

“

# MÜHENDİSLİK

ALANINDA ULUSLARARASI ARAŞTIRMA VE DEĞERLENDİRMELER

*Aralık 2024*

EDİTÖRLER

PROF. DR. COŞKUN ÖZALP

PROF. DR. SELAHATTİN BARDAK

”

**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana**

**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi**

**Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2024**

**ISBN • 978-625-5955-30-2**

**© copyright**

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

**Serüven Yayınevi / Serüven Publishing**

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

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

**Telefon / Phone:** 05437675765

**web:** www.seruenyayinevi.com

**e-mail:** seruenyayinevi@gmail.com

**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

# MÜHENDİSLİK

Alanında Uluslararası Araştırma ve Değerlendirmeler

ARALIK 2024

## EDİTÖRLER

PROF. DR. COŞKUN ÖZALP

PROF. DR. SELAHATTİN BARDAK



## İÇİNDEKİLER

### MGCO<sub>3</sub> İLE MODİFİYE EDİLMİŞ LİNYİTİN BOYA GİDERİM DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI

<i>Cem ÖZBEY</i> .....	1
<i>Musa SARIKAYA</i> .....	1
<i>Ayşegül YÜCEL</i> .....	1

### İNSANİ YARDIM KURULUŞLARININ ÇALIŞMALARINDA ERGONOMİK RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

<i>Celal Güngör</i> .....	17
<i>Fahrettin Yörek</i> .....	17

### BAZI İZNİK ÇİİNİ BULUNTULARININ MİKROYAPISAL KARAKTERİZASYONU

<i>Hale YILDIZAY</i> .....	31
<i>Alpagut KARA</i> .....	31

### KABLOLU KONTROL SİSTEMİ İLE KOMPAKT SUALTI GÖRÜNTÜLEME ARACI TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

<i>M. Murat TEZCAN</i> .....	43
<i>Derya KESKİN</i> .....	43

### İÇTEN YANMALI MOTORLARDA TERMİK VERİMİ ARTIRMAYA YÖNELİK BİR ALTERNATİF: TERMAL BARİYER KAPLAMA

<i>Mehmet Akif KUNT</i> .....	71
<i>Yasin Furkan GORGULU</i> .....	71

KAUÇUK ENJEKSİYON PRESİNDE AEM KAUÇUK ÜRETİMİ,  
KARAKTERİZASYONU VE KALİTE KONTROL İŞLEMLERİ

*Levent Cenk KUMRUOĞLU*..... 81

*Serbay DÖNMEZ* ..... 81

İMLANT RESTORASYONLARINDA ZİRKONYANIN ESTETİK  
VE MEKANİK AVANTAJLARI

*Nilay KUCUKDOĞAN*..... 105

Nİ-CO KOMPOZİTİNİN DUVAR KAROSU MAT SIR  
REÇETELERİNDE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

*Hale YILDIZAY* ..... 119

*Eda TAŞCI* ..... 119

YAPAY ZEKÂNIN TIBBİ CİHAZ TEKNOLOJİLERİNDEKİ  
UYGULAMALARI

*Betül Karabudak*..... 131

# BÖLÜM 1

## MGCO<sub>3</sub> İLE MODİFİYE EDİLMİŞ LİNYİTİN BOYA GİDERİM DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI

*Cem ÖZBEY<sup>1</sup>*

*Musa SARIKAYA<sup>2</sup>*

*Ayşegül YÜCEL<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, cemzby@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr. İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, musa.sarikaya@inonu.edu.tr

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun MYO, Çevre Koruma ve Kontrol Böl., Hatay, Türkiye, aysegul.yucel@iste.edu.tr

## GİRİŞ

Boya gideriminde aktif karbonlar, en yaygın kullanılan adsorban malzemelerdir. Ancak, yüksek gözenek alanına sahip olan aktif karbonların üretimindeki yüksek maliyetlerinden dolayı düşük değerli ve atıl durumda olan malzemelerin boya gideriminde kullanımı için alternatif çözüm arayışları gündeme gelmiştir. Bu amaçla, son yıllarda ekonomik değeri düşük ve atıl durumda olan malzemelerin, boyar madde giderimindeki kullanımı üzerine yapılan araştırmalarda artış görülmektedir.

Boyar madde içeren evsel ve endüstriyel atık suların çevreye doğrudan deşarj edilmesi, yeraltı ve yüzey sularının doğal rengini bozarak güneş ışınlarının suyun derinliklerine nüfuzunu engelleyebilir. Bu durum, suda fotosentez sürecini sekteye uğratarak oksijen seviyelerinin düşmesine yol açar. Ayrıca, toksik yan ürünlerin su ortamında birikmesi, çevrede ciddi yaşam tehditleri oluşturarak ekosistem üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir (Eren, 2009). Bununla birlikte, iklimle uyumlu bitki örtüsünün ve ekolojik dengedeki canlı türlerinin yapısında da değişikliklere neden olabilmektedir.

Çevre kirliliği oluşturan atık sular, fiziksel (filtrasyon, membran ve iyon değişimi vb.), kimyasal (elektro-kimyasal oksidasyon, foto-kimyasal oksidasyon, flokülasyon, koagülasyon, vb.) ve biyolojik (biyosorpsiyon aerobik ve anaerobik arıtma vb.) yöntemlerle arıtılmaktadır (Özer, 2020). Bu yöntemler arasında, özellikle endüstriyel atık sularda bulunan boyar maddelerin giderilmesinde adsorpsiyon, en çok tercih edilen tekniklerden biridir. Adsorpsiyon, kirleticilerin adsorbanın yüzeyine fiziksel veya kimyasal bağlarla tutunması esasına dayanmaktadır. Adsorpsiyon mekanizması, kirleticinin adsorbe ve desorbe edildiği noktada dengeye ulaşır ve bu durum adsorpsiyon dengesi olarak adlandırılır. Adsorpsiyon denklemi genellikle Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri ile ifade edilir. Ek olarak, yalancı birinci ve ikinci dereceden kinetik modeller adsorpsiyon kinetiklerini açıklamada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Atık su arıtımında kullanılan en yaygın adsorban aktif karbon olmakla birlikte, üretim ve yenileme maliyetlerinin yüksekliği önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle, düşük maliyetli bir alternatif olarak linyit, ucuz ve kolay erişilebilir bir adsorban olarak dikkat çekmektedir. Literatürde, ham kahverengi kömürün ve ondan üretilen sorbentlerin sulu çözeltilerden boyar madde gideriminde kullanıldığı çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır.

Mohan ve diğ., (2002), maliyeti düşük adsorban olarak termik santral uçucu külünü kullanmış, endotermik bir süreç olan adsorpsiyonun ve Freundlich izoterm modeline uygunluk gösterdiğini bildirmişlerdir.

Depci ve diğ., (2011), Rodamin B boyasının gideriminde Tunçbilek linyitinden elde edilen aktif karbonun Langmuir izotermine uyduğunu ve artan



sıcaklıkla adsorpsiyon kapasitesinin arttığını rapor etmişlerdir.

Yuliani ve diğ., (2012), kâğıt fabrikası atık suyunda linyit kullanımını araştırarak ticari aktif karbonla kıyaslamış ve boya gideriminde daha düşük, fosfor gideriminde ise daha yüksek performans gözlemlemişlerdir.

Depci ve diğ., (2016), moleküler dinamik simülasyon hazırlayarak kristal violet boyası gideriminde Gölbaşı linyitinden elde ettikleri aktif karbonu kullanmışlardır.

Aydoğmuş ve diğ., (2016), kullandıkları kömürü Van bölgesinden temin etmişlerdir. Temin edilen kömür flotasyon konsantresinden üretilen, yüzey alanı arttırılmış aktif karbonun sıcaklık artışıyla boya giderim etkinliğini arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Yuliani ve diğ., (2017), kahverengi kömür ve aktif karbonun katyonik ve anyonik boyalara karşı adsorpsiyon performanslarını incelemiş, anyonik boyalar için adsorpsiyon kapasitesinin daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir.

Kopaç ve Sulu (2019), Kilimli (Zonguldak) kömürlerinden elde edilen aktif karbonun Bazık Kırmızı 46 boyasının gideriminde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Kırma ve diğ., (2020), linyitin metilen mavisi boyasının gideriminde artan sıcaklıkla adsorpsiyon kapasitesinin arttığını tespit etmişlerdir.

He ve diğ., (2020), farklı sıcaklıklarda piroliz edilmiş linyitin, çeşitli boyaların gideriminde yüksek verim sağladığını bildirmişlerdir.

Qi ve diğ., (2011), Hindistan cevizi kabuğundan ve linyit elde edilen aktif karbonu karşılaştırarak linyitin kapasitesinin daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Kahverengi kömürün metal iyonları ve boyar maddelere karşı yüksek adsorpsiyon kapasitesi, kömür yüzeyinde bulunan ve oksijen içeren grupların katyon değişim mekanizmasına dayandığı ifade edilmektedir (Yuliani ve diğ., 2012).

Farklı aktivasyon yöntemlerinin araştırılması, yeterli gözenek oluşumunun sağlanamaması, solvent ve kimyasal tüketiminin yüksek olması, prosedürlerin karmaşıklığı, çevresel tehlike potansiyelleri ve enerji yoğunluğu gibi sorunlar nedeniyle önemini korumaktadır (Li ve ark., 2019; Tan ve ark., 2016; Patel ve ark., 2019; Foong ve ark., 2020). Kömür aktivasyonunda, yüzey alanını arttırmak (Lyu ve ark., 2017), parçacık boyutunu küçültmek (Naghdi ve ark., 2017) ve adsorpsiyon ile katalitik verimliliği iyileştirmek (Wang ve ark., 2018) amacıyla mekanokimyasal yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemler, bilyalı öğütücüler yardımıyla gerçekleştirilmekte ve işlem sırasında oluşan kinetik enerji, moleküler bağların kırılmasını ve parçacık boyutlarının küçülmesini sağlamaktadır (Lin ve ark., 2017).

Mekanokimyasal süreçler, öğütme sırasında oluşan mekanik stresin etkisiyle malzemelerin kristal yapılarında deformasyon, kusur yoğunluğunda artış ve yüzey modifikasyonu gibi değişimlere yol açmaktadır (Boldyreva, 2013; Kumar ve ark., 2020). Bu süreç, aynı zamanda malzemelerin yüzeyinde yeni işlevsel grupların oluşumuna ve adsorpsiyon kapasitesinin artmasına olanak tanımaktadır (Uzarević ve ark., 2015; Ortiz-Medina ve ark., 2019). Özellikle gezegen tipi bilyalı öğütücüler, yüksek dinamik enerji üreten kesme ve darbe kuvvetlerinin birleşimiyle, malzemelerin yüzey özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedir (Dash ve ark., 2016).

Bilyalı öğütmenin operasyonel parametreleri, elde edilen biyokömürün özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bu parametreler arasında öğütme ortamı, öğütme süresi, bilya boyutu, öğütme hızı ve sıcaklık yer almaktadır. Örneğin, kuru ve yaş bilyalı öğütme süreçleri, farklı yüzey özelliklerine ve fonksiyonel grup çeşitliliğine yol açmaktadır. Yaş öğütme genellikle daha küçük ve homojen parçacıklar oluştururken, kuru öğütme filtrasyon zorlukları açısından avantaj sağlamaktadır (Zhu ve ark., 2015; Yuan ve ark., 2019). Ayrıca, MgO içeren bilyalı öğütülmüş biyokömürlerin, yüzey alanı ve gözenek yapısındaki artışlar sayesinde adsorpsiyon kapasitelerinin belirgin şekilde iyileştirildiği bildirilmiştir (Zheng ve ark., 2020).

Düşük kaliteli kömürlerden  $MgCO_3$  ilavesiyle mekanokimyasal aktivasyonu sonucunda yüksek kaliteli gözenekli karbonlu malzemelerin üretildiği tespit edilmiştir (Dong ve ark., 2021).  $MgCO_3$ 'ün ayrışması sırasında açığa çıkan yüksek enerjili  $CO_2$ , kömür yapısında ani patlamalar oluşturarak gözeneklerin oluşumunu ve kusur yoğunluğunu artırmaktadır. Ayrıca,  $MgCO_3$ 'ün bu reaksiyonu sırasında yerel sıcaklık ve basınç artışları, kimyasal bağların kırılmasını kolaylaştırmakta ve kömürün yüzey modifikasyonunu desteklemektedir. Bu süreç, düşük kaliteli kömürlerin yüksek performanslı malzemelere dönüştürülmesinde etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Linyitlerin yüksek nem içeriği ve düşük kalorifik değerleri nedeniyle alternatif kullanım alanlarının araştırılması sürmektedir. Bu çalışmada, Afşin-Elbistan Linyit Havzası'ndan temin edilen linyitin boya giderim potansiyeli incelenmiş;  $MgCO_3$  ile yüzey özellikleri iyileştirilerek üç farklı boyanın (malahit yeşili, kristal violet, metilen mavisi) giderimi değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, linyit ve  $MgCO_3$  ilavesinin boyar madde giderimindeki etkileri açıklanmaya çalışılmıştır.

## MALZEME VE YÖNTEM

### Malzeme

Afşin-Elbistan Linyit Havzası'ndan alınan linyit numunesi, laboratuvar ortamında konileme-dörtleme yöntemiyle miktarı azaltılarak çalışmada kullanılmıştır. Numune -74 mikron (200 mesh) tanecik boyutuna kadar öğütülmüş ve karelay yöntemiyle örnekleme yapılmıştır. Deneyleerde kullanılan  $MgCO_3$  malzemesi ise Sigma firması tarafından tedarik edilmiştir.

## Yöntem

Bu çalışmada, düşük kaliteli linyitin adsorban olarak boya giderimindeki etkinliği incelenmiştir. Linyitin adsorpsiyon kapasitesini artırmak amacıyla  $MgCO_3$  (Wan ve diğ., 2019) ile mekanokimyasal aktivasyon gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, linyit kütlelerinin sırasıyla 3, 6 ve 9 katı oranında  $MgCO_3$  eklenerek bilyalı öğütücü (Retsch marka PM 100 model) kullanılarak karıştırılmıştır. Daha sonra bu adsorban aday malzemeler,  $850^\circ C$ 'de 120 dakika kalsine edilmiştir. Kalsinasyon sonrası elde edilen malzemeler, asetik asit çözeltisi (1M) ve saf su ile yıkanarak pH değeri 7'ye ayarlanmış ve ardından  $105^\circ C$ 'de bir gece etüvde kurutulmuştur. Ardından, başlangıç boyası olarak kristal violet, malahit yeşili ve bir diğer boya olarak ise metilen mavisi tercih edilmiş ve en az kullanılacak adsorban miktarının belirlenmesi için işlem görmemiş linyit ve  $MgCO_3$  ile 1:3, 1:6 ve 1:9 oranlarında karıştırılan linyit örnekleri kullanılmıştır. Bu örnekler, 100 ppm konsantrasyonda ve 100 mL'lik hacimde hazırlanan boya çözeltilerine, sırasıyla 0,25 g, 0,5 g ve 1 g eklenerek 400 rpm hızla 24 saat boyunca karıştırılmıştır. Belirlenen süre sonunda örnekler alınmış, PTFE şırınga ucu filtreden ( $0,45 \mu m$ ) geçirilerek küvetlere aktarılmıştır. UV-Vis spektrofotometre cihazı (Agilent marka Cary 60 model) kullanılarak, kristal violet için 586 nm, malahit yeşili için 615 nm ve metilen mavisi için 664 nm dalga boylarında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Boya giderim verimlerinin belirlenmesi amacıyla Eşitlik 1'de verilen formül kullanılmıştır.

$$Verim (\%) = \left[ \frac{c_0 - c_e}{c_0} \right] \times 100 \quad \text{Eş. 1}$$

$C_e$ ; denge anındaki adsorplanan boyar madde derişimi (mg/L),

$C_0$ ; başlangıç boyar madde derişimi (mg/L)

Yapılan ölçümler sonucunda, başlangıç boya türü ve en az adsorban miktarı belirlenmiştir. En kısa sürede en yüksek adsorpsiyon verimine ulaşmak için, boya derişimi sabit tutularak adsorban ve boya arasındaki temas süresinin (1 – 180 dakika) etkisi değerlendirilmiştir.

