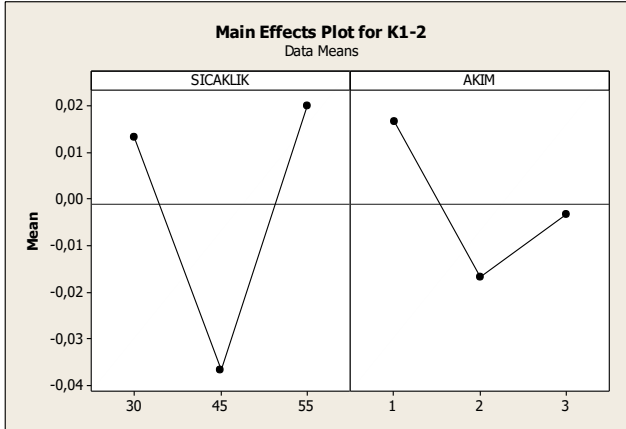
Kaplama kalitesini sadece kaplama banyosu içindeki kimyasallar etkilememektedir. Sıcaklık, akım ve karıştırma gibi kaplama koşulları da etkilemektedir. Bu yüzden sıcaklık, akım ve karıştırma parametrelerini içeren bir deney planı hazırlanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 13, 14, 15'te gösterilmiştir. Sıcaklık arttıkça yüksek akım yoğunluğundaki kalınlık miktarı artmaktadır. Uygulanan akım değeri yükseldikçe kalınlık değeri düşmektedir (Şekil 13). Akımın yükselmesi yüksekteki verimi düşürmesine rağmen örtme gücünü artırmaktadır. Sıcaklık 45°C de en ideal örtme gücüne sahipken sıcaklık yükseldikçe örtme gücü azalmaktadır (Şekil 14).

**Şekil 13:** Sıcaklık ve akımın ortalama kalınlık değerine etkisi.



Şekil 14: Sıcaklık ve akımın ortalama örtme gücüne etkisi (ortalama değerin düşmesi örtme gücünün arttığı anlamına gelmektedir).

Sıcaklık 45°C'de kalınlık dağılımı en düşük değeri görmüşken sıcaklığın 55°C'ye çıkması kalınlık dağılımını iyileştirmektedir. Akımını yükselmesi kalınlık dağılımını bozmaktadır. Bunun sebebi akımın, yüksek akım yoğunluğu bölgesindeki verimi düşürmesinden kaynaklanmaktadır. Düşük akım yoğunluklarında çalışmak daha iyi kalınlık dağılımına sahip kaplamalar elde edilmesini sağlayacaktır (Şekil 15).

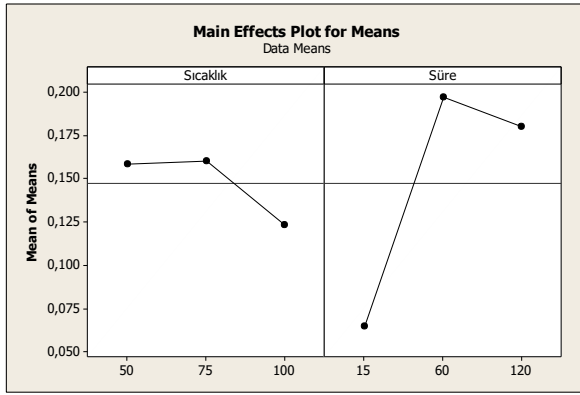


Şekil 15: Sıcaklık ve akımın kalınlık dağılımına etkisi.

3.1.8. Krom III Kaplama Banyosu Hazırlama Koşullarının Optimizasyonu

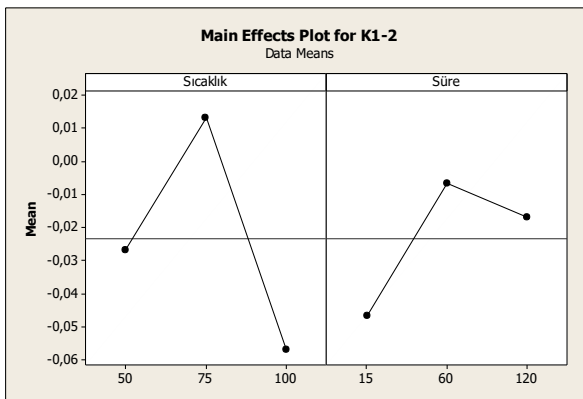
Krom III kaplama banyosunda bulunan kimyasallarının en optimum değerleri yukarıda belirtilmişti. Ancak kaplama banyoları hazırlanırken

uygulanan koşullar sabit tutulduğundan etkileri gözlenememişti. Burada dikkat edilmesi gereken husus değişen sıcaklık ve süre kaplama kimyasalları hazırlanırken uygulanan sıcaklık ve süreyi ifade etmektedir. Bu bölümde, banyo hazırlama aşamasında uygulanan sıcaklık ve süre optimize edilmiştir. Sıcaklık ve süreyi optimize etmek için üç farklı sıcaklıkta (50, 75, 100 °C) ve sürede (15, 60, 120 dk) krom III banyosu hazırlanmıştır. Şekil 16'yı incelediğimizde ortalama kalınlık değerinin en yüksek olduğu sıcaklık ve süre 75°C ve 60 dakikadır.



Şekil 16: Sıcaklık ve sürenin ortalama kalınlık değerine etkisi.

En ideal sıcaklık ve süre belirlemesini kalınlık dağılımına göre yaptığımızda sıcaklık 75°C ve süre 60 dakika olarak belirlenmiştir (Şekil 17).



Şekil 17: Sıcaklık ve sürenin kalınlık dağılımına etkisi

4. SONUÇ

Bu çalışma, krom III kaplama banyosunda kullanılan kimyasalların ve çalışma koşullarının optimizasyonunu detaylı bir şekilde ele almaktadır. Araştırma sonuçlarına göre; optimum kaplama kalınlığı ve örtme gücü için A kimyasalının 100 mL/L, B kimyasalının 20 mL/L, C kimyasalının 3 mL/L, D kimyasalının 1 gr/L, E kimyasalının 12.5 mL/L, H₃BO₃ kimyasalının 60 gr/L ve NaSO₄ kimyasalının 150 gr/L değerlerinde tutulması gerektiği tespit edilmiştir. Ayrıca, pH değerinin 3,5 olmasının siyahlaşmayı azalttığı ve örtme gücünü arttırdığı gözlemlenmiştir.

Tekrarlanabilirlik testleri, krom III banyosunun yüksek bir tekrarlanabilirliğe sahip olduğunu göstermektedir. Sanayi ve yüksek saflıktaki kimyasallar arasında kaplama kalınlığı açısından istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu tespit edilirken, örtme gücünde anlamlı bir fark tespit edilmemiştir.

Çalışma şartlarının optimizasyonuna bakıldığında; sıcaklık, akım yoğunluğu ve karıştırma hızı gibi faktörlerin kaplama kalitesine etkisi belirginleşmektedir. Özellikle sıcaklığın artışı, yüksek akım yoğunluğunda kaplama kalınlığını arttırmaktadır. Optimal örtme gücü için sıcaklığın 45°C'de tutulması önerilmekte, fakat kalınlık dağılımını iyileştirmek için sıcaklığın 55°C'ye çıkarılması gerektiği belirtilmektedir.

Genel olarak, bu çalışma, krom III kaplama banyosunun optimum koşullarını belirlemek için kapsamlı bir yol haritası sunmaktadır. Özellikle sanayide uygulama potansiyeli yüksek olan bu bulgular, daha kaliteli kaplama sonuçlarına ulaşılmasında kritik öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

- Baral, A., Engelken, R. D. 2002a. "Chromium-based regulations and greening in metal finishing industries in the USA". *Environmental Science & Policy*, 5(2), 121-133.
- Baral, A., Engelken, R. D. 2002b. "Chromium-based regulations and greening in metal finishing industries in the USA". *Environmental Science & Policy*, 5(2), 121-133.
- Barnhart, J. 1997. "Occurrences, uses, and properties of chromium". *Regulatory toxicology and pharmacology*, 26(1), S3-S7.
- Dennis, J. K., Such, T. E. 1993. "*Nickel and chromium plating*". Elsevier.
- Fotovvati, B., Namdari, N., Dehghanghadikolaei, A. 2019. "On coating techniques for surface protection: A review". *Journal of Manufacturing and Materials processing*, 3(1), 28.
- Gray, Je., Luan, B. 2002. "Protective coatings on magnesium and its alloys—a critical review". *Journal of alloys and compounds*, 336(1-2), 88-113.
- Katirci, R. 2015. "Statistical optimisation of trivalent chromium bath and characterisation of coating defects". *Surface Engineering*, 31(6), 465-471.
- Katirci, R., Altinsari, A. 2020. "The conversion of the waste Cr(VI) electroplating bath to Cr(III) electroplating bath". *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(10), 4205-4216.
- KATIRCI, R., TAKCI, H. 2021. "Makine Öğrenmesi Kullanarak Krom Kaplama Örtme Gücünün Tahmin Edilmesi". *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33(2).
- Katrc, R. 2015. "Effects of ZnO and NaOH in Zn–Ni bath". *Surface Engineering*, 31(1), 11-16.
- Katrc, Ramazan. 2016. "A chrome coating from a trivalent chromium bath containing extremely low concentration of Cr³⁺ ions". *International Journal of Surface Science and Engineering*, 10(1), 73-85.
- Katrc, Ramazan, Ylmaz, E. K., Kaynar, O., Zontul, M. 2021. "Automated evaluation of Cr-III coated parts using Mask RCNN and ML methods". *Surface and Coatings Technology*, 422, 127571.
- Mandich, N. V, Snyder, L. D. 2000. "*Modern Electroplating*". (M Schlesinger, Ed.). New Jersey: Pennington.
- Mordechay Schlesinger, M. P. 2011. "*Modern Electroplating*". (M. P. Mordechay Schlesinger, Ed.). Elsevier.

- M.Schlesinger, M.Paunovic. 2000. "Modern Electroplating". (Mordechay Schlesinger, Ed.). New York: John Wiley.
- Nriagu, J. O., Nieboer, E. 1988. "Production and uses of chromium". Chromium in the natural and human environments, 20, 81-104.
- Oğuz, T., Katirci, R. 2023. "Effects of Electrolytic Bronze Plating Parameters on Plating Color and Distribution". İçinde 5. *International Marmara Scientific Research and Innovation Congress* (ss. 691-701).
- Roy, S., Bose, G. K. 2020. "Advanced Surface Coating Techniques for Modern Industrial Applications". IGI Global.
- Saravanan, G., Mohan, S. 2009. "Corrosion behavior of Cr electrodeposited from Cr (VI) and Cr (III)-baths using direct (DCD) and pulse electrodeposition (PED) techniques". *Corrosion Science*, 51(1), 197-202.
- Schopphoven, T., Gasser, A., Wissenbach, K., Poprawe, R. 2016. "Investigations on ultra-high-speed laser material deposition as alternative for hard chrome plating and thermal spraying". *Journal of Laser Applications*, 28(2).
- Sunderman, F. W. 2001. "Nasal toxicity, carcinogenicity, and olfactory uptake of metals". *Annals of Clinical & Laboratory Science*, 31(1), 3-24.
- Tenório, J. A. S., Espinosa, D. C. R. 2001. "Treatment of chromium plating process effluents with ion exchange resins". *Waste management*, 21(7), 637-642.
- Tsuda, T., Stafford, G. R., Hussey, C. L. 2017. "Electrochemical surface finishing and energy storage technology with room-temperature haloaluminate ionic liquids and mixtures". *Journal of The Electrochemical Society*, 164(8), H5007.

BÖLÜM 11

ELEKTROKAPLAMA İLE NİKEL KAPLAMA

Prof. Dr. Ramazan KATIRCI¹
Arş. Gör. Taha OĞUZ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8417511>

¹ Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye.
ramazankatirci@sivas.edu.tr. ORCID ID: 0000-0003-2448-011X

² Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye.
taha.oguz@sivas.edu.tr. ORCID ID: 0000-0003-4447-645X

1.GİRİŞ

Elektrokaplama, temel malzemenin özelliklerini artırmak için etkili bir yaklaşımdır (Ramazan Katırcı, 2023). Bu işlemle temel malzemenin korozyona direnci, sertliği ve aşınma dayanımı geliştirilebilir (Katırcı, 2014). Elektrokaplama sayesinde, düşük maliyetle daha üstün fiziksel ve kimyasal özelliklerde malzemeler üretmek olanaklıdır (Katırcı ve Takci, 2021).

Nikel bazlı elektrokaplamalar, ticari alanda büyük bir öneme sahip olan çok yönlü yüzey işlemleridir (Katırcı ve Danacı, 2023; Oğuz ve Katırcı, 2023a). Ticari değeri, yıllık olarak elektrokaplama amacıyla kullanılan nikel metal ve tuz miktarına bakarak anlaşılabilir; bu miktar şu anda yaklaşık olarak 100 bin metrik tona ulaşmaktadır. Nikel elektrokaplamanın çok yönlülüğü, birçok farklı uygulamada kullanılabilir olmasından kaynaklanır (Mordechay Schlesinger, 2011).

Nikel elektrokaplama işlemi, çözünebilir metal anotlarının kullanıldığı diğer kaplama yöntemleriyle benzerlik gösterir. Bu süreçte, iki elektrot, iletken bir sulu nikel tuz çözeltisine batırılır ve aralarından doğru akım geçirilir. Bu akım, elektrotlardan birini (anot) eritirken, diğerini (katot) nikkelle kaplar (Mandich ve Snyder, 2000). Nikel, çözeltide iki değerlikli Ni^{2+} iyon formunda bulunur. Akımın etkisiyle, bu pozitif iyonlar iki elektron alarak katottaki metalik nikel (Ni) formunu alır. Anottaki işlem, bu olayın tam tersidir; metalik nikel, iki değerlikli pozitif iyonlara dönüşerek çözeltiliye karışır. Böylece katottan ayrılan nikel iyonları, anottan gelenlerle dengelenir (M.Schlesinger ve M.Paunovic, 2000).

2. ELEKTROKAPLAMA İLE NİKEL KAPLAMA

Elektrokaplama ile nikel kaplama, metal yüzeylerin koruyuculuğunu arttırmak ve estetik görünümünü iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu bölümde, nikel elektrokaplamanın tarihçesinden başlayarak, ana bileşenlerinin özelliklerine ve işlevlerine kadar geniş bir yelpazede ele alınmış ve incelenmiştir. Ayrıca, kaplama kalınlığından adezyona kadar uzanan kritik konular detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

2.1. Nikel Elektrokaplamanın Tarihçesi

Nikel elektrokaplama, metal yüzeylere koruyucu ve estetik bir kaplama sağlama konusunda son derece popüler bir yöntemdir. Bu yöntemin tarihçesi, 19. yüzyılın ortalarında başlamıştır (M.Schlesinger ve M.Paunovic, 2000).

Dr. Isaac Adams Jr. nikel elektrokaplama tekniğini ticarileştiren öncü isimlerden biridir. Eğitimini Harvard Üniversitesi ve Paris Tıp Okulu'nda tamamlayan Adams, nikel kaplamayı Amerika'da ticarileştiren ilk kişidir. Onun patentlediği yöntem, saf nikel amonyum sülfat kullanımını kapsamaktadır. Bu patent, şirketinin nikel kaplama pazarında neredeyse 20 yıl süreyle tekel olmasını sağlamıştır (Gianelos, 1977a).

Nikel amonyum klorür elektrokaplama çözeltisinin ticarileştirilmesinde Remington da önemli bir rol oynamıştır. 1868 yılında, bu çözeltiyi pazarlamaya sunarak, nikel kaplamanın ticari uygulamalarını genişletmiştir (Rose, 2014).

Weston, borik asit kullanımını önererek, nikel elektrokaplama çözeltisinin daha etkili bir hale gelmesine katkıda bulunmuştur. Borik asit, nikel kaplama sürecinde çözeltinin pH seviyesini kontrol altında tutmada ve kaplamanın kalitesini artırmada önemli bir rol oynamaktadır (Abdel-Hamid, 1998).

Bancroft, nikel anot malzemelerinin çözünmesi konusundaki önemi ilk fark eden kişi olmuştur. Anot malzemelerinin etkili bir şekilde çözünmesi, kaplama sürecinin daha etkili ve ekonomik olmasını sağlamaktadır (Mordechay Schlesinger, 2011).

Birinci yüzyılın başlarında Profesör Oliver P. Watts, nikel elektrokaplama çözeltisinin ideal bileşimini geliştirmiş ve bu alandaki en önemli gelişmelere imza atmıştır. 1916'da Watts, nikel sülfat, nikel klorür ve borik asit kullanarak yeni bir elektrolit bileşimi oluşturmuştur. Bu bileşimin avantajları kısa sürede anlaşılmış ve diğer nikel kaplama çözeltilerinin kullanımını azaltmıştır. Günümüzde "Watts çözeltisi" olarak bilinen bu bileşim, nikel elektrokaplama endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (M.Schlesinger ve M.Paunovic, 2000).

Bu öncülerin katkıları sayesinde, nikel elektrokaplama teknolojisi sürekli olarak geliştirilmiş ve modern endüstride vazgeçilmez bir konuma gelmiştir.

2.2. Nikel Elektrokaplama Özellikleri

Watts çözeltilerinde bulunan temel bileşenler, elektrolitik olarak biriktirilmiş nikelin karakteristiklerini belirler. Nikel sülfat, iletkenlik ve metal dağılımını optimize eder ve uygulama için akım yoğunluğunu ayarlar. Nikel klorür, anotun korozyonunu, iletkenliği ve kaplama dağılımını geliştirirken;

kloridler birikim içindeki gerilimi yükseltir ve tane boyutunu azaltır. Borik asit ise kaplamanın dengesini korumak ve estetiğini artırmak amacıyla eklenir. Düşük borik asit yoğunlukları nikel kaplamada çatlamalara ya da yanmalara yol açabilir. Anyonik temizleyiciler veya yüzey aktif maddeler, hava ve hidrojen baloncuklarının kaplanan yüzeylere yapışmasını engellemek için kaplama çözeltisinin yüzey gerilimini azaltır (Abdel-Hamid, 1998).