Ayrıca, adsorban malzemenin farklı sıcaklıklardaki ( $25^\circ C$ ,  $40^\circ C$  ve  $50^\circ C$ ) boya adsorpsiyon kapasitesi incelenmiş, sonuçlar doğrultusunda, adsorpsiyon hızını ve mekanizmasını anlamak amacıyla kinetik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde, yaygın olarak kullanılan yalancı birinci ve ikinci dereceden kinetik modeller değerlendirilmiştir.

Adsorbanın yüzey özelliklerini, adsorpsiyon davranışını ve adsorpsiyon sistemlerinin tasarımını anlamak için denge adsorpsiyon izotermi detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Deneyler sonucunda denge verileri Langmuir ile Freundlich izoterm modellerine uyarlanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

## ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Elbistan linyitinin elementel analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Linyite ait elementel analiz sonucu

Element	%
Karbon (C)	17,50
Kükürt (S)	2,54
Hidrojen (H)	2,38
Azot (N)	0,21

Düşük kalitedeki linyitin  $MgCO_3$  ilavesi ve mekanokimyasal aktivasyonu ile hazırlanan örnekler (0,25, 0,5 ve 1g) 100 ppm konsantrasyona sahip 100 ml hacminde olan malahit yeşili, metilen mavisi ve kristal violet boya larına 24 saat maruz bırakılmış ve bu süre sonunda boya giderim verimleri hesaplanmıştır. Her bir boya için giderim verimi Şekil 1’de verilmiştir.

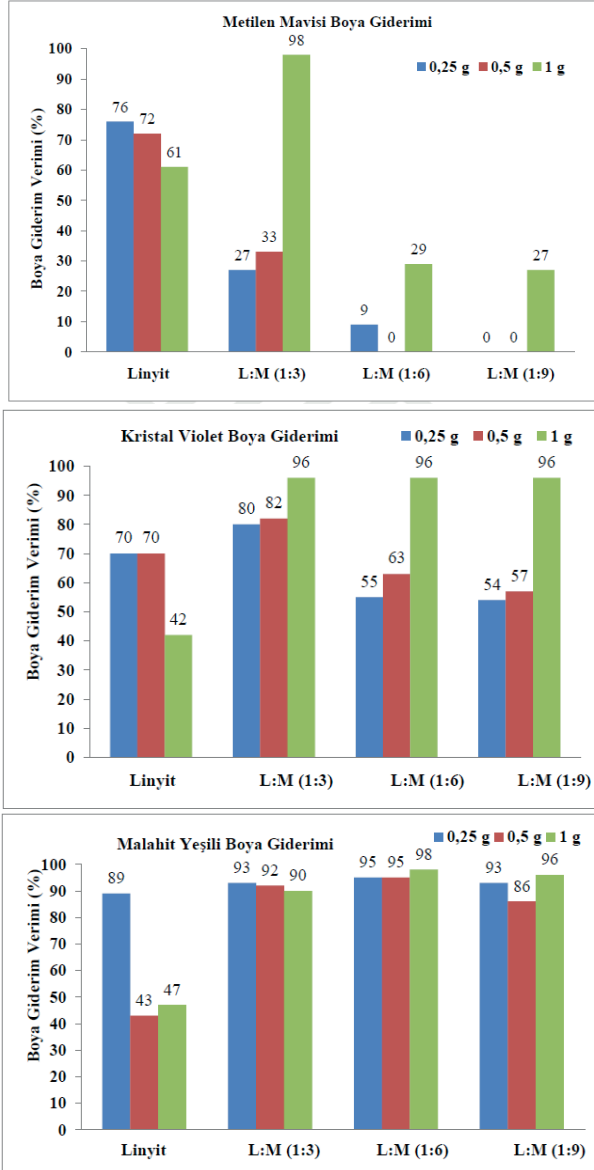
Metilen mavisi boyasının gideriminde %98’lik verime sahip olan adsorbanın Linyit/ $MgCO_3$  (1:3) oranına sahip olduğu görülmüştür. Bu adsorban malzemesinde adsorban miktarı arttıkça boya giderim veriminin de arttığı görülmüştür. Bu katkılama oranından daha yüksek katkılama yapılan adsorbanlarda ise oldukça düşük verimler elde edilmiştir. Katkısız linyitte ise bu boya gideriminde adsorban miktarı arttıkça verimin artması beklenirken düşük göstermesi boya çözeltilisinde dengeye gelemediği ön görüşünü desteklemektedir.

Kristal violet boyasının gideriminde ham linyitin ortalama %70 boya giderim verimi görülürken adsorban miktarının artışına rağmen verimin düşmesi bu boya için de aynı metilen mavisi boya gideriminde olduğu gibi boya çözeltilisinin dengeye gelemediğini yani adsorpsiyon-desorpsiyonun birbirini takip ettiği ve boya moleküllerinin linyitte bulunan boşluklar arasından tutunmadan geçtiği ön görülmektedir. Bu boya türünde 1 g adsorban malzemelerinden kullanıldığında karışımın her oranı için %96 boya giderim verimi görülmüştür. Ancak diğer adsorban miktarlarında (0,25 ve 0,50 g) boya giderim veriminin düşük olmasına rağmen Linyit/ $MgCO_3$  (1:3) oranına sahip adsorbanda bu değerlerin diğerlerine kıyasla yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Malahit yeşili boya giderimine bakıldığında ham linyitin 0,25 g adsorban olarak kullanıldığında %89 giderim verimi sağladığı, bu şartlardaki diğer boyaların gideriminden daha yüksek bir verim elde edildiği görülmüştür.  $MgCO_3$  ile yapılan mekanokimyasal aktivasyon malzemelerde ise tüm adsorban malzeme miktarlarında ortalama %90 civarında giderim sağlarken Linyit/ $MgCO_3$  (1:6) oranında hazırlanan adsorban malzeme de %98 verime ulaştığı tespit edilmiştir.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde ve en düşük adsorban malzeme mik-

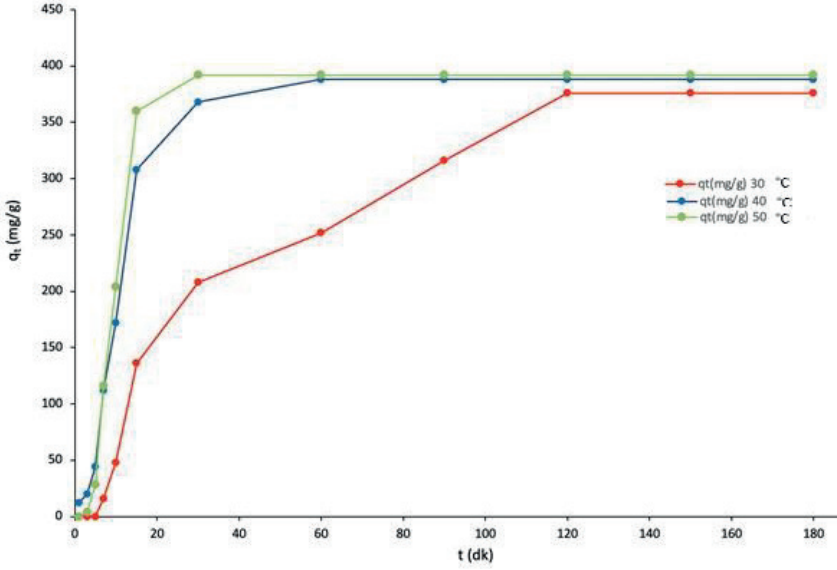
tarı ile en yüksek boya giderimi amaçlandığından çalışmalara malahit yeşili boyası ve Linyit/MgCO<sub>3</sub> (1:6) oranında hazırlanan adsorban malzemesi ile devam edilmiştir.



Şekil 1. Adsorban malzemelerin boya giderim verimleri (L: Linyit; M: MgCO<sub>3</sub>)

Başlangıç boya konsantrasyonunun (100 ppm) sabit, en yüksek boya gideriminin en az adsorban miktarında (0,25 g) olduğu ve boya türünün de (malahit

yeşili) belirlenmesinin ardından zamana bağlı boya gideriminin belirlenmesi amacıyla boya çözeltisi dengeye gelene kadar belirli zaman aralığında alınan örneklerden ölçümler yapılmıştır. Aynı zaman aralıklarında adsorpsiyonun sıcaklığa bağlı (30°C, 40°C ve 50°C) değişimi de takip edilmiştir. Bu veriler Şekil 2'de verilmiştir. Sıcaklık artışının boya gideriminde önemli parametre olduğu, 40°C ve 50°C yapılan çalışmalarda 60 dakikada çözeltinin dengeye geldiği görülmüştür. 30°C'de yapılan çalışmalarda ise çözeltinin dengeye gelmesi 120 dakikayı bulmuştur.

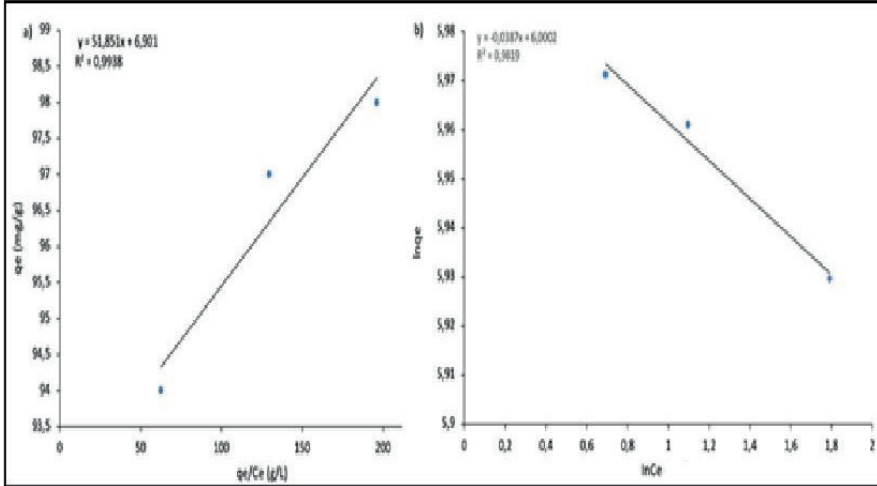


Şekil 2. Zamana ve sıcaklığa bağlı boya giderimi

Deneyler sonucunda Langmuir izotermi ve Freundlich izotermi hesaplanmıştır. Malahit yeşili gideriminde hesaplanan adsorpsiyon izotermi Şekil 3'de, izotermelere ait parametreler ise Tablo 2'de verilmiştir.

Langmuir izotermine göre, 100 ppm'lik malahit yeşili adsorpsiyonunun analizinde  $q_e$ 'nin  $q_e/C_e$ 'ye karşı grafiği kullanılarak izoterm parametreleri belirlenmiştir. Bu analiz sonucunda, Langmuir sabiti  $b = 0,0193$  L/mg ve maksimum adsorpsiyon kapasitesi  $q_m = 6,901$  mg/g olarak hesaplanmıştır. Tek tabakalı adsorpsiyonun gerçekleştiğini boyutsuz ayırma faktörü ( $R_L$ : 0,3445) değerinin sonucuna göre karar verilmiştir. Ayrıca, Langmuir izotermi için korelasyon katsayısının  $R^2 = 0,99$  olması, adsorpsiyon sisteminin Langmuir modeline yüksek derecede uyum sağladığını ortaya koymuştur.  $R_L$  değerinin 0 ile 1 arasında olması, adsorpsiyonun fiziksel özellikte gerçekleşme eğiliminde olduğunu desteklemektedir.

Freundlich izotermine göre, 100 ppm'lik malahit yeşili adsorpsiyonunda  $\ln q_e$ 'nin  $\ln C_e$ 'ye karşı grafiği incelenmiştir. Bu model için korelasyon katsayısı  $R^2 = 0,98$  olarak belirlenmiş ve Langmuir izotermine kıyasla daha düşük bir uyum gösterdiği tespit edilmiştir. Freundlich denkleminde ifade eden  $n$  değeri  $-25,839$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, Linyit:MgCO<sub>3</sub> (1:6) adsorbanının adsorpsiyon kapasitesi, bu model temel alınarak 403,509 mg/g olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Malahit yeşili adsorpsiyonu Langmuir izotermi (a) Freundlich izotermi (b)

Tablo 2. İzoterm parametreleri

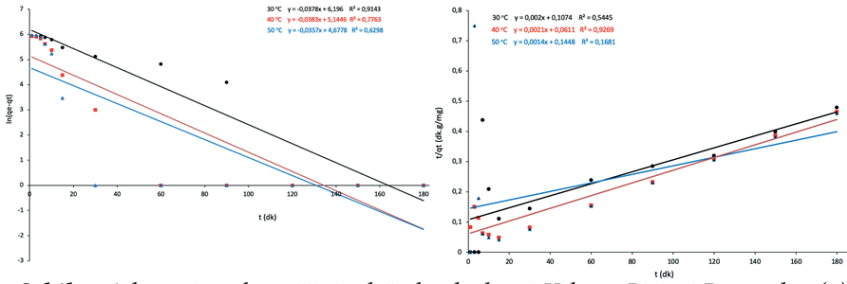
Langmuir İzotermi		Freundlich İzotermi	
Parametre	Sonuç	Parametre	Sonuç
$q_m$ (mg/g)	6,901	$n$ (g/L)	-25,839
$K_L$ (L/mg)	0,0193	$K_F$ (mg/g)	403,509
$R_L$	0,3415	$R^2$	0,98
$R^2$	0,99		

Linyit/MgCO<sub>3</sub> adsorbanının malahit yeşili adsorpsiyonu için gerçekleştirilen kinetik çalışmalar, yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece kinetik modelleri çerçevesinde analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 4'de grafiksel olarak sunulmuş, detaylı parametreler ise Tablo 3'te verilmiştir.

Yalancı birinci dereceden kinetik modelde, korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) 0,63 ile 0,91 arasında değişmiştir. Veriler, sıcaklığın artmasıyla birlikte adsorban başına düşen malahit yeşili miktarında azalma eğilimi olduğunu göstermektedir. Bu, sıcaklık değişiminin adsorpsiyon sürecine etkisini açıkça ortaya koy-

maktadır. Yalancı ikinci dereceden kinetik modelde ise korelasyon katsayısı daha düşük bir uyum göstermiştir ve  $R^2$  değerleri 0,17 ile 0,93 arasında değişmiştir. Bu modelde, adsorban başına düşen malahit yeşili miktarının 476-714 mg/g aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan analizler, Linyit:MgCO<sub>3</sub> (1:6) adsorbanının malahit yeşili adsorpsiyonunda, yalancı birinci dereceden kinetik modelin daha uygun bir açıklama sağladığını göstermektedir. Bu durum, adsorpsiyon sürecinin kinetik mekanizmasının, adsorban ve adsorbat arasındaki fiziksel etkileşimlere dayalı bir süreç olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4. Adsorpsiyon kinetiğinin değerlendirilmesi Yalancı Birinci Dereceden (a)  
Yalancı İkinci Dereceden (b)

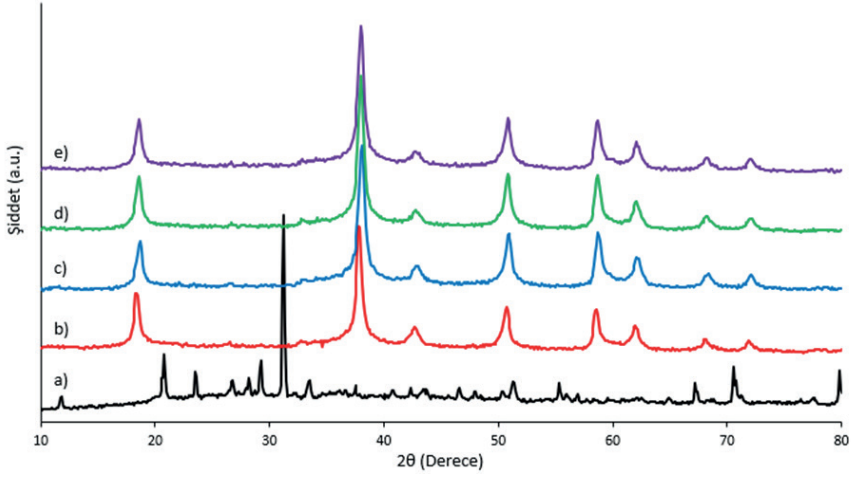
Tablo 3. Adsorpsiyonunun kinetik parametreleri

Kinetik Model	Parametre	Sıcaklık (°C)		
		30	40	50
Yalancı Birinci Dereceden Kinetik	qe (mg/g)	490,782	171,503	107,533
	k1 (1/min)	0,0378	0,0383	0,0357
	R <sup>2</sup>	0,91	0,78	0,63
Yalancı İkinci Dereceden Kinetik	qe (mg/g)	500	476,19	714,28
	k <sub>2</sub> (x10 <sup>-5</sup> )	3,72	7,22	1,35
	h (mg/g.min)	9,31	16,37	6,91
	R <sup>2</sup>	0,55	0,93	0,17

XRD analizi (Şekil 5), Elbistan linyitinin yapısında CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O'nun (PDF No: 00-021-0816) baskın olduğunu göstermiştir. MgCO<sub>3</sub> ile mekanik aktivasyon, ardından kalsinasyon ve asit yıkama işlemleri sonucunda yapısal değişiklikler meydana gelmiş ve yapı Mg(OH)<sub>2</sub> (PDF No: 00-044-1482) ile MgO'ya



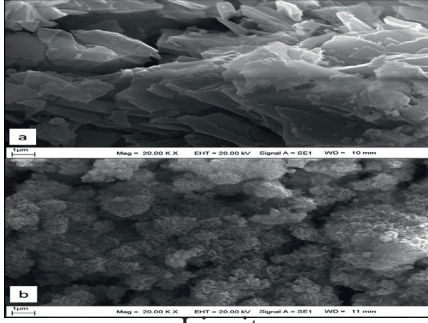
(PDF No: 01-074-1225) dönüşmüştür. Üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen adsorpsiyon işlemleri sonucunda ise yapıda herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Korkmaz'ın (2017) aynı bölgedeki çalışmasında, Elbistan linyitinde kuvars ( $\text{SiO}_2$ ), kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), pirit ( $\text{FeS}_2$ ) ve çimentolaşmış kil mineralleri tespit edilmiştir. Bu boya giderim çalışmasında kullanılan linyitin XRD pikleri, özellikle  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  ve  $30^\circ$  civarında  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 'ya ait piklerle Korkmaz'ın bulgularını doğrular niteliktedir (Korkmaz, 2017).



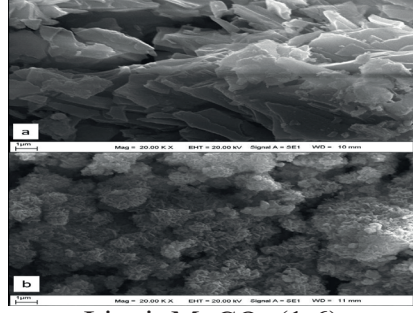
**Şekil 5.** Adsorpsiyon öncesi ve boya giderimi sonrası XRD desenleri (Linyit (a), Linyit: $\text{MgCO}_3$  (1:6) (b),  $30^\circ\text{C}$  adsorpsiyon sonrası (c),  $40^\circ\text{C}$  adsorpsiyon sonrası (d) ve  $50^\circ\text{C}$  adsorpsiyon sonrası (e))

Ham linyit, Linyit: $\text{MgCO}_3$  (1:6) ve sıcaklığa bağlı adsorpsiyon sonrası adsorbanların SEM görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Ham linyite ait SEM görüntüleri incelendiğinde dağınık yapıda  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yapılarının varlığı görülmektedir. Linyit: $\text{MgCO}_3$  (1:6) karışımında ise çubuksu  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  yapıların birleştiği ve yer yer aglomerasyonların olduğu, bazı noktalarda ise  $\text{MgO}$  yapıları görülmektedir.

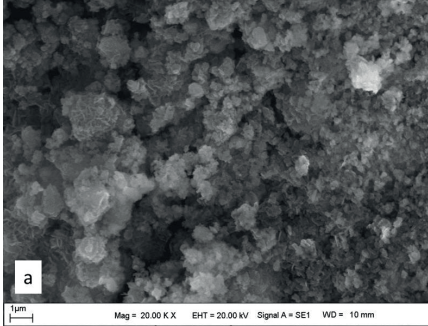
Şekil 5 ve 6 incelendiğinde genel yapının bozulmadığı hem XRD piklerinde hem de SEM görüntülerinde izlenmektedir. Sadece çubuksu yapıların üzerinde görülen birikimlerin boya moleküllerinden kaynaklandığı ön görülmektedir.



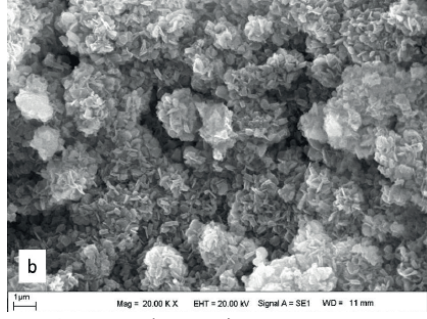
Linyit



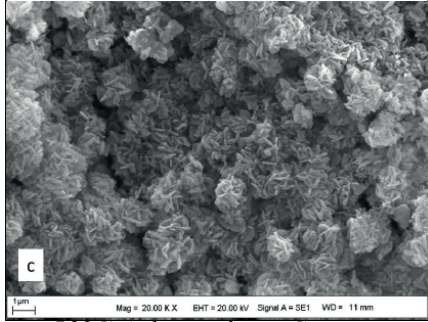
Linyit:MgCO<sub>3</sub> (1:6)



30°C Adsorpsiyon Sonrası



40°C Adsorpsiyon Sonrası



50°C Adsorpsiyon Sonrası

Şekil 6. Ham linyit, Linyit:MgCO<sub>3</sub> (1:6) ve sıcaklığa bağlı adsorpsiyon sonrası adsorbanların SEM görüntüleri

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde teknolojinin ilerlemesi, tüketimin artması ve dolayısıyla hammadde üretimin artmasının sonucu olarak üretilen atıklar -ki en yaygın olanı boyar maddeler- önemli küresel sorunlarından biri olan çevresel sorunları arttırmaktadır. Boyar madde giderimi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan adsorpsiyon yönteminde, maliyeti yüksek aktif karbon gibi malzemeler yerine, ekonomik olmayan yan ürünlerin veya atıkların ön plana çıkarak değerlendirilmesinin araştırılması oldukça yaygındır.

Ham linyitin boya giderim verimi metilen mavisi için %76 olurken, kristal violet boya gideriminde %70 ve Malahit yeşilinde ise %89 giderim verimi ile en yüksek boya giderim verimi elde edilmiştir.

Linyit/MgCO<sub>3</sub> (1:3) oranında yapılan boya giderim verimleri incelendiğinde boya gideriminde en yüksek verim metilen mavisi için 1 g adsorban ile %98, kristal violet boyasında 1 g adsorban ile %96 ve malahit yeşili boyasında ise 0,25 g adsorban ile %93 olmuştur.

Linyit/MgCO<sub>3</sub> (1:6) karışımı kullanılarak yapılan çalışma sonuçlarına göre, metilen mavisi için %29, kristal violet için %96, ve malahit yeşili için %98 giderim verimi sağlanmıştır. Minimum adsorban malzeme kullanımı hedeflenerek, 0,25 g adsorban ile en yüksek giderim verimi malahit yeşili için elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda çalışmalar malahit yeşili boyasının giderimi üzerine yoğunlaştırılmıştır.

Adsorpsiyon süreçleri Langmuir izotermi ile değerlendirilmiş, R<sub>L</sub> değerinin 0,3445 olması fiziksel ve tek tabakalı adsorpsiyon mekanizmasını doğrulamıştır. Kinetik analizlerde, sıcaklık artışıyla adsorban başına düşen boya miktarının azaldığı gözlemlenmiş ve süreç, yalancı birinci derece kinetik modeline uygun bulunmuştur.

Sonuç olarak, Elbistan linyitinin ham ve aktive edilmiş formlarının, boyar madde gideriminde ucuz, kolay erişilebilir ve etkili bir adsorban malzeme olarak kullanılabileceği ön görülmüştür.

### **ÇIKAR BEYANI**

Yazarlar, bu makalede bildirilen çalışmayı etkileyebilecek bilinen herhangi bir rekabet eden mali çıkarları veya kişisel ilişkileri olmadığını beyan etmektedirler.

### **TEŞEKKÜRLER**

Yazarlar, Yüksek Lisans tez çalışmasında desteklerini eksik etmeyen Dr. Selda SEZER'e, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje Numarası: **FDK-2020-2114**) verdikleri finansal destek ve İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi'ne verdikleri cihaz desteği için teşekkür etmek isterler.

## KAYNAKLAR

- Aksoğan Korkmaz, A.** (2017). Zenginleştirme yöntemlerinin değişik linyitlerin piroliz ürün verimleri üzerine etkisi (Doktora Tezi), İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya
- Aydogmus, R., Depci, T., Sarikaya, M., Kul, A. R., and Onal, Y.** (2016). Adsorption of crystal violet on activated carbon prepared from coal flotation concentrate. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 44, No. 5, p. 052022). IOP Publishing.
- Boldyreva E.**, (2013), Mechanochemistry of inorganic and organic systems: what is similar, what is different, Chem. Soc. Rev., 42 pp. 7719-7738
- Dash, P. Dash, T. Rout, T.K. Sahu, A.K. Biswal, S.K. and Mishra B.K.**, (2016), Preparation of graphene oxide by dry planetary ball milling process from natural graphite, RSC Adv., 6 pp. 12657-12668
- Depci, T., Önal, Y., Erdoğan, S., and Akmil, C. B.** (2011). Adsorption and kinetics of hazardous dye Rhodamine-b from aqueous solutions with activated carbon-based low-rank coal. Fresenius Environmental Bulletin, 20(2), 303-309.
- Depci, T., Sarikaya, M., Prisbrey, K. A., and Yucel, A.** (2016). Computational Chemistry Approach to Interpret the Crystal Violet Adsorption on Golbasi Lignite Activated Carbon. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 44, No. 5, p. 052026). IOP Publishing.
- Dong, D., Zhang, Y., Xiao, Y., Wang, T., Wang, J., and Gao, W.** (2021). Mechanochemistry coupled with MgCO<sub>3</sub> one-step activation to prepare coal-based hierarchical porous carbon for supercapacitors. Journal of Power Sources, 503, 230049
- Eren, Z.** (2009) İleri Oksidasyon Prosesleri İle Tekstil Boyar Maddelerinin ve Tekstil Atıksularının Arıtılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum
- Foong, S.Y. Liew, R.K. Yang, Y., Cheng, Y.W. Yek, P.N.Y., Mahari W.A.W., Lee, X.Y. Han, C.S. Vo, D.N., Le, Q.V. Aghbashlo, M. Tabatabaei, M., Sonne, C. Peng, W. and Lam S.S.** (2020), Valorization of biomass waste to engineered activated biochar by T microwave pyrolysis: Progress, challenges, and future directions Chemical Engineering Journal, 389 Article 124401
- He, Q., Wang, G., Chen, Z., Miao, Z., Wan, K., and Huang, S.** (2020). Adsorption of anionic azo dyes using lignite coke by one-step short-time pyrolysis. Fuel, 267, 117140
- Kırma, R., Sarıkaya, M., Soner, T. O. P., Uçkun, Ş., and Timür, İ.** (2020). Gazlaştırma Tesisi Odun Atığı Ve Sivas Kangal Linyit Kömürünün Boya Adsorpsiyonunda Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Bilimsel Madencilik Dergisi, 59(4), 235-245.
- Kopaç, T., and Sulu, E.** (2019). Comparison of the adsorption behavior of Basic Red 46 textile dye on various activated carbons obtained from Zonguldak coal.

Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34(3), 1227-1240.