Uygulama şartları, yani pH, sıcaklık, akım yoğunluğu ve klorür içeriği, Watts çözeltisiyle elde edilen kaplamanın niteliklerini doğrudan etkiler. Watts çözeltisinde, pH 5,0'ın üzerinde sertlik, gerilme dayanımı ve iç gerilim artış gösterirken, elastikiyet oranı azalır. Sertlik, düşük akım yoğunluklarında belirgin şekilde yükselir. Kaplama çözeltisinin sıcaklığını arttırmak, sertliğin ve gerilme dayanımının en düşük değerlere ulaştığı yaklaşık 55°C'ye kadar olan bir sıcaklığa neden olur. Aynı zamanda, bu sıcaklıkta elastikiyet oranı maksimuma çıkar. Klorür iyon konsantrasyonunu arttırmak da kaplamanın özelliklerine etki eder. Özellikle, %25 ağırlıkça nikel klorür içeren çözeltide, elastikiyet oranı zirveye ulaşırken sertlik ve gerilme dayanımı minimumdadır (Mandich ve Snyder, 2000).

Watts ve sülfamat çözeltileri ile elde edilen kaplama karakteristikleri, uygulama koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Örneğin, sülfamat çözeltisi banyosunun sıcaklığını arttırmak iç gerilimi azaltırken, Watts banyosunda bu tip bir değişiklik kayda değer bir etki yaratmaz. Katot akım yoğunluğunun artışı, Watts çözeltisinden elde edilen kaplamanın gerilme dayanımını pek etkilemezken, sülfamat çözeltisinden elde edilen kaplamanın gerilme dayanımını azaltabilir (M.Schlesinger ve M.Paunovic, 2000).

-195°C ile 870°C arasındaki sıcaklıklarda, Watts, sülfamat ve tamamen klorid bazlı çözeltilerle yapılan testlerde mekanik özellikler Knapp ve Sample tarafından incelenmiştir (Sample ve Knapp, 1962). -195°C'de hem klorür hem de sülfamat bazlı nikel, 100 kg/mm² olan yüksek bir gerilme dayanımı gösterirken; Watts ve işlenmiş-dövülmüş nikel için bu değer 56 kg/mm² olarak belirlenmiştir. Elastikiyet oranındaki bu değişiklik, elektrolitik nikelin içerisinde bulunan minimal kükürt miktarı ile açıklanmıştır. Wrought nikelde benzer bir kükürt miktarı olmasına rağmen, küçük miktarda mangan da içerir ve bu, kükürdün tane sınırlarına yerleşmesini engeller, bu da nikel sülfürün yüksek sıcaklıkta elastikiyeti azaltmasına neden olur. Nikelle birlikte küçük miktarlarda manganın elektrolitik olarak biriktirilmesi, bu nedenle yüksek sıcaklık elastikiyetini artırdığı belirlenmiştir. Elektrolitik nikel, nikel

alaşimleri ve nikel kaplamalarının fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında geniş bir bilgi birikimi mevcuttur (Mordechay Schlesinger, 2011).

2.3. Nikel Elektrokaplama: Ana Bileşenlerin Özellikleri ve İşlevleri

Elektrokaplama prosesi, kaplama özelliklerini ve kaplamanın kalitesini belirleyen çeşitli bileşenleri içerir (Kul vd., 2020). Nikel elektrokaplama ana bileşenlerin kısa bir özeti aşağıda sunulmuştur:

2.3.1. Nikel Metal İçeriği

Bu, çözeltide bulunan nikel miktarıdır ve kaplama sürecinde metali taşıyan ana bileşendir. Nikel derişimi, istenen kaplama hızını, kalınlığı ve kaliteyi etkiler. Ticari uygulamalarda genellikle 60-80 g/L arasında bir konsantrasyon tercih edilmektedir (Di Bari, 2010).

2.3.2. Klorür Derişimi

Nikel klorür, anot korozyonunu artırarak daha iyi bir kaplama dağılımı sağlar. Ancak kükürtle aktifleştirilmiş anotlar kullanılıyorsa, bu tür anotlar klorürlerin agresif etkilerine karşı daha dirençli oldukları için ek nikel klorür eklemek genellikle gereksizdir (Di Bari, 2010).

2.3.3. Borik Asit

Borik asit, nikel elektrokaplama banyolarında sıkça kullanılan bir tamponlama maddesidir. Katot yüzeyindeki pH değerini stabilize eder, böylece kaplama süreci sırasında pH değeri optimal aralıkta tutulur. Ayrıca, borik asidin çözeltide olması, istenmeyen metalik birikimlerin ve kusurların oluşumunu engellemeye yardımcı olabilir (Di Bari, 2010).

Nikel, klor, borik asit ve organik maddelerin nikel kaplama solüsyonlarının kimyasal incelemesi için alışlagelmiş yöntemler bulunmaktadır (Sezer vd., 2012). Bu yöntemler, titrasyon, çözelti ve diğer wet-chem yöntemlerini içerir. Ancak, bu geleneksel yöntemler, daha hızlı ve doğru sonuçlar sunan cihaz tabanlı tekniklerle yer değiştirmiştir. Dekoratif nikel kaplama solüsyonları üreten şirketler, kendi proseslerinde kullanılan özgün organik bileşenlerin analiz ve izlenmesi için teknikler sunmaktadır (Sezer vd., 2014). Sıvı kromatografi, bu organik bileşenlerin izlenmesi için yaygın olarak kullanılırken, elektro analitik metotlar, polarografi gibi, kaplama solüsyonlarının denetiminde tercih edilir.

Nikel kaplama solüsyonunun pH seviyesi, banyonun kullanımı sırasında zamanla yükselecektir, bu nedenle önerilen değerler içerisinde kalması için düzenli olarak ayarlamalar yapılmalıdır. Eğer pH değerinde bir düşüş ve nikel iyon konsantrasyonunda azalma varsa, işlem doğru bir şekilde gerçekleşmiyor demektir. Watts solüsyonları için sülfürik asit pH'ı dengede tutmak amacıyla eklenirken, nikel sülfamat solüsyonlarında sülfamik asit tercih edilir. Nikel kaplama solüsyonunun pH değerinin düzenli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir ve bu genellikle bir cam elektrot ve kalomel referans elektrodu ile yapılır (Mordechay Schlesinger, 2011).

Kaplamanın nitelikleri üzerinde çalışma sıcaklığının belirgin bir rolü vardır, bu yüzden önerilen sıcaklık değerleri arasında (+/- 20°C) kalmalıdır. Genellikle, ticari nikel kaplama banyoları 40-60°C arasında işletilir (Rogers vd., 1960).

Kaplama prosesinde, kaplanacak parçaların yüzey alanı ve belirli bir akım yoğunluğunda nikelin birikim kalınlığı dikkate alınarak ayarlanmalıdır. Sabit bir gerilimde çalışma önerilmez. Katot akım yoğunluğunu kontrol etmek, istikrarlı ve öngörülebilir kaplama özellikleri elde etmek için kritiktir. Akım yoğunluğu kaplama hızını etkilediğinden, eşit kalınlıkta nikel kaplamalar elde etmek için akımın katot yüzeyinde eşit dağılması esastır. Bu, uygun bir kafes yapısı, bileşenlerin doğru konumlandırılması, iletken olmayan bariyerlerin ve bölme duvarlarının kullanılması ve gerektiğinde yardımcı anotların kullanılması ile mümkündür. Dikkatli planlama ile optimal kalınlık dağılımı sağlanabilir.

Kaplama banyosunun hazırlanmasında kullanılan suyun kalitesi önemlidir (Katirci ve Altinsari, 2021). Kaybedilen su, demineralize su ile değiştirilmelidir, özellikle musluk suyunda 200 ppm'den daha fazla kalsiyum bulunuyorsa. Tanka eklenmeden önce suyun filtre edilmesi, olası tortuların oluşmasını engeller.

2.4. Ortalama kaplama kalınlığı

Ortalama nikel kaplama kalınlığı için kullanılan formül, S değerini mikrometre cinsinden kalınlık değerini göstermektedir. Eşitlik 1'de $d=8.907 \text{ g/cm}^3$, nikelin spesifik yoğunluğunu temsil ederken, I toplam akımı, A ise kaplanan yüzeyin alanını gösterir. M değeri de atom ağırlığını ifade ederken a değeri ise kaplama verimini ifade eder. Akım yoğunluğu da $(I) / (A)$ oranı ile ifade edilir.

$$S = (M)(100)/(d)(A) = (109.5)(a)(I)(t)/(8,097)(A) = (12.294)(a)(I)(t)/(A) \quad (1)$$

Bu formül, kaplama kalınlığının ne kadar süre ve hangi akım yoğunluğuna bağlı olduğunu gösterir. Kaplama sırasında biriken nikelin toplam ağırlığı veya miktarı ise Eşitlik 1 ile doğrudan akım ve süre ile ilişkilidir (Fritz vd., 2002).

2.5. Akım ve Metal Dağılımı

Bir malzemenin şekli, yüzeyinin belirli bir bölgesindeki akım yoğunluğunu etkileyen faktördür (Katırcı, 2022). Elektrokaplama işleminde, yüzeyde belirli bir alandaki akım dağılımı, o alana gelen akımın nasıl dağıldığını anlamamızı sağlar. Nikel kaplamada akımın nasıl dağıldığı esas olarak geometrik özelliklere bağlıdır. Bu da malzemenin formu, anoda olan konumu, kaplama havuzuna nasıl konumlandırıldığı ve genel sistemin boyutlarıyla alakalıdır. Genellikle, basit geometriye objeler hariç, bir objenin anoda daha yakın çıkıntılı yüzeyleri bulunmaktadır. Bu yüzden homojen kalınlıkta bir nikel kaplama elde etmek zorlaşır. Çünkü çıkıntılı bölgeler anoda daha yakın oldukları için elektron akışında daha az dirence sahiptir ve daha yüksek akım yoğunluğuna sahip olur. Öte yandan, daha derin kısımlar anoda daha uzak olduğundan elektrik akımına daha fazla direnç gösterir ve sonuç olarak daha az akım yoğunluğuna sahip olur. Bu da demektir ki çıkıntılı bölgeler daha derin alanlara kıyasla daha kalın bir kaplama oluşturur.