- Kumar, M., Xiong, X., Wan, Z., Sun, Y., Tsang, D. C., Gupta, J., and Ok, Y. S.** (2020). Ball milling as a mechanochemical technology for fabrication of novel biochar nanomaterials. *Bioresource technology*, 312, 123613
- Li, R. Deng H., Zhang, X, Wang, J.J., Awasthi, M.K., Wang,Q. Xiao R., Zhou B., Du, J. and Zhang Z.** (2019), High-efficiency removal of Pb (II) and humate by a CeO<sub>2</sub>-MoS<sub>2</sub> hybrid magnetic biochar *Bioresour. Technol.*, 273 pp. 335-340
- Lin, X. Liang, Y. Lu Z., Lou, H. Zhang X., Liu, S. Zheng, B. Liu, R. Fu, R. and Wu D.,** (2017), Mechanochemistry: a green, activation-free and top-down strategy to high-surface-area carbon materials *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 5 pp. 8535-8540
- Lyu, H. Gao, B. He, F. Ding, C. Tang, J. and Crittenden, J.C.** (2017), Ball-milled carbon nanomaterials for energy and environmental applications *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 5 pp. 9568-9585
- Mohan, D., Singh, K. P., Singh, G., and Kumar, K.** (2002). Removal of dyes from wastewater using flyash, a low-cost adsorbent. *Industrial & engineering chemistry research*, 41(15), 3688-3695.
- Naghdi, M. Taheran, M. Brar, S.K. Rouissi T., Verma, M. Surampalli R.Y., Valero J.R.** (2017), A green method for production of nanobiochar by ball milling-optimization and characterization *J. Clean. Prod.*, 164 pp. 1394-1405.
- Özer, Asiye** (2020). Sarı Alıç Tohumlarından Manyetik Aktif Karbon Üretimi Ve Katyonik Boya Adsorpsiyonu Performansının İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi
- Patel, M. Kumar, R. Kishor, K. Mlsna, T., Pittman C.U. and Mohan, Jr, D.** (2019), Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: Chemistry, occurrence, effects, and removal methods *Chem. Rev.*, 119 pp. 3510-3673
- Qi, Y., Hoadley, A.F.A., C and haffee, A.L.,** (2011) Garnier, Characterisation of lignite as an industrial adsorbent, *Fuel*, 90 (4), pp. 1567-1574
- Tan, X.F., Liu, Y.G. Gu, Y.L. Xu, Y. Zeng, G.M. Hu X.J., Liu,S.B. Wang X., Liu S.M, and Li J.** (2016), Biochar-based nano-composites for the decontamination of wastewater: A review *Bioresour. Technol.*, 212 pp. 318-333
- Užarević, K., Halasz, I., and Frišćić, T.,** (2015). Real-time and in situ monitoring of mechanochemical reactions: A new playground for all chemists. *J. Phys. Chem. Lett.*, 6, 4129-4140
- Wan, L., Song, P., Liu, J., Chen, D., Xiao, R., Zhang, Y., ... & Du, C.** (2019). Facile synthesis of nitrogen self-doped hierarchical porous carbon derived from pine pollen via MgCO<sub>3</sub> activation for high-performance supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 438, 227013.
- Wang, B. Gao,B. Wan Y.** (2018), Entrapment of ball-milled biochar in Ca-alginate beads for the removal of aqueous Cd (II) *J Ind Eng Chem.*, 61 pp. 161-168
- Yuan,Y. Zhang, N. and Hu,X.** Effects of wet and dry ball milling on the physicoche-

mical properties of sawdust derived-biochar, *Instrum Sci. Technol.* (2019), pp. 1-14

**Yuliani, G., Garnier, G., and Chaffee, A. L.** (2017). Utilization of raw and dried Victorian brown coal in the adsorption of model dyes from solution. *Journal of Water Process Engineering*, 15, 43-48.

**Yuliani, G., Qi, Y., Hoadley, A. F., Chaffee, A. L., and Garnier, G.** (2012). Lignite clean up of magnesium bisulphite pulp mill effluent as a proxy for aqueous discharge from a ligno-cellulosic biorefinery. *Biomass and Bioenergy*, 36, 411-418.

**Zheng Y., Wan Y., Chen, J. Chen, H. and Gao B.,** (2020), MgO modified biochar produced through ball milling: A dual-functional adsorbent for removal of different contaminants, *Chemosphere*, 243 Article 125344

**Zhu, D., Pan, J., Lu, L., and Holmes, R. J.,** (2015), Iron ore pelletization, *Iron Ore, Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability*, pp. 435-473

# BÖLÜM 2

## İNSANİ YARDIM KURULUŞLARININ ÇALIŞMALARINDA ERGONOMİK RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

*Celal Güngör<sup>1</sup>*  
*Fahreddin Yörek<sup>2</sup>*

1 Doç. Dr., Orman Endüstrisi Mühendisliği, Orman Fakültesi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, ORCID: No: 0000-0001-9882-6393

2 İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

## GİRİŞ

İnsani yardım kuruluşları, barınma, beslenme ve sağlık hizmetlerini ihtiyaç sahiplerine ulaştırarak toplumsal dayanışmayı güçlendirme ve sosyal refahı artırma gibi önemli faydalar sağlamaktadır. Ülkemizde bu alandaki en köklü kuruluşlardan biri olan Türkiye Kızılay Derneği, 1868 yılında kurulmasından bu yana bu görevleri özveriyle yerine getirmektedir. Türk Kızılay'ı, tüzel bir kişiliğe sahip, özel hukuka tabi, kâr amacı gütmeyen, karşılıksız yardım ve hizmet sunan, kamu yararını gözeten bir sosyal hizmet kuruluşudur (Türkiye Kızılay Derneği Tüzüğü, 2022).

Kuruluşun temel faaliyet alanları; afet yönetimi, kan hizmetleri, uluslararası yardım, sosyal hizmetler, sağlık hizmetleri, ilk yardım, gönüllülük yönetimi ve eğitimi, göç ve mülteci hizmetleri ile mineralli su ve çadır-tekstil işletmeleri gibi çeşitli alanları kapsamaktadır. Bu kadar geniş bir faaliyet yelpazesine sahip olması, çalışma ortamlarında, iş kapsamında ve ürün çeşitliliğinde büyük bir çeşitlilik yaratmaktadır. Ancak bu durum, iş sağlığı ve güvenliği tehlikelerinin de çeşitlenmesine yol açmaktadır. Özellikle emek yoğun faaliyetlerin yaygınlığı nedeniyle çalışanlar ve gönüllüler ergonomik tehlikelere maruz kalma riski altındadır.

Hızlı ve aktif bir şekilde genişleyen organizasyonlarda personel ve gönüllü eksiklikleri ortaya çıkabilir; bu durum çalışanların iş yükünü artırabilir. Türk Kızılay'ında yardımların ulaştırılmasından sorumlu personel ve gönüllülerin sayısı 2021 yılında toplamda 198.199 kişiye ulaşmıştır (12.129 personel, 186.070 gönüllü). Her ne kadar toplam çalışan sayısı 2020 yılına göre %44,39 oranında bir artış gösterse de (Kızılay Konsolide Raporu, 2022) çalışan açığı halen mevcuttur. Bu eksiklikler yeni personel ve gönüllü alımlarıyla giderilmeye çalışılabilir; ancak tecrübesiz çalışanlar nedeniyle iş kazaları ve meslek hastalıkları meydana gelebilir.

Ergonomik tehlikelerin ortadan kaldırılması veya etkilerinin en aza indirilmesi için ergonomi eğitimi önem taşımaktadır. Çalışanlara ergonomi eğitimi verilmesi, hem güvenlik ve sağlık hem de performans artışı açısından önemlidir. Bu nedenle, ergonomik düzenlemeler çalışanların daha konforlu ve sağlıklı bir şekilde iş görmelerine katkı sağlayabilir.

Çalışanların ağırlık kaldırma ve kötü çalışma duruşları gibi ergonomik risk faktörlerine maruz kaldıklarında kas-iskelet sistemi (sinir, kas, tendon, bağ, disk ve eklem) yaralanmaları ve sakatlıklar meydana gelebilmektedir. Bu yaralanmalar ve sakatlıklar, gerekli ergonomik düzenlemeler yapılmadığı takdirde daha da artabilir. Bunun sonucunda iş kaybı, yaralanma tazminatı ve tedavi masrafları gibi maliyetler ortaya çıkmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında, ergonomik düzenlemelerin ne kadar gerekli olduğu açıktır.

Kızılay'ın yürüttüğü birçok faaliyet ergonomik riskleri barındırmakta-



dır. Örneğin, yardım kolilerinin depolara taşınması, depolardan çıkarılması, araçlara yüklenmesi ve ihtiyaç sahiplerine ulaştırılması işleri, “yükün bir veya daha fazla kişi tarafından elle veya beden gücü kullanılarak kaldırılması, indirilmesi, çekilmesi, itilmesi, taşınması, hareket ettirilmesi” olarak tanımlanan elle taşıma işlerini kapsamaktadır. Elle taşıma işleri, Kızılay’da çalışanlar ve gönüllüler tarafından gerçekleştirilmektedir. Kızılay’ın faaliyetleri oldukça önemli olmakla birlikte, bu faaliyetlerin çalışanların ve gönüllülerin sağlık durumunu bozmayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, faaliyetlerinin çok çeşitli ve zorlu olması nedeniyle Türkiye Kızılay Derneği’nde kas-iskelet sistemi hastalıklarını önlemek veya azaltmak için ergonomik risk analizleri gerçekleştirmek ve gerekli olması halinde kontrol önlemleri tavsiye etmektir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Ergonomik risklerin değerlendirilmesi için birçok risk değerlendirme yöntemi mevcuttur. Bu yöntemlerin çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin, basit gözleme dayalı yöntemler oldukça ucuz ve hızlıdır. Buna karşılık, ölçüme dayalı yöntemler daha karmaşık, pahalı, uzmanlık gerektiren ve zaman alıcıdır; ancak bu yöntemler daha hassas ve gerçekçi sonuçlar sunar. Sistematik gözleme dayalı yöntemlerden biri olan Rapid Entire Body Assessment (REBA), her iki grubun avantajlarını ve dezavantajlarını bir araya getirmektedir. REBA yöntemi bir çalışmada (Akar ve Canbaz, 2022; Akay ve ark. 2013; Gürleyen ve Kahya, 2018; Kahya ve Söylemez, Özel ve Çetik, 2010) risk değerlendirme yöntemi olarak kullanılmıştır. Yaygın olarak kullanılmasının yanı sıra, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına yönelik ergonomik risklerin pahalı ekipman gerektirmeden analiz edilebilmesi, birçok araştırmacı tarafından geçerlilik ve güvenilirlik testlerinin yapılmış olması ve sabit duruşların yanı sıra dinamik hareketleri de analiz edebilmesi gibi özellikleriyle bu çalışmada tercih edilmiştir. Bu çalışmada, Kızılay İzmir Karabağlar Şubesi tarafından gerçekleştirilen aynı yardımların ulaştırılması işleri, şube ve depodaki faaliyetler de dahil edilerek ergonomik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmeye alınan işlere ait görseller Şekil 1’de sunulmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, faaliyetlerinin çok çeşitli ve zorlu olması nedeniyle Türkiye Kızılay Derneği’nde kas-iskelet sistemi hastalıklarını önlemek veya azaltmak için ergonomik risk analizleri gerçekleştirmek ve gerekli olması halinde kontrol önlemleri tavsiye etmektir.

### REBA Yöntemi



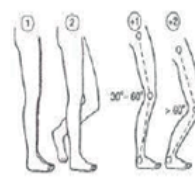
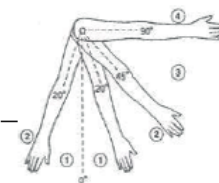
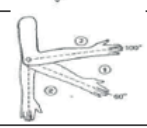
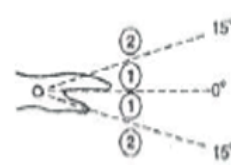
Hignett ve McAtamney tarafından 2000 yılında İngiltere Nottingham Hastanesinde geliştirilen REBA yöntemi, çalışma pozisyonlarında gövde, bel, bacaklar, kollar, ön kollar ve bileklerde meydana gelen esneme ve bükülmele-

ri, işçinin maruz kaldığı yük ile birlikte değerlendirerek puanlama yapar ve nihai puana göre risk seviyesini belirler. Bu değerlendirme için “REBA Çalışan Değerlendirme Formu” kullanılmaktadır. Form üç aşamadan oluşur: Aşama 1’de A Grubu (gövde, boyun, bacak duruşları) ve B Grubu (her iki kol, ön kol ve bilek duruşları) Tablo 1’e göre puanlanır. Her duruş pozisyonu için ilave dikkate alınması gereken düzeltme notları bulunmaktadır.



Şekil 1. Yardım kuruluşunda gerçekleştirilen işler

Tablo 1: Duruş hasar analizi

Grup	Vücut Parçası	Duruş	Risk Puanı	Puan Değişimi	Pozisyon
Tablo A	Gövde	Dik Duruş	1		
		0°- 20° fleksiyon	2	Eğer bükme ya da yana doğru dönme hareketi de varsa puana +1 ekle	
		0°- 20° ekstansiyon			
		20°- 60° fleksiyon	3		
		> 20° ekstansiyon	3		
> 60° fleksiyon	4				
Tablo A	Boyun	0°- 20° fleksiyon	1	Eğer bükme ya da yana doğru dönme hareketi de varsa puana +1 ekle	
		> 20° fleksiyon veya ekstansiyon	2		
	Bacak	Ağırlık iki bacak üstünde, yürüme ya da oturma durumunda	1	Eğer dizlerde 30°- 60° arası fleksiyon varsa puana +1	
Ağırlık tek bacak üstünde, dengesiz durumda	2	Eğer > 60° fleksiyon varsa puana +2 ekle (Oturma Hariç)			
		Çömelme, Diz Çökme	4	İlave yok	
Tablo B	Üst Kollar	20° kadar olan ekstansiyon veya fleksiyon	1	Eğer kol dönmüş veya dışarı çekilmişse: +1	
		20° ekstansiyon	2	Omuz yükseltilmiş durumdaysa: +1	
		20°- 45° arası fleksiyon	3	Eğer hareket yerçekimi desteği ile yapılıyorsa: -1	
		45°- 90° arası fleksiyon	3		
	> 90° fleksiyon	4			
Tablo B	Ön Kollar	60°- 100° fleksiyon	1		
		<60° fleksiyon	2		
		> 100° fleksiyon	2		
	Bilek	0°- 15° arası ekstansiyon veya fleksiyon	1	Bilek dönmüş durumdaysa: +1	
		> 15° fleksiyon veya ekstansiyon	2		

Aşama 2: A Grubu puana eklenmek üzere yük kuvvet değeri Tablo 2'den, B Grubu puana eklenmek üzere kavrama değeri Tablo 3'ten belirlenir.

Tablo 2: Yük/kuvvet değeri puanlaması

Yük/Kuvvet	Puan	Puan Değişimi
Yük <5 kg	0	
5 ≤ yük ≤ 10 kg	1	Ani veya hızlı kullanımı gerektiğinde +1 artan güç
10 <yük	2	

Tablo 3: Yük kavrama puanlaması

Derece	Açıklama	Puan
İyi	İlgili ekipmanların tutamakları uygun ve orta şiddette tutuş kuvveti	0
Uygun	El tutuşu kabul edilebilir fakat ideal değil, vücudun başka bir yeriyle destekleniyor	1
Kötü	El tutuşu kabul edilemez ama mümkün (zayıf)	2
Uygun Değil	Tutamak yok, herhangi bir şekilde elle tutmak ya da vücutla tutmayı desteklemek mümkün değil	3

Aşama 3: Aktivite Puanı toplam REBA puanına ilave edilmek üzere Tablo 4'ten belirlenir.