Elektrokaplama havuzundaki objelerin şekli, akım dağılımını büyük ölçüde etkiler ve bu da metalin nasıl yerleştiğiyle doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden, istenen kalınlık dağılımını elde etmek için koruyucu kalkanlar ve yardımcı anotlar kullanılır. Kalkanlar, anot, katot veya elektrotlar arasındaki elektrik akışını sınırlamak veya yönlendirmek için kullanılan iletken olmayan materyallerden yapılır. Yardımcı anotlar, ana anotlara kıyasla katoda daha yakın olacak şekilde konumlandırılır; bu sayede elektrik akışı, katottaki belirli bir alana yoğunlaştırılabilir (Sadiku-Agboola vd., 2012). Geometrik faktörlerin analizinde bilgisayar modelleme yöntemleri giderek daha popüler hale gelmektedir (Newman ve Tobias, 1962).

2.6. Dağıtım Kapasitesi

Metalin nasıl dağıldığı, geometrik faktörlerin yanı sıra katot polarizasyonu, katot etkinliği-akım yoğunluğu ilişkisi ve çözeltinin elektriksel iletkenliği gibi faktörler tarafından da belirlenir. Akım dağılımını etkileyen bu

unsurların bir araya gelerek oluşturduğu etki, "dağıtım kapasitesi" olarak adlandırılır. Yüksek dağıtım kapasitesine sahip bir solüsyon, hem çıkıntılı hem de daha derin bölgelere yaklaşık olarak eşit miktarda metal biriktirebilir. Mesela, bakır siyanür solüsyonlarındaki yüksek katot polarizasyonu ve ideal katot etkinliği-akım yoğunluğu dengesi, harika bir dağıtım kapasitesine sahip bir solüsyonun oluşmasını sağlar. Daha önceden de ifade edildiği üzere, asidik nikel kaplama solüsyonlarının dağıtım kapasitesi üzerinde, basit tuzların oluşturduğu katot polarizasyonu ve akım etkinliği belirgin bir etkiye sahip değildir. Katot polarizasyon seviyesi düşük, katot etkinliği ise yüksektir ve genellikle 1 A/dm^2 'nin üzerinde değişmez (Mordechay Schlesinger, 2011).

Dağıtım kapasitesini ölçmek için göreceli değerlendirmeler yapılabilir. Yapılan ölçümler, nikel elektrokaplama solüsyonlarının dağıtım kapasitesinin, akım yoğunluğunu azaltarak, solüsyonun elektriksel iletkenliğini ve anot-katot mesafesini artırarak, pH değeri ve sıcaklığı yükselterek optimize edilebileceğini göstermiştir. En etkili nikel kaplama solüsyonu, yüksek konsantrasyonda anhidrat sodyum sülfat içermekte olup; akım yoğunluğunun artışıyla dağıtım kapasitesinin azaldığı gözlemlenmiştir (Mandich ve Snyder, 2000).

2.7. Seviyelenme ve Mikro-Dağılım Kapasitesi

Elektrokaplama solüsyonunun yüzeydeki kusurları ve izleri örtme kapasitesi "seviyelenme" olarak tanımlanır. Bu, kaplama çözeltisinin, yüzeydeki hatalar ve ince yarıklar üzerinde birikerek onları örtmesiyle gerçekleşir. Kaplama biriktğinde, yüzey giderek daha pürüzsüz hale gelir (R Katırcı, 2015).

Mikro-dağılım kapasitesi, bir elektrokaplama çözeltisinin yüzeydeki minik hatalar ve çatlaklar boyunca ilerleme yeteneğiyle ilgilidir, bu hareket düzeltme etkisi olmadan gerçekleşir. Katkı maddesi içermeyen nikel kaplama solüsyonları, mükemmel mikro-dağılım kapasitesine sahiptir fakat seviyelenme yetenekleri sınırlıdır. Organik katkı maddeleri olmaksızın, mikro-yarıklar ve mikro oyuklarda akım yoğunluğu tüm yönlerde dengelidir (Ramazan vd., 2015). Bu durumun nedeni, birçok nikel elektrokaplama çözeltisinin düşük polarizasyon ve yüksek katot etkinliğine sahip olmasıdır.

2.8. İç Gerilim

İç gerilim, elektro kristalleşme sürecinin bir ürünü olarak kaplamanın içinde ortaya çıkan kuvvetleri ve hidrojen, kükürt gibi safsızlık elementlerinin

beraberinde birikimi sonucu ortaya çıkar. İç gerilim, çekme (sıkışabilir) veya baskılı (genişleyebilir) niteliğindedir. Çekme gerilimine sahip kaplamalar, nikel atomlarının örgüde denge değerinden daha geniş bir ortalama mesafede olduğu durumlarda, atomları daha yakın hale getirecek bir kuvvet oluşur. Çekme gerilimindeki bir kaplama, temel malzemeden ayrıldığında büzülme eğilimindedir. Ek olarak, ince bir katot tabakası tek taraflı olarak elektrokaplanırsa (arkası kapalı ve sadece ön yüzey anoda karşı bırakılarak), gerilim nedeniyle tabaka anoda doğru bükülür. Baskı gerilimli kaplamalar ise, atomlar arasındaki mesafe daha kısa olduğunda, bu atomları birbirinden ayırmaya çalışır. Temel materyalden ayrıldığında, baskı iç gerilimine sahip kaplamalar genişlemeye başlar ve yalnızca bir yüzeyi kaplanmış ince bir levha anottan uzaklaşarak bükülür (Lampke vd., 2006). Yer değiştirme teorisi, elektro-birikmelerde iç gerilimin oluşumuna dair mantıklı bir yaklaşım sunmaktadır.

2.9. Adezyon

Elektro-birikim dışında, kaplama ve ana materyal arasındaki güçlü adezyon tüm uygulamalar için esastır. Doğru şartlar altında, ana materyalin kristal yapısı kaplama içerisine devam eder (epitaksial büyüme). Epitaksial büyüme ticari elektrokaplama işlemlerinde seyrek görülse de, adezyon metal atomları arasındaki etkileşimlerle oluşur. Elektrokaplama sırasında birikmiş metal atomları, ana materyalin atomlarına uygun bir şekilde kendilerini konumlandırır. Bu, metalik, kovalent, iyonik, polar veya diğer bağ türlerinin oluşmasına neden olan atomlar arası etkileşimlerle yüzeyde kalırlar (Saeki vd., 2013). Elektrokaplama ideal adezyon, bağlanma kuvvetinin zayıf bileşenin gerilme kuvvetinden daha güçlü olduğu zamanlarda meydana gelir; yani, adezyonun niceliksel bir testle ölçülmesi durumunda hata birikinti içinde ya da ana materyalde meydana gelir, arayüzeyde değil.

3. METAL KAPLAMALARIN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Modern kaplama uygulamalarında küçük miktarlarda organik katkı kimyasallarının kaplama banyosuna ilavesi ile elde edilen kaplamanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde şaşırtıcı değişiklikler meydana gelmektedir. Kaplama içine katılan katkı kimyasalları genellikle küçük miktarda kullanılmakta ve belirli kaplamaya özel etkileri bulunmaktadır.

3.1. Organik Katkı Maddeleri:

Organik katkı maddeleri, kaplamanın yüzey kalitesini, parlaklığını ve diğer özelliklerini geliştirmek için kullanılır (Katırcı vd., 2022). Bu maddeler, kaplamanın daha düzgün, parlak ve estetik olarak hoş görünmesini sağlar (Oğuz ve Katırcı, 2023b). Ancak bu tür maddeler zamanla tükenir veya sürüklenir, bu nedenle düzenli olarak yenilenmeleri ve kontrolleri gereklidir (Oğuz ve Katırcı, 2023b).

Organik katkılar üzerinde son yıllarda geniş çaplı çalışmalar yapılmaktadır. Wang ve arkadaşları 2008 yılında Co-Ni alaşım banyosunda BOZ (2-Butyne-1,4-Diol) kimyasalının etkilerini doğrusal tarama yöntemiyle araştırmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre BOZ molekülü Co-Ni kaplamasını önlemektedir ve kaplama içinde nikel miktarını artırmaktadır. Ayrıca yüzeyin pürüzlülüğünü azalttığını ve tanecik boyutunu küçülttüğünü ifade etmişlerdir (Oniciu ve Mureşan, 1991; Wang vd., 2008).

Carlos ve Arkadaşları 2006 yılında mannitol, gliserol ve sorbitol bileşiklerinin Watts nikel elektrokaplama banyosu içinde etkilerini araştırmışlar. Ayrıca kaplama yüzey morfolojisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar da polialkol bileşiklerinin borik asitle reaksiyon vererek polialkol-kompleks bileşiği verdiği ifade etmişlerdir. Katkı malzemesi ihtiva eden nikel kaplama banyolarında negatif potansiyel aralığı -1.40 ila -1.60 V aralığında değişmektedir. SEM ölçümlerinde katkı malzemelerinin çatlakları azalttığını belirtmişlerdir. En pürüzsüz yüzey 0.3 M konsantrasyon değerinde gliserol varlığında elde etmişlerdir (Oliveira vd., 2006).

3.2. Kimyasal ve fiziksel adsorpsiyon

Katkı kimyasalları katot yüzeyinde kristal gelişmesi ve kaplamayı adsorbant olarak etkiler. Kimyasal adsorpsiyonda adsorbant ve katot yüzeyi arasında kimyasal bağ meydana gelir (genellikle kovalent bağ). Oluşan kimyasal bağ da elektron paylaşımı veya transferi söz konusudur. Elektron paylaşımı sebebiyle yeni bir elektronik konfigürasyon meydana gelmektedir. Fiziksel adsorpsiyonda meydana gelen fiziksel kuvvetler, Van der Waals veya saf elektrostatik kuvvetlerdir. Katot yüzeyi ile adsorbant arasında elektron paylaşımı söz konusu değildir. Kimyasal adsorpsiyon enerjisi fiziksel adsorpsiyon enerjisinden daha büyüktür. Kimyasal adsorpsiyon enerjisi yaklaşık 20-100 kcal/mol iken fiziksel adsorpsiyon enerjisi yaklaşık 5 kcal/mol civarındadır (Paunovic ve Schlesinger, 2006).

Metal kaplama kinetik çalışmalarındaki gelişmelere rağmen seviyelendirici ve parlatici olarak kullanılan katkı kimyasalların mekanizmasında bilinmeyen birçok aşama mevcuttur. Elektrokaplama banyosunda kullanılan katkı kimyasallarının miktarı çok fazla olmasından dolayı sınıflandırmak oldukça güçtür. Fakat Tablo 1 de gösterildiği gibi kabaca bir sınıflandırma yapılabilir (Hoar ve Holliday, 1953). İlk olarak Thomas (J. D. Thomas, 1956) tarafından seviyelenme, elektrokaplama banyolarının çukur bölgelerde daha fazla, çıkıntı bölgelerde ise daha az kaplama yapabilme yeteneği olarak açıklanmıştır. Bu davranış kaplama yüzeyinde mevcut olan pürüzlülük seviyesini düşürmektedir. Seviyelenmeyi iki şekilde incelemek mümkündür. Birincisi geometrik diğeri ise gerçek seviyelenmedir. Geometrik seviyelenme homojen akım dağılımıyla elde edilir. Gerçek seviyelenme ise organik katkıların çıkıntı bölgelerde (yüksek akım bölgelerinde) adsorbe olarak çukur bölgelerin daha fazla kaplama almasıyla elde edilir (Kardos ve Foulke, 1966).

Parlatici terimi, elektrokaplama banyosunun görünür dalga boyundan daha küçük boyutta ve yönlenmiş tanecik yapısı üretebilme yeteneği olarak tanımlanabilir (M.Schlesinger ve M.Paunovic, 2000; Oniciu ve Mureşan, 1991). Küçük tanecik yapısı gerekli fakat yeterli değildir. Aksi halde tüm küçük tanecik yapısına sahip kaplamalar parlak olurdu. Parlaklık derecesinin, elektrokaplanmış yüzeydeki yapıların aynı düzlemde olmasına bağlı olduğu bulunmuştur (Weil ve Paquin, 1960).

Tablo 1: Metal elektrokaplama kullanılan katkıların sınıflandırılması (M.Schlesinger ve M.Paunovic, 2000)

Özellikler	Sınıflandırma
Kimyasal yapı	Organik bileşikler
	İnorganik bileşikler
Arayüzey aktivitesi	Yüzey aktifler
	Anyonik
	Kasyonik
	Yüksüz
	Yüzey gerilim aktifler
Tanecik boyutu	Moleküler çözeltiler
	Kolloidler

Katot yüzeyin adsorpsiyon mekanizması	Hızlı adsorpsiyon-desorpsiyon
	Sınıf I parlaticılar
	(Taşıyıcılar, Kontrol Ajanları)
	Spesifik adsorpsiyon
	Sınıf II Parlaticılar
	(Seviyelendiriciler, Polarize ediciler)
Kaplama yüzeyindeki etkiler	Seviyelendirici ajanlar
	Parlaticı ajanlar

Watts-tipi nikel elektrokaplama banyosunda kullanılan tiyoüre gibi katkılar hem seviyelendirici hem de parlaticı olarak etki gösterebilirler (Rogers vd., 1960). Watson ve Edwards (Watson ve Edwards, 1956) nikel elektrokaplama banyosunda kullanılan kumarinin 0,00034 M konsantrasyon değerinde maksimum seviyelenme ve sütünüsü parlaklık, 0,001 M değerinde daha az seviyelenme, yüksek parlaklık ve 0,005 M değerinde ise tamamen mat ve yalnızca geometrik seviyelenme etkisi gösterdiğini ifade etmiştir. Bu durumun sebebi henüz açıklanabilmiş değildir. Çoğu durumda, her iki şartı da sağlamak için elektrokaplama banyosunda seviyelendirici ve parlaticı ajanlar birlikte kullanılır (Ramazan ve Uğur, 2014).

Organik katkıların, kullanılan elektrokaplama banyosuna göre etkileri değişmektedir (Belkis vd., 2013). Her organik kullanıldığı elektrokaplama banyosuna göre spesifik etki göstermektedir (Katırcı, 2014). Bunun sebebini açıklamak oldukça güçtür. Organik katkı olarak kullanılan kimyasalların yapısındaki küçük farklılık, parlaticı özelliğinin tamamen yok olmasına sebep olabilmektedir. Farklı banyolarda kullanılabilen organik katkı sayısı oldukça sınırlıdır (Oniciu ve Mureşan, 1991).

Polarizasyon özellikleriyle organik bileşiklerin yapısı arasında bir ilişki olduğu düşünülmektedir. Kurşunun elektrosafıştırma işleminde flavon ve flavonon bileşikleri seviyelendirici ajan olarak kullanılmaktadır. Güçlü polarizasyon özellikleri için bileşik yapısı içinde aromatik ketonik gruba bağlı hidroksil gurubu içermesi gerekmektedir (Oniciu ve Mureşan, 1991). İlişkiyi sadece yapıyla sınırlandırmak mümkün değildir. Mesela p-benzokinon ve antrakınon seviyelendirici etkiye sahip değilken naftakinon molekülü sahiptir. Burada üç yapıda aynı fonksiyonel gruplar olmasına rağmen molekül geometrisi sebebiyle p-benzokinon ve antrakınon moleküllerinde dipol

moment mevcut değildir. Ancak antrakinon bileşiği dipol momente sahiptir. Dipol momentin yokluğu metal çözelti arayüzünde homojen olmayan elektrik alanıyla etkileşimi zorlaştırmaktadır.

Aynı şekilde organik bileşiklerin elektronik konfigürasyonu ile elektroadsorpsiyon özellikleri arasında ilişki olduğu tespit edilmiştir. Organik katkının elektroadsorpsiyon özellikleri metal iyonunun indirgenmesini zorlaştırıcı etki göstermektedir. Çinko elektrokaplama, maksimum seviyelendirici ve elektroadsorpsiyon özellikleri gösteren organik molekülün ~9.4 eV değerinde iyonlaşma enerjisine sahip olduğu gözlenmiştir (Oniciu ve Mureşan, 1991). Bu sonuçlara göre yüzey gerilim düşürücü organik bileşiklerin adsorpsiyon kapasiteleri ve ıslatma etkileri moleküllerin boyutlarından ve yapısından bağımsızdır. Fakat birinci iyonlaşma enerjisi değerini belirleyen elektronik konfigürasyon yapısına bağlıdır.

4. NİKEL ELEKTROKAPLAMA BANYOSU KARAKTERİZASYONU

Elektrokaplama banyosunun optimizasyonu kaplama işleminin temel aşamalarından biridir (Katırcı, 2022). Kaplama banyosunun Proses kalite denetimi, ana maddelerin konsantrasyonlarını belirlenen değerler arasında tutmayı, pH'ı, sıcaklığı ve akım yoğunluğunu ayarlamayı ve nikel elektrokaplama solüsyonlarının saflığını sürdürmeyi içerir. Ürün kalitesi denetiminin altında, kaplama hatalarını ortadan kaldırmak, elektrokaplama öncesi yüzeylerin uygun şekilde hazırlanması ve ürün standartlarının yerine getirildiğini teyit etmek için testlerin yapılması bulunmaktadır (Fritz vd., 2002). Tablo 2 de listelenen temel nikel elektrokaplama parametreleri, kalite denetiminde sıkça başvuru faktörlerdir.

Tablo 2: Nikel elektrokaplama faktörleri (M.Schlesinger ve M.Paunovic, 2000)

Nikel	Sembol	Ni
	Atom ağırlığı	58.69
	Valans değeri	2
	özkütle	8.9
	% 100 katot veriminde kaplama hızı	1.095 gr.Am-h ⁻¹
Nikelsülfat	NiSO ₄ .6H ₂ O	% 22.3 nikel
Nikelklorür	NiCl ₂ .6H ₂ O	% 24.7 nikel
Nikelsülfamat	Ni(NH ₂ SO ₃) ₂	% 23.2 nikel
Nikelkarbonat	NiCO ₃	% 46 nikel (yaklaşık)

4.1. Proses kontrolü

Kaplama banyosunun bileşimini kontrol etmek, elektro-biriktirilmiş nikelin kalitesine katkıda bulunan en önemli faktörlerden biridir. Başlangıçta banyo, belirlenen bileşimde hazırlanmalı, uygun pH'ye ayarlanmalı ve kullanımdan önce saflaştırılmalıdır. Bu sebeple çözeltinin bileşimi ve pH değeri belirlenen sınırlar içinde tutulmalı metalik, organik ve gaz maddelerle kirlilik önlenmelidir.