Tablo 4: Etkinlik puan değeri

Yapılan Aktivite	Puan
Bir ya da daha fazla vücut bölümü statikse, örneğin 1 dakikadan daha uzun süre tutma	+1
Tekrarlanan kısa aralıklı eylemler varsa, örneğin dakikada 4 kereden fazla tekrarlama (yürüme hariç)	+1
Eylem, duruşta hızlı büyük değişikliklere neden oluyorsa ya da dengesiz duruş	+1

REBA yönteminde risk değeri “A Puanı”, “B Puanı” ve “C Puanı” hesaplanarak belirlenir. “A Puanı” hesaplanırken gövde, boyun ve bacak duruşları Tablo 5’e göre puanlanır. Elde edilen bu sayısal değerler, Tablo A’da verilen değerlerle değiştirilerek tek bir değere dönüştürülür. Bu nihai değerlere, Tablo 2’de yer alan yük/kuvvet değerleri eklenir ve böylece son “A Puanı” belirlenir.

Tablo 5: Tablo A

Tablo A		Boyun											
		1				2				3			
		Bacak				Bacak				Bacak			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Gövde Duruş Puanı	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Tablo 6: Tablo B

Tablo B		Ön Kol					
		1			2		
		Bilek			Bilek		
		1	2	3	1	2	3
Üst Kol Puanı	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	6
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

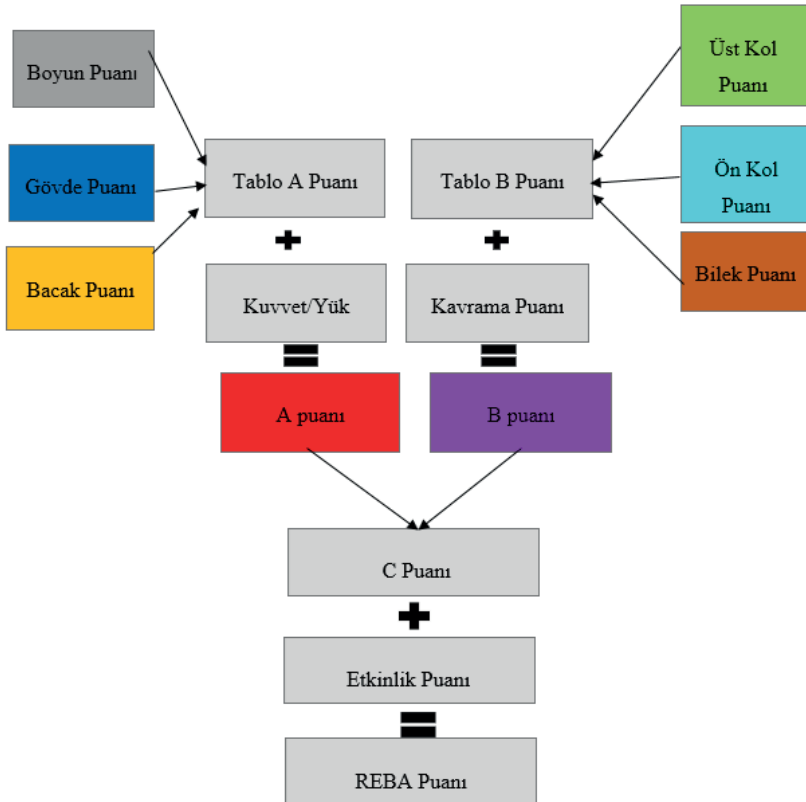
“B Puanı” belirlenirken üst kol, ön kol ve bilek duruşları Tablo 6’ya göre sayısallaştırılır. Bu sayısal değerler Tablo B’deki karşılıklarına dönüştürülerek tek bir değere indirgenir. Daha sonra, Tablo 3’te belirtilen yük ve kavrama puanı eklenerek nihai B puanı elde edilir.

“C Puanı” belirlenirken, A ve B puanlarının nihai değerleri Tablo 7’deki C tablosuna uygulanarak tek bir değere dönüştürülür. Son olarak, Tablo 4’teki etkinlik puanı eklenerek nihai REBA puanı hesaplanır.

Tablo 7: Tablo C

Tablo C	B puanı											
A puanı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Şekil 2: REBA hesabı



Tablo 8: Risk eylem karar tablosu

Eylem Seviyesi	REBA Puanı	Risk Seviyesi	Eylem Durumu
0	1	İhmal Edilebilir	Gerek yok
1	2-3	Düşük	Gerekli Olabilir
2	4-7	Orta	Gerekli
3	8-10	Yüksek	Yakın Zamanda Gerekli
4	11-15	Çok Yüksek	Hemen Gerekli

REBA yöntemi, belirlenen nihai REBA puanına göre risk seviyesini ve riske karşı önlem alınmasının aciliyetini değerlendirmek için Şekil 2'deki Risk Eylem Karar Tablosu kullanır. REBA puanı 1 ise risk ihmal edilebilir seviyededir, 2-3 puan düşük risk, 4-7 puan orta risk, 8-10 puan yüksek risk ve 11-15 puan çok yüksek risk olarak değerlendirilir. Yüksek ve çok yüksek risk seviyeleri için acil müdahale gereklidir.

### BULGULAR

Kızılay'ın insani yardım faaliyetleri esnasında en sık karşılaşılan otuz iş/görev, ergonomik risk analizleri gerçekleştirmek için seçilmiştir. Bu işler, elle yapılan işler statüsünde olup genellikle yük kaldırma, indirme veya transfer etme gibi işlemleri içermektedir. REBA yöntemi kullanılarak önce gövde, boyun ve bacak puanları tespit edilmiş, bu puanlar yardımıyla Tablo A puanı bulunmuş ve ardından kol ve bilek puanları ile Tablo B puanı hesaplanmıştır. Her iki puan, düzeltme faktörleri doğrultusunda güncellenmiş ve nihai A ve B puanları elde edilmiştir. Son olarak, bu puanlardan yola çıkarak Tablo C puanı hesaplanmış ve etkinlik seviyeleri göz önünde bulundurularak nihai REBA puanları belirlenmiştir.

Risk değerlendirmesi yapılan otuz işin ortalama REBA puanı 6,6 ve standart sapması 2,7 olarak bulunmuştur. İşlerin %10'u düşük risk seviyesinde (2-3 puan), %50'si orta risk seviyesinde (4-7 puan), %30'u yüksek risk seviyesinde (8-10 puan) ve %10'u çok yüksek risk seviyesinde (11-15 puan) olduğu belirlenmiştir. Çok yüksek ve yüksek risk seviyeleri birlikte değerlendirildiğinde, işlerin toplamda %40'ının hemen veya yakın zamanda gerekli eyleme geçilmesi gerektiği görülmüştür.

Bu çalışmada otuz farklı iş değerlendirmeye alınmıştır. Bu işler, farklı duruş pozisyonları veya yük kaldırma parametreleri gerektirdiği için "farklı iş" olarak kabul edilmiştir. Örneğin, gıda dağıtım işi temelde bir iş gibi algılanabilir, ancak bu çalışmada gıda dağıtım sırasında on bir farklı alt görev tanımlanmıştır. Gıda kutularda, poşetlerde veya bidonlarda taşınabilir ve bu süreçler gıdayı uzatma, tutma, transfer etme, kaldırma ve indirme gibi alt iş parçacıklarından oluşabilir. Bu nedenle, her biri ayrı bir iş olarak değerlendirilmiştir. Gıda dağıtımıyla ilgili bu on bir iş birlikte ele alındığında, ortalama

5,2 ( $\pm$  2,6) REBA puanı hesaplanmıştır. Benzer şekilde, beş farklı alt iş parçası olarak değerlendirilen kutu taşıma işi, tek bir iş olarak düşünüldüğünde, ortalama 9,2 ( $\pm$  2,5) REBA puanı ile en yüksek risk seviyesine sahiptir. Otuz farklı işe ait REBA risk değerlendirmeleri Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 9: REBA metodu ile değerlendirme puanlar

GÖREV	Tablo A			Tablo B			Yük/ Kuvvet	Kavrama	Etkinlik Puanı	A Puanı	B Puanı	C Puanı	REBA Puanı
	Boyun	Gövde	Bacak	Üst Kol	Ön Kol	Bilek							
Kutu taşıma 1	1	4	2	4	2	2	1	2	1	6	8	9	10
Tekerlekli sandalye taşıma	3	1	1	2	1	3	2	1	0	5	4	5	5
Kutu taşıma 2	1	1	2	1	1	2	2	2	1	4	4	4	5
Forklift kullanma	2	2	1	3	1	1	0	0	1	3	3	3	4
Masa taşıma	2	4	2	4	2	1	1	1	1	7	6	9	10
İple bağlama	1	3	1	4	2	1	1	0	1	3	5	4	5
Giyisi poşeti taşıma	2	4	2	2	1	2	1	1	1	7	3	7	8
Gıda dağıtma 1	2	2	1	3	1	1	0	0	2	3	3	3	5
Oksijen cihazı taşıma	2	2	2	1	1	1	2	0	1	6	1	6	7
El forklifti çekme	2	3	2	1	1	1	2	0	2	7	1	7	9
Giyisi kutusu taşıma	2	4	1	3	1	1	1	2	1	6	5	8	9
Yardım kutusu dağıtımı	2	3	2	2	1	1	1	1	1	6	2	6	7
Yatak taşıma	2	3	1	4	1	3	1	2	1	5	7	8	9
Merdiven çıkma	2	3	1	1	2	1	0	0	0	4	1	3	3
Kutu taşıma 3	1	3	1	4	2	2	2	3	1	4	9	8	9
Forklift tamiri	2	4	1	3	2	2	1	1	0	6	6	8	8
Gıda dağıtma 2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	3	2	3	4
Gıda dağıtma 3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	5	3	4	5
Kutu taşıma 4	2	2	2	5	2	2	2	2	1	6	10	10	11
Gıda dağıtma 4	1	1	2	1	1	2	1	1	1	3	3	3	4
Gıda dağıtma 5	1	4	2	4	1	1	1	1	1	6	5	8	9
Hijyen yardımı	3	2	1	3	2	1	0	0	0	4	4	4	4
Gıda dağıtma 6	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	3
Gıda dağıtma 7	2	2	1	2	1	1	2	0	1	5	1	4	5
Gıda dağıtma 8	2	2	1	2	1	1	1	2	1	4	3	4	5
Kutu taşıma 5	2	3	2	3	2	3	2	2	2	7	7	9	11
Gıda dağıtma 9	2	2	1	2	1	1	0	0	0	3	1	2	2
Gıda dağıtma 10	2	4	3	3	1	2	1	1	1	8	5	10	11
Kutu doldurma	2	3	3	2	1	1	0	0	1	6	1	6	7
Gıda dağıtma 11	1	4	1	3	1	1	0	0	1	3	3	3	4

## SONUÇ

Bu çalışmada Kızılay’ın insani faaliyet çalışmalarında gerek çalışanları gerekse de gönüllülerinin maruz kalabilecekleri otuz iş seçilmiş ve elle taşıma işlerinin ergonomik değerlendirmesinde oldukça sık kullanılan REBA



yöntemi ile risk değerlendirilmeleri yapılmıştır. Değerlendirme sonuçlarına göre REBA puanı ortalama  $6,6 (\pm 2,7)$  ile orta risk seviyesinde bulunmaktadır ve bu durumda düzeltici önleyici faaliyetlerin gerekli olduğu sonucu çıkarılabilir. REBA puanı 2-3 arasında üç iş (%10) tespit edilmiştir. Bu işler gıda dağıtımı (Gıda dağıtımı 6 ve Gıda dağıtımı 9) ve merdiven çıkma işleridir. Bu işler puan seviyeleri açısından düşük risk seviyesine düşmektedir. On beş iş ise 4-7 arası REBA puanı alarak orta risk seviyesinde bulunmaktadır. Yüksek risk seviyesinde ise dokuz iş bulunmaktadır. 8-10 arası REBA puanı alan bu yüksek seviyeli işler Kutu taşıma 1, Masa taşıma, Giysi poşeti taşıma, El forklifti çekme, Giysi kutusu taşıma, Yatak taşıma, Kutu taşıma 3, Forklift tamiri, Gıda dağıtım 5 işleridir. Kutu taşıma 4, Kutu taşıma 5, Gıda dağıtım 10 işleri ise 11-15 arası REBA puanı aldıkları için çok yüksek seviye risk kategorisine düşmektedir. Çok yüksek ve yüksek risk seviyeli işlerin hemen veya yakın zamanda gerekli eyleme geçilmesi gerektiği düşünülürse Kızılay'ın yürütmüş olduğu elle taşıma işlerinin %40'ının gözden geçirilmesi ve düzenleyici önleyici faaliyetler neticesinde ergonomik risk seviyesinin hemen veya yakın zamanda gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna varılabilir. Çalışanlar harici gönüllülerin de bu işleri gerçekleştirdikleri ve çalışanlar kadar işe alışkın ve uygun olmadıkları düşünülürse durumun biraz daha önem arz ettiği anlaşılabılır. Değerlendirilen işlerde yoğunlukla taşıma ve dağıtım işleri yüksek risk puanları almaktadır. Yüksek risklerin ortadan kaldırılması veya kontrol altına alınabilmesi için bir takım ergonomik kontrol önlemi önerilebilir. Yük taşıma mesafelerinin azaltılması, yükün vücuda yakın tutulması, yük kaldırma esnasında dizlerden destek alınması, yükün çok yüksek yerlere taşınmaması, yüklerin ağırsa daha küçük parçalara bölünmesi, eğer mümkünse taşıma araçları ve vinçler gibi mekaniksel yardımların alınması gibi kontrol önlemleri önerilebilir.