4.2. Safsızlıkların kontrolü

Anorganik, organik ve gaz safsızlıklar normal işleyiş boyunca nikel kaplama çözeltilerine girebilir (Oğuz ve Katirci, 2023a). Bu safsızlıkların kaynaklarını bertaraf etmek kaplamaların kalitesini artırdığı kadar, üretkenliği ve kâr marjını da yükseltir. Anorganik kirleticiler pek çok kaynaktan gelebilir, bunlar arasında teknik kalitede nikel tuzları, sert su, asit daldırma tanklarından bulaşmalar, havada uçan tozlar, metalik daldırılmalı ısıtıcıların çift kutuplu saldırısı, sırdaki çatlaklardan tank malzemesinin korozyonu, anot çubuklarının korozyonu, tankın üstündeki yapılardan gelen kirlilik ve çözeltiliye düşen ve kaldırılmayan parçalardan gelen kirlilik sayılabilir.

Tablo 3'te nikel kaplama banyolarındaki anorganik, metalik safsızlıklar için maksimum sınırlar verilmiştir. Pek çok anorganik malzeme tarafından kirlenme derecesi sürekli süzme ve 0,2-0,5 A/dm² düşük akım yoğunluklu elektrolizle kontrol edilebilir. Filtreden gelen çözelti kompartmanın dibine pompalanır, oluklu katot levhalara gelir, barajdan geçer ve tankın elektrokaplama bölmesine gelir. Tankın uzak ucunda, dipte bulunan bir çıkıştan çıkar ve filtreye geri döner. Katı parçacıklar ve çözünebilir metalik safsızlıklar (örneğin bakır, çinko ve kurşun) bu prosedürle aynı anda giderilir. Krom, bakır, demir, çinko ve kurşun safsızlıklarının nikel birikimlerinin bazı özellikleri üzerine etkileri çok sene önce incelenmiştir ve buradaki bilgi hâlâ faydalıdır (Di Bari, 2010; Greenall ve Whittington, 1966).

Tablo 3: Nikel kaplama çözeltilerinde safsızlıklar için maksimum derişimler³ (Mandich ve Snyder, 2000)

Safsızlık	Maksimum konsantrasyon (ppm)
Krom	10
Bakır	30
Demir	50
Kuşun	2
Çinko	20
Kalsiyum ⁴	a

Organik kirleticiler pek çok kaynaktan ortaya çıkabilir, örneğin cilalama bileşikleri, baş üstü konumda bulunan teçhizattan damlayan yağ, anot torbalarından gelen apre, plastik anot torbalarındaki dalgalı yağlayıcılar, terbiye edilmemiş kafes kaplamaları veya konaklayıcı lakeler, çeşitli tür maskeleme bandı üzerindeki yapıştırıcılar, ıslatıcı araçlardan gelen bozunma ürünleri, hidrojen peroksitteki organik kararlılaştırıcılar, spreyci boya ve yeni veya yamalanmış kauçuk tank contaları sayılabilir.

Pek çok organik bileşik nikel kaplama çözeltilerinden etkin bir şekilde giderilebilir, bu ister yığınsal, ister sürekli bir tarzda olabilir. Yığınsal temelde, çözelti boş bir tanka aktarılır, 60-70°C'ye ısıtılır, en az 6 g/L aktif karbon içeren bir bulamaçla birçok saat karıştırılır, durulması beklenir ve kaplama tankının içine süzülür. Genellikle bu tür bir işlemde sonra tam bir kimyasal analiz yapmak ve çözeltinin bileşimini ayarlamak gerekir.

Organik kirliliğin tekrarlayan bir sorun olduğu çözeltiler için, küçük miktarlarda taze aktif karbonla sıklıkla kaplanan bir filtre üzerinde çözeltinin sürekli devrettirilmesi tavsiye edilir. Sürekli karbon filtrelemesi kullanıldığında, çözeltideki ıslatma aracı yenilenmeli ve nikel birikimlerinin oyulmasını önlemek için daha dikkatle kontrol edilmelidir. Şiddetli organik kirlilik durumunda, çözeltiyi karbon ile muamele etmeden önce hidrojen peroksit ile reaksiyona sokmak gerekli olabilir (Limited, 1972).

³ Çözelti formülasyonunda kompleksleşme araçları bulunduğu takdirde pek çok kirlenici bir arada bulunuyorsa bu sınırlar farklı olacaktır.

^a Kalsiyum yaklaşık 0,5 g/L doyma noktasında çökecektir, ancak kesin doyma noktası çözelti pH değerine bağlıdır.

Nikel kaplama çözeltilerinin gazlarla kirlenmesi çoğunlukla hava ve karbondioksit ile olur. Küçük miktarlarda çözünmüş hava, damla deseniyle karakterize edilen bir oyulmaya neden olabilir. Kaplama çözeltisinde çözünmüş hava genellikle, çözelti devrettiriliyorsa, pompalama sistemindeki havanın yüklenmesi takip edilebilir. Bu olursa, devrettirme pompası ve vanalar kontrol edilmeli ve gerekiyorsa değiştirilebilir. Nikel kaplama çözeltileri, normal çalışma sıcaklığından en az 60°C daha yukarı bir sıcaklığa birkaç saat ısıtıldığı takdirde çözünmüş havadan temizlenebilir. Kaplamaya devam etmeden önce çözelti çalışma sıcaklığına soğutulur. Bir nikel kaplama çözeltisindeki çözünmüş karbon dioksit genellikle pH'yi artırmak için ortama nikel karbonat ilave edildikten sonra bulunur, giderilmesi sıcak nikel kaplama çözeltilerinden birçok saat boyunca olur. Karbon dioksit içeren çözeltiler derhal kullanılmak üzere zamanlanmışsa, normal kaplama sıcaklığının 60°C veya daha üstünde 1 saat kadar ısıtma ve havayla çalkalama yapılarak kullanılmalıdır (Di Bari, 1994).

Parlak nikel kaplama üzerine safsızlıkların etkileri: Metalik ve organik safsızlıklar parlak nikel elektrobirikmesini aşağıdaki şekillerde etkiler (Gianelos, 1977b):

- Demir özellikle yüksek pH'de sertlik oluşturabilir.
- Kalsiyum, çözeltideki konsantrasyonu 60°C'de 0,5 g/L değerini aştığı zaman kalsiyum sülfat şeklinde çökmesinin sonucu olarak iğnemsiz sertliğe neden olur.
- Krom, kromat şeklinde koyu damarlara sebep olur, ayrıca yüksek akım yoğunluklu gazlama ve soyulma etkileri de verir. Organik türlerle çözeltide veya katotta üç değerlikli formuna indirgendikten sonra, krom demir, silisyum veya alüminyum ile gözlenen pus ve sertlik etkilerini oluşturabilir.
- Bakır, çinko, kadmiyum ve kurşun düşük akım yoğunluğu alanlarına etki eder, pus ve koyu-siyah birikimler oluşturur.
- Organik kirleticiler parlak bir birikim üzerinde pus veya bulut etkisi oluşturabilir veya mekanik özelliklerin azalmasına sebep olabilir. Pus bozuklukları geniş veya dar akım yoğunluk aralığında oluşabilir.
- Mekanik bozukluklar makro-çatlama olarak bilinen saç teli görünümündeki çatlaklar oluşturur ve kaplama çözeltideki kirlilikten dolayı yeterli gerilim altında kalırsa ortaya çıkabilir. Bu çatlaklar genellikle daha ağır kalınlıklarının bulunduğu alanlarda ortaya çıkar, ancak sadece bu alanlarla sınırlı değildir.

Çinko ve bakırla kirlilik çoğu zaman çinko esaslı kalıp dökümlerinin kafeslerden kaplama tankına düşerek çözünmesi ve orada kalmasına göz yumulmasıyla ortaya çıkmaktadır. Nikel kaplamadan önce yapılan yetersiz yıkama/durulama işlemi metalik malzemelerin sürüklenmesini hızlandırır. Kadmiyum ve kurşun varlığı birkaç kaynakla açıklanabilir, bunlar arasında kurşun sırlı teçhizat ve tanklar, saf olmayan tuzlar ve zayıf yıkanmış kafesler üzerinde diğer kaplama çözeltilerinin bulaşması söylenebilir (Di Bari, 2010). Krom, kromu alınmamış kafes uçları üzerine nikel çözeltisinin gelmesi ile taşınır veya krom tankında kullanılmış zayıf bakımlı kafeslerde bulunabilir, bunlar kafes kaplamasının boşluklarına, ceplerine ve yırtıklarına krom kaplama çözeltisi hapsedmiş durumdadır (R Katirci ve Altinsari, 2020).

5. NİKEL KAPLAMALARIN ÖZELLİKLERİNİ KONTROL VE TEST ETME

Elektro-biriktirilmiş nikel kaplamalarının test edilmesi için gereksinimler uygulamaya göre değişiklik gösterir. Dekoratif uygulamalarda birikimin görünüşü ve kalınlığı düzenli aralıklarla kontrol edilip gözlenmelidir (R Katirci vd., 2021). Kaplanmış yüzey kabarma, sertlik, oyuk, çatlak, renk kayması, lekeler ve kaplanmamış alanlar gibi hatalardan uzak olmalıdır. Yüzeyin aynı zamanda gerekli son kata da sahip olması gerekir, bunlar parlak, saten veya yarı parlak olabilir. Dekoratif çok tabakalı kaplamalarda, birikimlerin kükürt içerikleri, tekil tabakaların görelî kalınlıkları, yarı parlak nikel tabakanın süneklîği ve tekil tabakalar arasındaki elektrokimyasal potansiyel farkı kontrol edilmelidir. Korozyon performansı ve yapışma gereksinimleri de belirlenebilir ve bunlar ilave testlere gerek duyabilir (Di Bari, 1994). Fonksiyonel ve elektrokaplama uygulamalarında, sertlik, süneklîk ve iç gerilimin gözlenmesi gerekebilir, buna ilave olarak kalınlık ve görünüm de önemlidir. Bazı test yöntemleri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

5.1. Kalınlık

ISO Standart 2177 belirtilen kulometrik yöntem ve ASTM Standart B 504 (Plastics vd., 2005) (“Electrodeposition”, t.y.) yöntemi krom ve nikel kalınlıklarını ve varsa bakır kaplama altının kalınlığını ölçmek için kullanılabilir. Kulometrik yöntem, test edilen bileşenin küçük, dikkatle tanımlanmış bir alanının kaplamasını kaldırmak için gerekli elektrik enerjisinin miktarını ölçer. Bir hücre test yüzeyine yapıştırılır ve uygun bir elektrolitle doldurulur; sonra bir katot sokulur. Bileşen anot yapılır ve devre bir elektronik kulometre üzerinden güç kaynağına bağlanır. Elektronik

kulometre doğrudan coulomb olarak okuma yapabilir ve modern cihazlarda doğrudan kalınlık ölçülebilmektedir. Kaplamanın kaldırılmasında sona yaklaşma, uygulanan gerilimde ciddi bir değişimin olmasıyla gösterilir. Üretimin rutin kontrolü için, nikel kalınlığının tahripsiz olarak bir manyetik sayaç yoluyla gözlenmesi ve aralarda sayacın standart örneklerle kalibre edilmesi uygundur. Beta geri saçılma, X-ışını spektrometri ve eddy akımı için cihazlar mevcuttur. Kalınlığın ölçülmesi için hâlâ kullanılan geleneksel bir yöntemde, kaplanan kısmın metalografiksel olarak hazırlanmış kesitinin mikroskopik olarak incelenmesidir ancak zaman alıcı ve pahalıdır. ASTM standart B 659 (Plastics vd., 2005), farklı substratlar üzerinde elektro-biriktirilmiş kaplamaların kalınlığını ölçmek için genel bir yöntem sunmaktadır.

5.2. Korozyon testi

Korozyon performansı belirtilmiş olduğu zaman, elektrokaplamacının belirli sayıda üretim parçası üzerinde hızlı korozyon testleri gerçekleştirilmesi beklenebilir. Üç hızlı korozyon testi uluslararası camiada kabul görmüştür. Bunlar, bakırla hızlandırılmış asetik asit tuz püskürtmesi (CASS), Corrodkote ve asetik asit tuz püskürtme testi. CASS ve Corrodkote testleri geleneksel kromun tek tür krom kaynağı olduğu zamanlarda geliştirilmiştir; mikrodiskontinü krom kaplamaların değerlendirilmesinde kullanıldığında, yüzeyin görünüşü gerçek çevrelere oranla daha hızlı bozunmaktadır. Bu üç test için ayrıntılar ISO Standart 1456 ve ASTM Standart B 368 (CASS) ve B 380 (Corrodkote) (Harvey, 2006) yöntemlerinde verilmiştir. CASS ve diğer korozyon test gereksinimleri ASTM standart spesifikasyon B 456 (Plastics vd., 2005) içinde çelik, çinko alaşımları veya bakır alaşımlarına uygulanan nikel ve krom kaplamaları belirtilmiştir. Plastikler üzerine yapılan nikel ve krom kaplaması için benzer bilgiler ASTM Standart spesifikasyon B 604'te verilmiştir (Plastics vd., 2005).

6. SONUÇ

Elektrokaplama, metal kaplama teknolojisinin önemli bir dalıdır ve üretimde kullanılan kaplamaların özelliklerini ve kalitesini iyileştirmek için çeşitli katkı maddeleri eklenir. Tablo 1, bu katkı maddelerini çeşitli sınıflandırmalarla detaylı bir şekilde sunmaktadır. Bu katkı maddelerinin başlıca sınıflandırma kriterleri kimyasal yapıları, arayüzey aktiviteleri, tanecik boyutları, katot yüzeyindeki adsorpsiyon mekanizmaları ve kaplama yüzeyindeki etkileri olarak belirlenmiştir.

Kimyasal yapılarına göre katkılar, organik ve inorganik bileşikler olarak iki ana kategoriye ayrılır. Organik bileşiklerin elektrokaplama sürecine etkileri, kullanılan banyoya bağlı olarak değişebilir ve her bir organik bileşiğin banyoda spesifik bir etkisi vardır. Bununla birlikte, organik katkı maddelerinin yapısında meydana gelen küçük değişiklikler, bileşiğin kaplama yüzeyinde nasıl bir etki gösterdiğini önemli ölçüde değiştirebilir.

Elektrokaplama sürecinde, katkı maddelerinin arayüzey aktivitesi de büyük bir önem taşır. Yüzey aktif maddeler, yüzey gerilimini azaltarak kaplamanın daha homojen ve düzgün olmasına yardımcı olurlar. Bu katkı maddeleri anyonik, katyonik ve yüksüz olmak üzere üç ana kategoriye ayrılır. Ayrıca, tanecik boyutlarına göre moleküler çözeltiler ve kolloidler şeklinde de sınıflandırılabilirler.

Katot yüzeyinde gerçekleşen adsorpsiyon mekanizmaları da kaplamanın kalitesi ve özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu mekanizmalar, hızlı adsorpsiyon-desorpsiyon ve spesifik adsorpsiyon olarak iki ana kategoriye ayrılır. Ayrıca, bu mekanizmaların belirli tipleri, kaplama yüzeyinde farklı etkilere neden olabilir; örneğin seviyelendirici veya parlaticı ajanlar gibi.

Kaplama yüzeyindeki etkiler açısından, katkı maddeleri genellikle seviyelendirici veya parlaticı ajanlar olarak sınıflandırılır. Bu katkı maddeleri, kaplamanın eşit ve pürüzsüz bir şekilde dağılmasını sağlar veya kaplamanın parlaklık seviyesini artırır. Özellikle tiyoüre gibi bazı katkı maddeleri hem seviyelendirici hem de parlaticı olarak çift etki gösterebilir.

Son olarak, organik bileşiklerin yapısı ve polarizasyon özellikleri arasında bir ilişki bulunmaktadır. Bazı organik bileşiklerin yapısındaki belirli gruplar, elektrokaplama sürecinde seviyelendirici ajan olarak kullanılmasını sağlar. Bununla birlikte, organik bileşiklerin elektronik konfigürasyonu, elektroadsorpsiyon özellikleri üzerinde de etkilidir. Özellikle moleküllerin boyutları ve yapısı, adsorpsiyon kapasiteleri ve ıslatma etkileri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Kısacası, elektrokaplama süreci, kullanılan katkı maddelerinin kimyasal yapılarına, arayüzey aktivitelerine, tanecik boyutlarına ve katot yüzeyindeki adsorpsiyon mekanizmalarına bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Bu katkı maddelerinin doğru şekilde seçilmesi ve kullanılması, kaplamanın kalitesi ve özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdel-Hamid, Z. 1998. "Improving the throwing power of nickel electroplating baths". *Materials Chemistry and Physics*, 53(3), 235-238.
- Belkis, U., Esmâ, S., Ramazan, K. 2013. "The investigation of electrochemical effect of diol compounds in nickel electroplating bath". *J Mater Sci Eng Adv Technol*, 8(2), 55-68.
- Di Bari, G. A. 1994. "Nickel plating".
- Di Bari, G. A. 2010. "Electrodeposition of Nickel". İçinde *Modern Electroplating* (ss. 79-114). John Wiley & Sons, Ltd. Electrodeposition. t.y.
- Fritz, T., Cho, H. S., Hemker, K. J., Mokwa, W., Schnakenberg, U. 2002. "Characterization of electroplated nickel". *Microsystem Technologies*, 9, 87-91.
- Gianelos, L. 1977a. "Nickel. Pt. 3. Purification Methods Involved in Troubleshooting Ni Plating Solutions". *Plating and Surface Finishing*, 64(10), 22.
- Gianelos, L. 1977b. "Nickel. Pt. 3. Purification Methods Involved in Troubleshooting Ni Plating Solutions". *Plating and Surface Finishing*, 64(10), 22.
- Greenall, G. J., Whittington, C. M. 1966. "Metallic Impurities in Nickel Plating Solutions". *Plating*, 53(2), 217-224.
- Harvey, J. N. 2006. "On the accuracy of density functional theory in transition metal chemistry". *Annual Reports Section "C" (Physical Chemistry)*, 102, 203-226.
- Hoar, T. P., Holliday, R. D. 1953. "The inhibition by quinolines and thioureas of the acid dissolution of mild steel". *Journal of Applied Chemistry*, 3(11), 502-513.
- J. D. Thomas. 1956. "Proc. Am. Electroplaters Soc.", 43-60.
- Kardos, O., Foulke, D. G. 1966. "Advances in Electrochemistry and Electrochemical Engineering. Vol. 2 (edited by Ch. W. Tobias)". Interscience Publishers, New York.
- Katırcı, R. 2014. "Effects of ZnO and NaOH in Zn-Ni bath". *Surface Engineering*, 1743294414Y.000.
- Katırcı, R. 2015. "Statistical optimisation of trivalent chromium bath and characterisation of coating defects". *Surface Engineering*, 31(6), 465-471.