İşlerin ergonomik hale getirilebilmesi için yükün azaltılması, maruziyetin düşürülmesi, sürelerin azaltılması, tekrar sayısının azaltılması, çalışma duruşlarının iyileştirilmesi iş ile ilgili faktörler düzeltilebilir. İş eğitimi ve tecrübe riskleri azaltacaktır, bu nedenle elle taşıma işleri için çalışanlara eğitim verilmesi önem arz etmektedir. Zaman baskısının azaltılması ve mekanik yardım veya bir başka çalışanın yardımı sağlanması ayrıca riski azaltacaktır. Elle taşıma işinin yapıldığı malzeme veya taşıma kabının karakteristikleri iyileştirilebilir. Örneğin tutacakların eklenmesi veya yükün düzenli ve simetrik bir şekilde tercih edilmesi ergonomik riskleri azaltacaktır. Bu genel kontrol önlemlerinin yanı sıra bu çalışmada tespit edilen riskleri kontrol altına alabilmek için bazı tavsiyelerde bulunulabilir. Örneğin, ilk değerlendirmede Kutu taşıma 1 işi 4 gövde puanı almıştır. Taşıma arabası kullanarak dik duruş sağlanırsa gövde puanı 1'e düşürülebilir. Üst kol puanı 4'iken taşıma arabası kullanılarak  $20^\circ - 45^\circ$  arası fleksiyon sağlanır ve üst kol puanı 2 olur. Böylelikle REBA puanı 10'dan 5'e düşerek yüksek seviyeli risk grubundan orta seviyeli

risk grubuna geçmiş olur. Masa taşıma da gövde puanı 4 olarak hesaplanmıştır. Tekerlekli kaydırma krikolu taşıma arabası kullanarak  $0^{\circ}$ – $20^{\circ}$  arası ekstansiyon sağlanır ve gövde puanı 2'ye düşürülür. Üst kol puanı da bu doğrultuda 4'iken 2 olur. Böylelikle REBA puanı 10'dan 4'düşerek orta seviyeli risk oluşturur. Giysi poşeti taşıma gövde puanı 4 olarak hesaplanmıştır. Alışveriş arabası yardımıyla poşetleri taşıyarak etkin bir işleyiş sağlanır ve dik konuma gelinir. Böylece gövde puanı 1 olur. REBA puanı da 8'den 4'e düşerek yüksek seviyeli risk grubundan orta seviyeli risk grubuna düşer. El forklifti çekme işinde yük/kuvvet puanı 2'dir. Akülü transpalet kullanılarak çalışan fazla kuvvet uygulamamış olur ve bu durumda yük/kuvvet puanı 0 olacaktır. Böylelikle REBA puanında da değişiklik söz konusu olup, 9'dan 6'ya düşer. Giysi kutusu taşıma işinde gövde puanı 4 olarak hesaplanmıştır. Yük taşıma arabası ile  $0^{\circ}$ – $20^{\circ}$  fleksiyon veya ekstansiyon sağlanarak gövde puanı 2 olur. Böylece taşıma arabası sayesinde üst kol puanı 4'iken 3'e düşürülür. Böylelikle REBA puanı da 9'dan 6'ya düşerek yüksek seviyeli risk grubundan orta seviyeli risk grubuna geçer. Yatak taşıma gövde puanı 3 olarak hesaplanmıştır. Tekerlekli kaydırma krikolu aparat kullanımını sayesinde gövde açısında değişiklik olur. Böylelikle gövde puanı 2 olur. Üst kol da bu aparat sayesinde genişleme ve esneme rahatlık sağlayacak ve puanı 4'iken 2 olacaktır. REBA puanı da aynı seviyede 9'dan 6'ya düşerek yüksek risk grubundan orta seviyeli risk grubuna geçer. Kutu taşıma 3 üst kol puanı 4 olarak hesaplanmıştır. Tekerlekli taşıma arabası kullanarak  $20^{\circ}$ – $45^{\circ}$  arası fleksiyon sağlanır ve 2 olur. Yük/kuvvette de aynı oranda azalma sağlanır ve 2'iken 1 olur. REBA puanı da aynı seviyede 9'dan 6'ya düşerek yüksek risk grubundan orta seviyeli risk grubuna geçer. Forklift tamirinde gövde tamiri 4 olarak hesaplanmıştır. Forklift tamir edilirken bir tabure yardımıyla oturularak yapılırsa veya araç taşıma krikosu kullanılarak eğilme açısında değişiklik sağlanır. Gövde puanı da 3 olur. Böylelikle REBA puanı 8'den 7'ye düşerek yüksek seviyeli risk grubundan orta seviyeli risk grubuna geçer. Kutu taşıma 4 işinde katlanılabilir el arabası ile üst kol vücut ekseninden uzaklaşır ve  $20^{\circ}$ – $45^{\circ}$  derecelik açıya gelir. Böylece üst kol puanı 5'iken 1 olur. Malzeme kolay bir şekilde taşındığı için yük/kuvvet puanı da 1 olur. Bu doğrultu da REBA puanı da 11'den 6'ya düşerek çok yüksek risk grubundan orta seviye risk grubuna geçer. Gıda dağıtma 5 işinde gövde puanı 4 olarak hesaplanmıştır. Yemek taşıma arabası ile  $0^{\circ}$ – $20^{\circ}$  fleksiyon veya ekstansiyon sağlanarak gövde puanı 2 olur. Böylece taşıma arabası sayesinde üst kol puanı 4'iken 3 olur. REBA puanı da aynı oranda 9'dan 4'e düşerek yüksek seviyeli risk grubundan orta seviyeli risk grubuna geçer. Kutu taşıma 5 işinde gövde puanı 3 olarak hesaplanmıştır. Taşıma arabası kullanarak dik duruş sağlanır ve böylece gövde puanı 1 olur. Taşıma da kullanılan araba ile yük/kuvvette değişiklik gözlemlenir. Bu durum da yük/kuvvet 2'iken 0 olur. Böylelikle REBA puanı da 11'den 7'ye düşerek çok yüksek seviyeli risk grubundan orta seviyeli risk grubuna geçer. Gıda dağıtma 10 işinde gövde puanı 4 olarak hesaplanmıştır. Yemek taşıma arabası ile  $0^{\circ}$ – $20^{\circ}$  fleksiyon veya ekstansiyon

sağlanarak gövde puanı 1 olur. Böylelikle REBA puanı da 11'den 6'ya düşerek çok yüksek seviyeli risk grubundan orta seviyeli risk grubuna geçer.

Burada sunulan düzenleyici ve önleyici faaliyetler veya başka diğer kontrol önlemleri ile daha düşük REBA puanları elde edilebilir. Daha düşük REBA puanları daha düşük iskelet-kas sistemi rahatsızları riski anlamına gelmektedir. Daha sağlıklı ve güvenli işyerleri tasarlamak için proaktif iş güvenliği faaliyetleri oldukça önem arz etmektedir.

**Yaratıcı yapay zeka ve yapay zeka destekli teknolojilerin yazım sürecindeki kullanımı beyanı:** Bu çalışmanın hazırlanması sırasında yazar, metnin okunabilirliğini artırmak için ChatGPT'yi kontrol ve düzenleme amaçlı kullanmıştır. Bu araç/hizmet kullanıldıktan sonra yazar, içeriği ihtiyaç duyulan şekilde gözden geçirip düzenlemiş ve yayının içeriğiyle ilgili tüm sorumluluğu üstlenmiştir.

## REFERANSLAR

- Akar, Ö., & Canbaz, B. (2020). Özel gereksinimli çalışanların çalışma duruşlarının REBA ve RULA yöntemleri ile incelenmesi. *Journal of Medical Sciences*, 1(5), 36-45.
- Akay, D., Kurt, M., & Dağdeviren, M. (2013). Çalışma duruşlarının ergonomik analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3).
- Gürleyen, E., & Kahya, E. (2018). Kombi montaj hattında REBA yöntemi ile ergonomik risk analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 58-66.
- Güngör, C., & Oguz, M. F. (2024). Manual material handling risk assessment in the furniture industry: REBA method. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(3), 1760-1765. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.3.0934>
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205.
- Kızılay Konsolide Raporu. (2022). *Türk Kızılay 2019-20-21 Konsolide Faaliyet Raporu*. <https://www.kizilay.org.tr/haber/haberdetay/2850>
- Kahya, E., & Söylemez, S. (2019). Jant sektöründe QEC ve REBA yöntemleriyle ergonomik risk değerlendirmesi. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 3(2), 83-96.
- Türkiye Kızılay Derneği Tüzüğü. (2022, Nisan 26).
- Özel, E., & Çetik, O. (2010). Mesleki görevlerin ergonomik analizinde kullanılan araçlar ve bir uygulama örneği. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, 022, 41-56.

# BÖLÜM 3

## BAZI İZNIK ÇİNİ BULUNTULARININ MİKROYAPISAL KARAKTERİZASYONU

*Hale YILDIZAY*<sup>1</sup>

*Alpagut KARA*<sup>2</sup>

1 Doç.Dr. Hale YILDIZAY, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Güzel Sanatlar Meslek Yüksek Okulu, Çini sanatı ve Tasarımı Bölümü, Evliya Çelebi Yerleşkesi, 43100 Kütahya, TÜRKİYE

hale.yildizay@dpu.edu.tr, Orcid no: 0000-0002-3896-9912

2 Prof. Dr., Alpagut KARA, Sabancı Üniversitesi, Orta Mah. Üniversite Cad. No: 27/1, 34956 Tuzla, İstanbul, TÜRKİYE alpagut.kara@sabanciuniv.edu, Orcid no: 0000-0003-0257-406X

Yazar: Hale GÜNDÜZ(YILDIZAY), İznik çini kalıntılarının karakterizasyonu, (Yüksek Lisans Tezinden Düzenlenmiştir.) Danışman: Prof. Dr., Alpagut KARA  
Yer Bilgisi: Yer Bilgisi: Anadolu Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Seramik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 131208 Referans Nolu Tez.

**Tarih boyunca çini ve seramik sanatları; toplumların kültür düzeylerini, doğayı, evreni, dünyayı, insanı algılama ve düşünme özelliklerini başka bir deyişle “düşünce tarzlarını” ve “hayata bakış açılarını” ortaya koymuşlardır. Türkiye’de ortaya çıkarılmış çiniler de ülkenin geçmişi ve kültürü bakımından dünyayı aydınlatmaktadır.**

**İznik, Osmanlı dönemi Türk çini ve seramiği ile özdeşleşmiş bir isimdir. Osmanlı imparatorluğu döneminde İstanbul’u Anadolu’ya bağlayan yolların üzerinde bulunması ve bu durumun yaklaşık XVII. yüzyıla kadar sürmesinden dolayı, bu kent önemli merkez haline gelmiştir.**

Eski adıyla “Nicea” olarak bilinen İznik, Osmanlı dönemi Türk çini ve seramiği ile özdeşleşmiş bir isimdir. M.Ö. IV. yüzyıldan günümüze tarihi gelişimi izlenebilen bu küçük ve şirin yerleşim yeri, Marmara denizinin güneyinde yer alan İznik gölünün kıyısında, surlarla çevrili bir merkezdir. Anadolu’daki ilk Türk başkenti olduktan sonra tekrar Bizans egemenliğine girmiş olan İznik, 1331 yılında Orhan Gazi tarafından fethedilerek önemli bir Osmanlı şehri olmuştur (Atsız, 1992). İznik’te ilk kazı çalışmaları 1963-1969 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Bu yıllardan sonra ara verilen çalışmalar 1981’de tekrar başlatılmıştır. Yapılan kazılarda Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı kültürlerinin etkilerine rastlanmıştır. (Aslanapa & Altun, 1998)

Yaklaşık olarak XIII. yüzyılın başlarında yapılmaya başlanan İznik çinilerinin üretimi XVII. ortalarından itibaren Osmanlı imparatorluğunun siyasal istikrarsızlığına paralel olarak tamamen durmuştur. Yaklaşık olarak dört yüzyıl süren bu sanatın Türk sanat ve tarihinde küçümsenemeyecek bir yeri vardır. Yapılan kazı araştırmalarına göre XIV. yüzyılda Ortadoğu pazarını elinde tutan Çin’in etkileriyle, Çin porselenlerine özgü desenler İznik’te 1400’lü yıllar dolayında kullanılmaya başlanmıştır.

14. yüzyılın Anadolu çinileri, “Milet işi” olarak adlandırılan ilk devir Osmanlı seramikleridir. Plastikliği yüksek çömlekçi işi kırmızı bünye ile yapılan bu çiniler hep kalın kenarlı olarak üretilmişlerdir. Kırmızı bünyenin üzeri beyaz astarla kaplanmıştır. Bu çinilerin sadece içinin tamamen, dışının ise yarıya kadar astarla kaplanıp fırınladığı ve daha sonra motiflerinin çizilip boyanarak sırlanmış olduğu görülmektedir (Aslanapa, 1984; Aslanapa, 1965).

Bu yüzyılda desenler fırça darbeleriyle, hatları ince bir şekilde çizilerek veya sgraffito (kazıma) tekniğiyle işlenmiştir. Motiflerde bitkisel, radyal hatlı ve geometrik süslemeler görülmektedir. Kase yapımında merkezdeki bir rozetten dağılan, fırça darbeleriyle desenlendirilmiş, yelpaze yapraklı işlemele-re rastlanmaktadır. Renkli ve renksiz sır altında yer alan çeşitli tiplerdeki bu işlemelerde bitkisel ve geometrik desenlere ender olarak da kuş motiflerine rastlanmaktadır (Aslanapa, 1965).

Bu yüzyılda 13.yüzyıla göre yaygın olarak polikrom (çok renkli) boyaların uygulandığı görülmektedir. En karakteristik renkler kobalt mavisi, koyu mor ve firuzedir. Ayrıca yeşil ve siyah renge de rastlanmaktadır. Renk açısından zengin olan bu çiniler irili ufaklı, geniş ağızlı, kısa daire ayaklı çanaklar şeklinde üretilmiştir. Ortaya çıkarılan buluntularda nadir olarak vazo ve sürahi tarzındaki formlara da rastlanmıştır (Şahin, 1989).

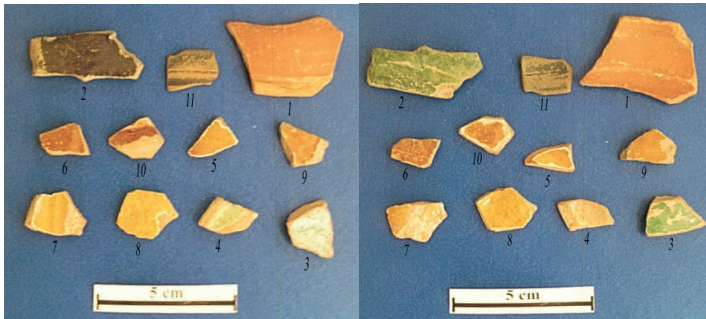
Yapılan bu çalışma daha öncede ifade edildiği üzere XIV. yüzyılda üretildiği düşünülen 11(on bir) adet İznik çini buluntusunun yapımında kullanılan bünye ve sır karakteristikleri hakkında modern karakterizasyon tekniklerini kullanarak kapsamlı bilgi etmektir.

### MALZEME ve YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada İznik gölü ve çevresinden toplanan ve XIV. yüzyılda üretildiği düşünülen on bir adet farklı İznik çini buluntusu incelenmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında bu buluntuların üretimiyle ilgili sır ve bünye karakteristikleri hakkında detaylı bilgiler edinmek ve mevcut literatüre katkıda bulunmak amaçlanmıştır. Uygun seramografik yöntemler vasıtasıyla buluntulardan alınan temsili numunelerin mikroyapısal ve mikrokimyasal analizleri bir taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve bu mikroskoba bağlı olarak çalışan enerji saçılımlı X-Işınlı Spektrometresi (EDX) vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, X-ışınları difraksiyonu (XRD) yöntemi vasıtasıyla faz analizleri gerçekleştirilmiştir.

### Kullanılan malzemeler

XIV. yüzyıla ait olduğu düşünülen çini buluntuları toplam onbir adet olup ön ve arka yüz görüntüleri Şekil 1a ve b'de verilmektedir. Görüntülerinden de anlaşılacağı üzere bu kalıntıların ne tip ürünleri temsil ettiğini söylemek oldukça zordur. Diğer yandan buluntuların kavisli olan şekillerinden bunların tabak veya vazo parçaları olduğunu tahmin edilmektedir. Parçalarda ağırlıklı olarak yeşil, sarı, kırmızı ve siyah rengin kullanıldığı görülmektedir.



(a)

(b)

Şekil 1. Buluntulara ait (a) ön yüz, (b) arka yüz görüntüsü.

### **Numune hazırlama**

Bu çalışmada çini kalıntıları elmas diskli bir laboratuvar kesme cihazıyla yaş olarak kesildikten sonra vakum sızdırma yöntemiyle kalıplanmışlardır. Kalıplanan temsili numuneler uygun aşındırma ve parlatma işlemlerine tabi tutularak taramalı elektron mikroskobunda incelemeye hazır hale getirilmişlerdir.