- Katirci, R., Aktas, H., Zontul, M. 2021. "The prediction of the ZnNi thickness and Ni % of ZnNi alloy electroplating using a machine learning method". Transactions of the IMF, 99(3), 162-168.
- Katirci, R., Altinsari, A. 2020. "The conversion of the waste Cr(VI) electroplating bath to Cr(III) electroplating bath". International Journal of Environmental Science and Technology, 17(10), 4205-4216.
- KATIRCI, RAMAZAN. 2014. "Statistical Approach to Optimizing a Zn–Ni Bath Containing ED and TEA". Surface Review and Letters, 22(01), 1550015.
- Katırcı, Ramazan. 2022. "Predicting the Thicknesses of Zinc Coated Plates by Machine Learning Methods". İçinde 3. *International Dicle Scientific Research and Innovation Congress 26-27 November* (ss. 1530-1543). Geliş tarihi gönderen <https://www.researchgate.net/publication/371499952>
- Katırcı, Ramazan. 2023. "Exploring The Mechanism Of Chromium (Iii) Complexation With Malonic Acid Using DFT". 3. International Antalya Scientific Research And Innovative Studies Congress, 996-1010.
- KATIRCI, Ramazan, Akgün, H. M., Tekin, B., Kömürkaya, O. G., Zontul, M., Kaynar, O. 2022. "Classification of Zinc-Coated Parts in Accordance with their Brightness Degree using Deep Learning Techniques". Journal of the Turkish Chemical Society Section B: Chemical Engineering, 5(2), 145-156.
- KATIRCI, Ramazan, ALTINSARI, A. 2021. "Cr (VI) elektrokaplama banyolarının Cr (III) banyolarına dönüştürülmesinde etkin faktörlerin belirlenmesi". İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları, 2(2), 30-40.
- Katirci, Ramazan, Danaci, K. I. 2023. "The optimization of nickel electroplating process parameters with artificial intelligence methods". Journal of Applied Electrochemistry, 1-13.
- Katirci, Ramazan, TAKCI, H. 2021. "Makine Öğrenmesi Kullanarak Krom Kaplama Örtme Gücünün Tahmin Edilmesi". Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33(2), 709-719.
- Kul, M., Oskay, K. O., Erden, F., Akça, E., Katırcı, R., Köksal, E., Akıncı, E. 2020. "Effect of process parameters on the electrodeposition of zinc on 1010 steel: Central composite design optimization". International Journal of Electrochemical Science, 15(10), 9779-9795.

- Lampke, T., Leopold, A., Dietrich, D., Alisch, G., Wielage, B. 2006. "Correlation between structure and corrosion behaviour of nickel dispersion coatings containing ceramic particles of different sizes". *Surface and Coatings Technology*, 201(6), 3510-3517.
- Limited, I. N. 1972. "*The INCO Guide to Nickel Plating*". International Nickel Limited. Geliş tarihi gönderen <https://books.google.com.tr/books?id=ZB64MgEACAAJ>
- Mandich, N. V, Snyder, L. D. 2000. "*Modern Electroplating*". (M Schlesinger, Ed.). New Jersey: Pennington.
- Mordechay Schlesinger, M. P. 2011. "*Modern Electroplating*". (M. P. Mordechay Schlesinger, Ed.). Elsevier.
- M.Schlesinger, M.Paunovic. 2000. "*Modern Electroplating*". (Mordechay Schlesinger, Ed.). New York: John Wiley.
- Newman, J. S., Tobias, C. W. 1962. "*Theoretical Analysis of Current Distribution in Porous Electrodes The Effect of the Tribromide Complex Reaction on the Oxidation/Reduction Current of the Br₂ / Br Electrode Vapor Phase Equilibria for the Systems: Activation Energies of Anodic Gold Reactions in Aqueous Alkaline Cyanide*". *J. Electrochem. Soc* (C. 109).
- Oğuz, T., Katırcı, R. 2023a. "Banyo Parametrelerinin Elektrolitik Yöntemle Kaplanmış Zn-Ni Plakalarının Nikel Oranına Etkisi". İçinde 3. *International Mediterranean Scientific Research and Innovation Congress* .
- Oğuz, T., Katırcı, R. 2023a. "Investigation of The Effect of Cr, Cu, Zn, And Fe Impurities on Brightness, Thickness and Distribution of Nickel Coating". İçinde 5. *International Marmara Scientific Research and Innovation Congress* (ss. 680-690).
- Oğuz, T., Katırcı, R. 2023b. "Investigation of the Effect of Organic Additives on Zinc Coating Thickness and Distribution". İçinde 6. *International Sciences and Innovation Congress 25-26 February 2023* (ss. 66-76).
- Oğuz, T., Katırcı, R. 2023b. "Organik Katkılarının Çinko Kaplamanın Parlaklığına Etkisi". İçinde 3. *International Mediterranean Scientific Research and Innovation Congress* .
- Oliveira, E. M., Finazzi, G. A., Carlos, I. A. 2006. "Influence of glycerol, mannitol and sorbitol on electrodeposition of nickel from a Watts bath and on the nickel film morphology". *Surface and Coatings Technology*, 200(20), 5978-5985.

- Oniciu, L., Mureşan, L. 1991. "Some fundamental aspects of levelling and brightening in metal electrodeposition". *Journal of Applied Electrochemistry*, 21(7), 565-574.
- Paunovic, M., Schlesinger, M. 2006. "*Fundamentals of electrochemical deposition*". John Wiley & Sons.
- Plastics, S., Flexible, T., Materials, B., Properties, T. 2005. "Standard Test Methods for Measurement of Gloss of High-Gloss Surfaces by Abridged". *Annual Book of ASTM Standards*, 97(Reapproved), 1-6.
- Ramazan Katırcı, B. T. 2022. "The Optimization of The Zinc Electroplating Bath Using Machine Learning And Genetic Algorithms (NSGA-II)". *Journal*, 11(4), 1050-1058.
- Ramazan, K., Esmâ, S., Belkıs, U. 2015. "Statistical optimisation of organic additives for maximum brightness and brightener analysis in a nickel electroplating bath". *Transactions of the IMF*, 93(2), 89-96.
- Ramazan, K., Uğur, Y. 2014. "Statistical studies of Zn–Ni alloy coatings using Non-cyanide alkaline baths containing polyethyleneimine complexing agents". *Transactions of the IMF*, 92(5), 245-252.
- Rogers, G. T., Ware, M. J., Fellows, R. V. 1960. "The Incorporation of Sulfur in Electrodeposited Nickel, Using Thiourea as a Brightener and Leveler". *Journal of the electrochemical society*, 107(8), 677.
- Rose, I. 2014. "Nickel Plating Handbook". Nickel Institute.
- Sadiku-Agboola, O., Sadiku, E. R., Biotidara, O. F. 2012. "The properties and the effect of operating parameters on nickel plating". *International Journal of the Physical Sciences*, 7(3), 349-360.
- Saeki, I., Seguchi, T., Kourakata, Y., Hayashi, Y. 2013. "Ni electroplating on AZ91D Mg alloy using alkaline citric acid bath". *Electrochimica Acta*, 114, 827-831.
- Sample, C., Knapp, B. 1962. "Physical and mechanical properties of electroformed nickel at elevated and subzero temperatures". İçinde *Symposium on Electroforming—Applications, Uses, and Properties of Electroformed Metals*. ASTM International.
- Sezer, E., Ustamehmetoğlu, B., Katırcı, R. 2012. "Effects of a N, N-dimethyl-N-2-propenyl-2-propene-1-ammonium chloride-2-propenamide copolymer on bright nickel plating". *Surface and Coatings Technology*, 213, 253-263.
- Sezer, E., Ustamehmetoğlu, B., Katırcı, R. 2014. "Effects of functional groups of triple bonds containing molecules on nickel electroplating". *Turkish Journal of Chemistry*, 38(5), 701-715.

- Wang, S., Hong, L., Yu, W. 2008. "Influence of 2-butyne-1, 4-diol on the structure and performance of the CoNi alloy plated by electrodeposition". *Acta Metallurgica Sinica (english Letters)*, 21, 50-56.
- Watson, S. A., Edwards, J. 1956. "An investigation of the mechanism of levelling in electrodeposition". *Transactions of the IMF*, 34(1), 167-198.
- Weil, R., Paquin, R. 1960. "The relationship between brightness and structure in electroplated nickel". *Journal of the Electrochemical Society*, 107(2), 87.