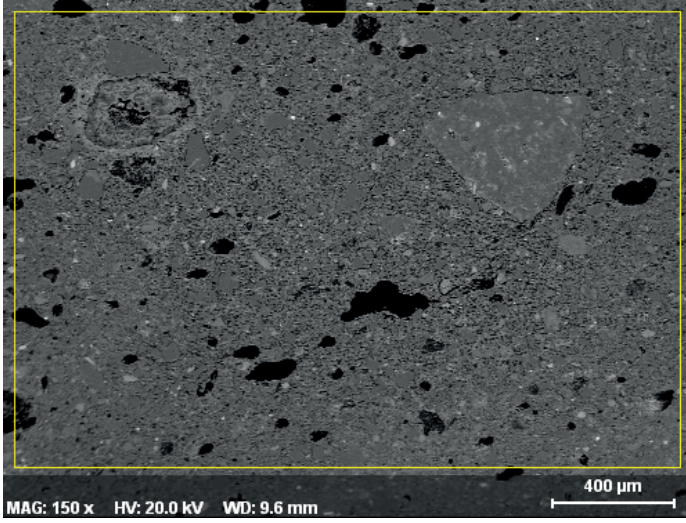
### **Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)**

Temsili numunelere ait sır-bünye ara yüzeylerinin mikroyapısal ve mikrokimyasal karakterizasyonu Zeiss Evo 50EP serisi bir Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sır ve bünye arasındaki farklılıkların daha belirgin görülebilmesi için görüntüler geri saçınımlı elektron (BSE) modunda alınmıştır. Kantitatif kimyasal analizler SEM'e bağlı "Oxford Instruments" firmasına ait AXS model EDX (Enerji Saçılımlı X-Işınları Spektrometrisi) ile gerçekleştirilmiştir. İncelenen numuneler SEM çalışması öncesi elektriksel iletkenlik kazandırmak amacıyla altın kaplama cihazında (Agar Scientific Ltd., UK) kaplanmışlardır. Bu nedenle sonuçlar bölümünde verilen kalitatif EDX spektrumlarında mevcut altın (Au) ve paladyum (Pd) pikleri kaplamadan kaynaklandığı için ihmal edilmelidir.

### **DENEYSEL BULGULAR ve İRDELEME**

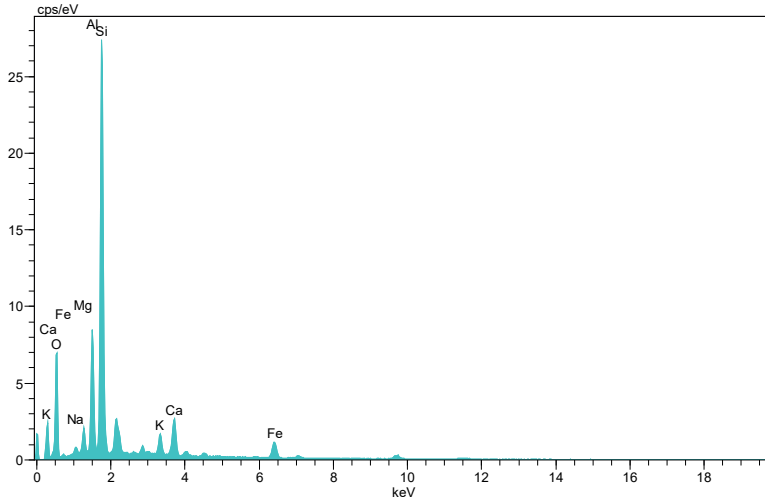
Bu gruptaki buluntuların bünyelerinden elde edilen SEM görüntüleri değerlendirildiğinde mikroyapısal karakteristiklerinin benzer olduğu görülmüştür. Şekil 2 buluntulara ait bünyeden elde edilen temsili bir BSE görüntüsünü vermektedir. Bu buluntuların yapımının İznik çinilerinin başlangıç tarihine rastlamış olduğu düşünülmesine rağmen çok fazla yoğunlaşmış olduğu görülmektedir. Kuvars bünyede oldukça fazla olmakla beraber bu tanelerinin birçoğunun çok iyi ergimemiş olduğu, keskin köşelerinden anlaşılmaktadır. Bu sonuç ise bize pişirim sıcaklığının düşük olduğunu ifade etmektedir.





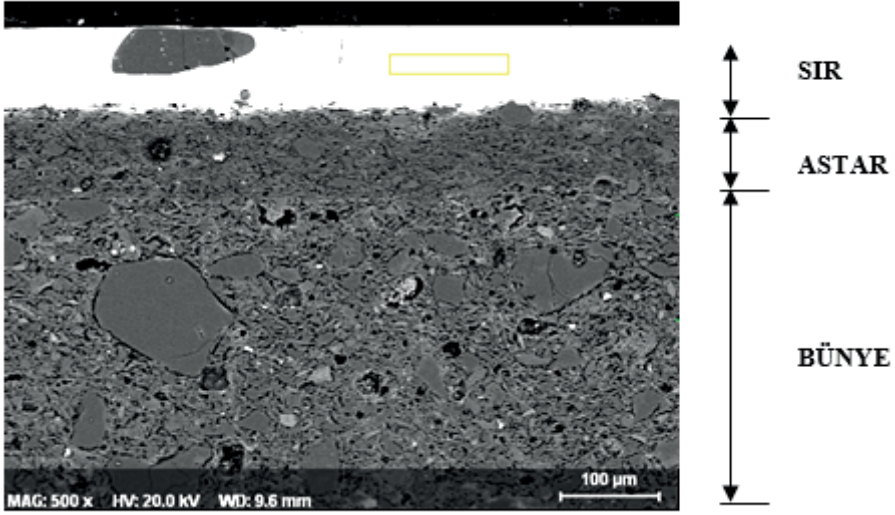
Şekil 2. (3) nolu buluntunun bünyesine ait temsili BSE görüntüsü (x150)

Bünye üzerinde yapılan kalitatif EDX analizlerinden sırasıyla yüksek miktarda Si, Al, Ca, K, Mg, Fe, az miktarda Na elementine rastlanmıştır (Şekil 3). Ayrıca, mevcut siyah alanlar poroziteleri, gri alanlar kuvars tanelerini ifade etmektedir. Bünyeden temsili kalitatif EDX (elementel) analizi Şekil 3'te verilmektedir.



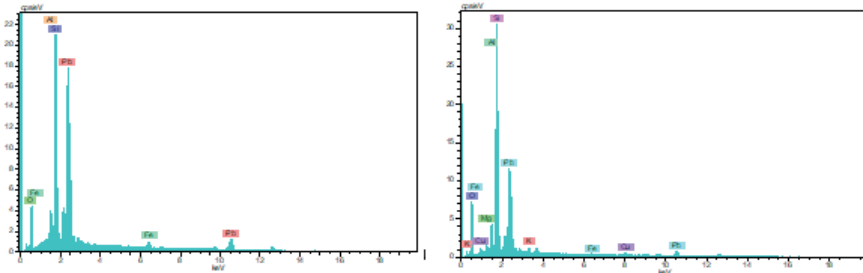
Şekil 3. Temsili kalitatif EDX analizi (3) nolu numunenin bünyesinden alınmış.

Bu grup dâhilindeki buluntuların bir kısmının sırsız olduğu görülmüştür. Sırsız buluntularda sadece engob (astar) kullanıldığı görülmektedir. Engob (astar) bünyeye göre daha homojen bir yapıya sahip içerdiği kuvars taneleri daha ince ve gözenekliliği de daha azdır. Genelde bünye üzerine uygulanan astar tabakası içerdiği ince kuvars tanelerinden dolayı dekorasyonla sır arasındaki daha kuvvetli bir bağın sağlanmasında faydalı olduğu düşünülmektedir. Şekil 4'da (3) nolu buluntunun sır-bünye yüzeyine ait temsili BSE görüntüsü.



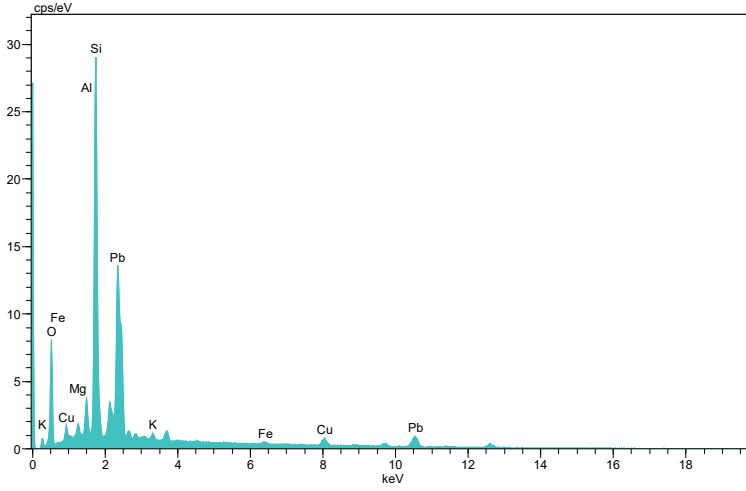
Şekil 4. (3) nolu buluntunun sır-bünye yüzeyine ait temsili BSE görüntüsü (x500).

Bu görüntüde sırnın bünyeye kıyasla farklı kontrasta sahip olmasının nedeni yüksek PbO içeriğidir. İncelenen buluntuların çoğunun sırasında Si ile Pb miktarı birbirine yakın olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 5).



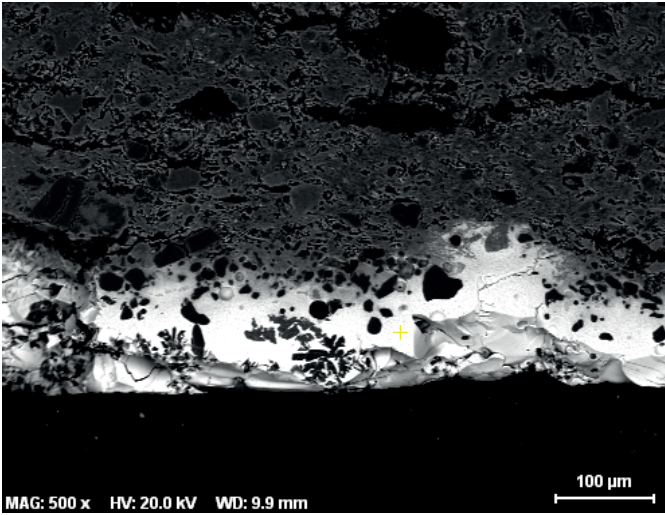
Şekil 5. (3) nolu buluntunun engobundan alınan kalitatif EDX analizleri

Buluntularda yer alan yeşil renginin CuO'den kaynaklandığı (3) nolu buluntunun sırtı üzerinde gerçekleştirilen kantitatif EDX analizinden anlaşılmıştır (Şekil 6).

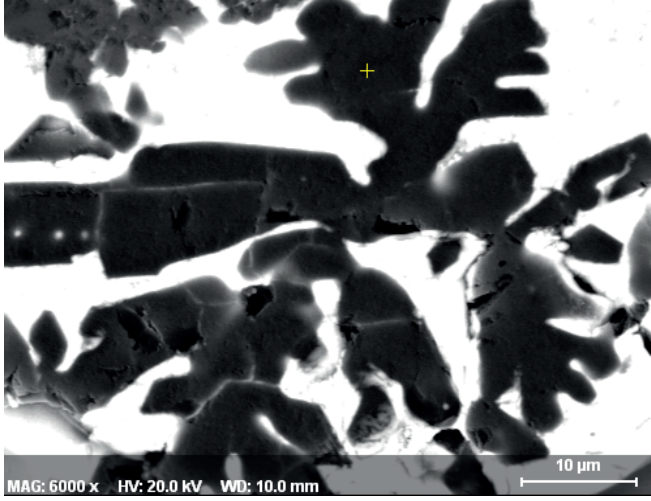


Şekil 6. (3) nolu buluntunun sırtından alınan temsili kantitatif EDX analizi.

Bu grup içerisinde yer alan 2 numaralı buluntuda sırt kesitine bakıldığında sırtın başladığı bölge ile engob arasında bazı kristal oluşumlarına rastlanmıştır (Şekil 7 ve 8).

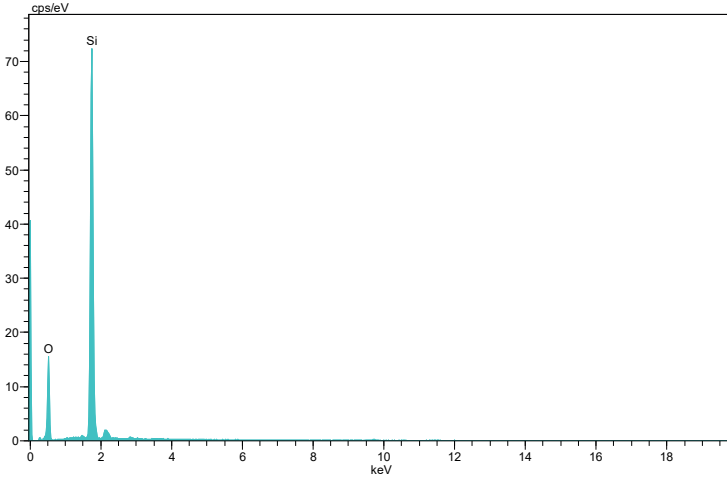


Şekil 7. (2) nolu buluntunun sırtından alınan temsili BSE görüntüsü (x500)



Şekil 8. (2) nolu buluntunun sırdan alınan temsili BSE görüntüsü (x6000)

Bu kristaller çubuksu bir yapıya sahip olup yapılan nokta EDX analizlerinden kristallerin  $\text{SiO}_2$  (kuvars) içerdiği görülmektedir (Şekil 9). Çizelge 1 (2) nolu buluntunun bünye ve sırdan alınan temsili kantitatif analizlerdir.

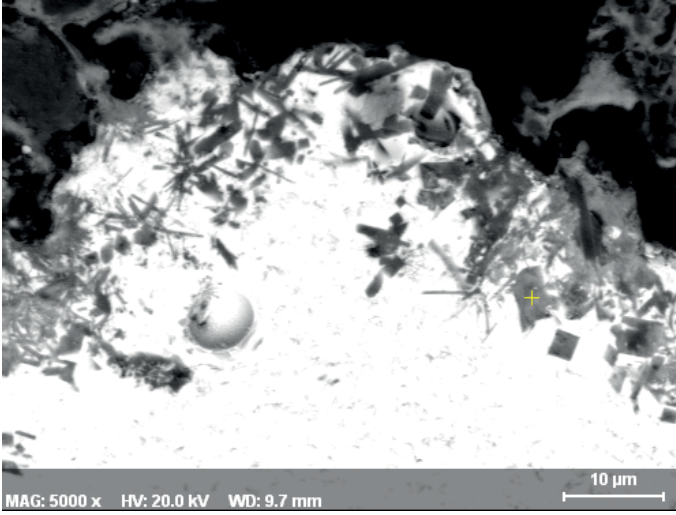
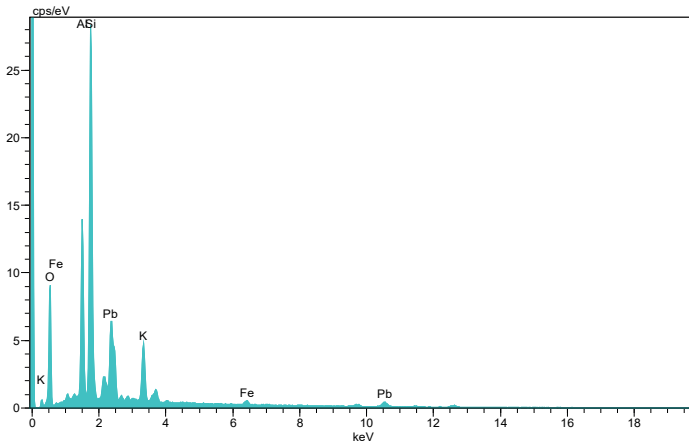


Şekil 9. (2) nolu buluntunun sırdaki koyu renkli kristallerden alınan kalitatif EDX analizi.

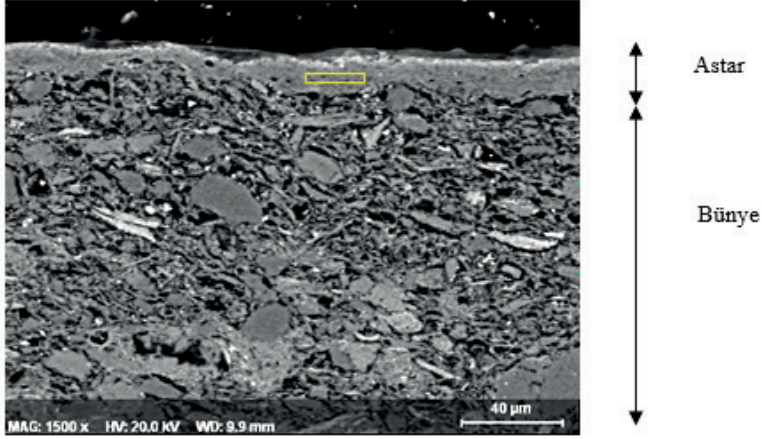
**Çizelge 1.** (2) nolu buluntunun a) bünye ve b) sıra ait kantitatif analizler (% ağırlıkça)

Oksit (%)	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	PbO
Bünye	0.92	3.96	17.54	60.07	2.10	6.90	8.51	-	-
Sır	-	0.49	2.63	46.72	0.16	-	0.88	8.71	40.41

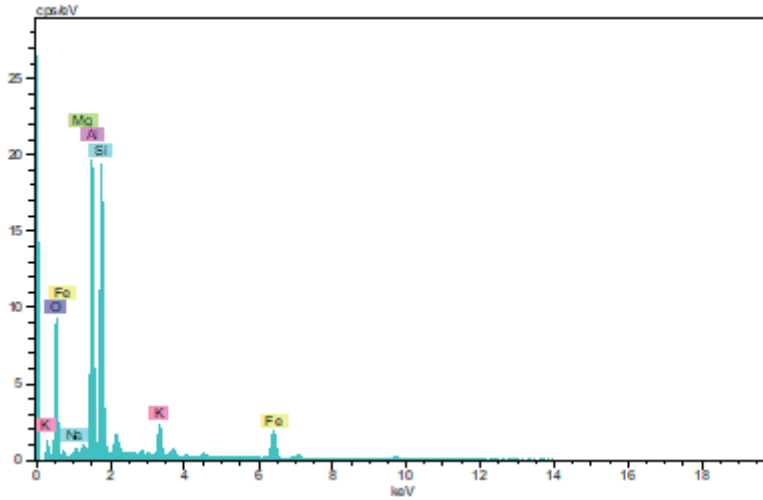
İnceleme sırasında aynı kristal oluşumlara Şekil 10'da 1 nolu bünye ve sır ara tabakasında da rastlanmıştır. Bu sırda kuvars tanecikleriyle birlikte K-feldspat benzeri yapılarla da rastlanmıştır. 1 nolu sırda rastlanan kristallere yapılan nokta EDX analizi Şekil 11'te görülmektedir.

**Şekil 10.** (1) nolu buluntunun sırdan alınan temsili BSE görüntüsü (x5000)**Şekil 11.** (1) nolu buluntunun sırdan alınan temsili kalitatif EDX analizi.

Şekil 12'de (11) nolu buluntunun bünye-astar uygulaması BSE görüntüsü ve engobundan alınan temsili kalitatif EDX (elementel) analizi Şekil 13'te verilmektedir.



Şekil 12. (11) nolu buluntunun bünye-engob yüzeyine ait temsili BSE görüntüsü (x1500)



Şekil 13. (11) nolu buluntunun engobundan alınan kalitatif EDX analizi

## GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmektedir;

Çini buluntularının içerisinde bulunan fazların homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç malzemelerin hazırlanırken iyi bir karıştırma işlemine maruz kalmadığının bir göstergesi olabilir. Çini buluntularının karakterizasyonu esnasında numunelerin içerisindeki kuvars miktarının bünyede oldukça fazla olmakla beraber bu tanelerinin keskin köşelerinden dolayı birçoğunun çok iyi ergimemiş olduğu görülmektedir. Bu nedenle pişirim sıcaklığının düşük olduğunu tahmin edilmektedir. Çini buluntularında yer alan yeşil renkli sırtın üzerinde yapılan EDX analizlerden bu rengin bakır (Cu) elementinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu sonuç mevcut literatür ile paralellik göstermektedir. Sırlı buluntularda yapılan EDX analiz sonuçlarından bu sırların içerisinde (yaklaşık % 25-40 civarında) PbO' nun kullanılmış olduğu saptanmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan İznik çini numunelerini sağlayan İznik Eğitim ve Öğretim Vakfı'na teşekkür ederiz.

## KAYNAKÇA

1. Atsız, H. N. (1992), *Âşık Paşaoğlu Tarihi*, M.E.B. Yayınları, İstanbul, s. 41-42.
2. Aslanapa, O. ve Altun, A. (1998), “İznik Çini Fırınları Kazısı 1996 Yılı Çalışmaları”, XIX. Kazı Sonuçları Toplantısı II, Ankara, 625-639.
3. Aslanapa, O. (1984), *Türk sanatı, Remzi kitabevi*, İstanbul. s.454.
4. Aslanapa, O. (1965), *Anadolu'da Türk Çini ve Keramik Sanatı*, Kültür Bakanlığı Yayınları, İstanbul, s. 91.
5. Şahin, F. (1989), *Türk Çini Sanatı Süslemeciliği*, Anadolu üniversitesi yayınları Kütahya Meslek Yüksekokulu, Kütahya, s. 60.



# BÖLÜM 4

## KABLOLU KONTROL SİSTEMİ İLE KOMPAKT SUALTI GÖRÜNTÜLEME ARACI TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

*M. Murat TEZCAN<sup>1</sup>*

*Derya KESKİN<sup>2</sup>*

---

1 (Ph.D), Kütahya Dumlupınar University Faculty of Engineering, Dept. of Electrical Electronics Engineering, ORCID ID: 0000-0002-5390-4527, murat.tezcan@dpu.edu.tr

2 (Bs.C.), ORCID ID: 0000-0002-0477-5714, dderya.keskinn@gmail.com

## 1. Giriş

Su altı araştırmaları; günümüzde doğal ve çevresel kaynakların korunması ve incelenmesi, muhtelif inşaat faaliyetleri, kıyı ve ülke güvenliğinin sağlanması gibi farklı ve çeşitli amaçlarla, sivil ve askeri uygulamalarda yürütölmekte olup, özellikle son yirmi yıldır yapılan akademik ve endüstriyel araştırmaların büyük bir kısmı, insan hayatının riske atılmaması amacıyla insansız platformların kullanılması üzerine odaklanmıştır [1]. Günümüz insanı, deniz ve okyanuslardaki derinliklerdeki ekosistemi ve su altı yapısını daha iyi anlamak için gelişmiş teknolojilere ihtiyaç duymaktadır. Özellikle dalğıçlar için tehlike arz eden bölgelerde ve ulaşılması zor alanlarda su altı araştırmaları büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen su altı görüntöleme araçları, su altı keşif çalışmalarında kritik bir rol oynamaktadır. İşlevselliği göz önünde bulundurulduğunda su altı araçlarının, kontrol kolaylığı sayesinde her alanda faydalanılabilecek bir potansiyel taşımaktadır. Kullanım alanı ve amacı doğrultusunda farklı boyutlarda ve ağırlıklarda tasarlanabilme imkânı sunan su altı araçları, üzerine yerleştirilecek çeşitli sensörler ve robot kollar sayesinde birçoğ veriyi ve görevi de yerine getirebilirler [2].

İnsansız su altı araçları literatürde bir operatör tarafından uzaktan kontrol edilebilen (ROV, Remotely operated vehicle,) ve herhangi bir operatör müdahalesine gerek kalmadan otonom bir biçimde faaliyet gösterebilen (AUV, autonomous underwater vehicle,) su altı araçları olarak iki farklı biçimde sınıflandırılmıştır [3]. Son yıllarda, dalğıçların yerine su altını gözlemlemek için uzaktan kumandalı araçlar (ROV'lar) kullanılmaktadır. Genel olarak, atether kablosu kamera donanımlı hava aracını, su altı görüntülerini ve bilgilerini operatöre anında ileten bir baz istasyonuna bağlar [4]. Uzaktan Kumandalı Araç (ROV) terimi, bir denizaltıda veya bir su üstü gemisinde olabilen bir operatöre fiziksel olarak bağlanmış bir su altı aracını ifade eder. Halat, araca güç vermenin yanı sıra insanlı kontrol döngüsünü kapatmaktan da sorumludur [5]. ROV sistemi; aracın yanı sıra, aracı kontrol eden operatör, operatörün bu kontrolü sağladığı donanımlar, aracı yüzeye bağlayan kablo ve aracın suya indirilip geri alınmasını sağlayan vinç düzeneklerinden

oluşmaktadır. ROV'lar boyut ve işlev olarak, sadece izleme amaçlı olarak su altı kameraları vasıtasıyla görüntü almaya ve bazı ölçümler yapmaya yönelik, nispeten küçük ve basit araçlar olabileceği gibi, üzerlerinde yer alacak pek çok sensör kamera, sonar vb. yardımıyla büyük oranda otonom çalışma yetkinliğine sahip ve robot kollar manipülatörler kullanarak oldukça karmaşık işlevleri yerine getiren büyük sistemler de olabilmektedir. [1]

Bu projede geliştirilen su altı görüntüleme aracı, operatör kontrollü ve kablolu bir sistem olarak tasarlanmış olup, literatürdeki yaygın problemlere özgün bir çözüm sunmaktadır. Mevcut su altı araçları genellikle büyük, maliyetli ve otonom sistemler olup, veri kaybı ve kontrol zorlukları gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Aracın üzerine yerleştirilecek kameralar sayesinde dalgıçlar için girilmesi tehlikeli olan bölgelere rahatlıkla erişebilir, daha öncesinde görüntü alınmamış alanların keşfi gerçekleştirilebilir [6]. Görüntüleme sistemleri genellikle dalgıcın kullandığı sert başlıklarda bağlantılı şekilde ya da elde taşınmaya müsait şekilde bulundurulur. Raporlama ve detaylı çekimler yapmak için genellikle elde kolay hareket ettirilebilen portatif tutamaçlarla kullanılır ve istenilen bölgede detaylı çekimler yapılır. Ancak yapılan iş yükü daha ağır ve farklıysa genellikle dalgıcın üstünde ya da başlığa akuple olmuş şekilde karşımıza çıkmaktadır. Alınan görüntüler canlı olarak sürekli dalış amiri ve sorumlu dalgıçlar tarafından izlenir ve denetlenir. Bu sayede dalgıcın başına gelebilecek kazalar önceden kestirilebilir ve oluşabilecek acil bir durumda dalgıca müdahaleyi hızlandırabilir [7]. Bu proje, kompakt ve taşınabilir yapısıyla daha esnek ve erişilebilir bir alternatif sunmaktadır. Görev sırasında tasarlanan araç, dalgıca kişisel bir yük oluşturmak yerine ona yardımcı olarak eşlik etmektedir. Sistemin önemli bir bileşeni olan IP kamera, yüksek çözünürlüklü anlık görüntü aktarımı sağlarken, BME280 basınç sensörü ve MPU-6050 gibi modüller, çevresel verilerin gerçek zamanlı olarak izlenmesini mümkün kılmaktadır. Araçta bulunan iki adet servo motorla kontrol edilen kanatçıklar, dar alanlarda bile yüksek manevra kabiliyeti sağlayarak aracın hareket esnekliğini artırmaktadır. Kablolu bağlantı ise karadaki kontrol ünitesi üzerinden doğrudan ve kesintisiz bir yönetim imkânı sunarak otonom

sistemlerde karşılaşılan kontrol zorluklarını bertaraf etmektedir. Bu özgün tasarım, kullanıcıya yüksek hassasiyet ve güvenilir kontrol sunarken, veri kaybını minimize ederek gerçek zamanlı keşif ve görüntüleme için etkili bir çözüm sağlamaktadır. Literatürde yaygın olan büyük ve otonom sistemlere kıyasla daha kompakt ve pratik bir yapı sunan bu proje, kontrol ve veri güvenliği konusundaki eksikliklere alternatif bir yaklaşım getirmektedir.

Tasarlanan projede amacımız, operatör kontrollü ve kablolu bir su altı görüntüleme aracı geliştirerek dalış alanlarında etkin bir destek sunmaktır. Bu tür çalışmalarda su altı aracı olarak uygulamaya bağlı çeşitli modeller kullanılmaktadır. Bu su altı araçlarının bir kısmı su yüzeyindeki sistemlere kablo ile bağlı olup (remotely operated vehicle,ROV) diğer grup kendi başına otonom hareket edebilme yeteneğine sahiptir [8]. Bu proje, mevcut büyük ve otonom sistemlerin karşılaştığı veri kaybı, kontrol zorlukları ve yüksek maliyet gibi sorunlara çözüm üretmeyi hedeflemektedir. Kompakt ve taşınabilir yapısı sayesinde, su altı keşiflerinde yüksek manevra kabiliyeti sağlayarak özellikle dalgıçların ulaşamadığı veya riskli bölgelerde keşif ve görüntüleme görevlerini verimli bir şekilde yerine getirebilecektir [9].

Bu doğrultuda, ilk aşamada kablolu bir kontrol sistemi tasarlanarak aracın operatör tarafından doğrudan ve kesintisiz bir şekilde yönetilmesi sağlanacaktır. Böylece, otonom sistemlerde yaşanan veri kaybı ve kontrol gecikmeleri en aza indirilecek, daha güvenilir bir veri aktarımı sağlanacaktır. Araştırmanın bir diğer önemli amacı ise, IP kamera entegrasyonu ile su altından yüksek çözünürlüklü anlık görüntü iletimi sağlamaktır. Bu sayede operatör, dalış sırasında su altındaki çevresel verileri ve görüntüleri gerçek zamanlı olarak izleme imkânına sahip olacaktır. Araçta bulunan iki adet servo motor kontrollü kanatçıklar sayesinde yüksek manevra kabiliyeti elde edilecek ve dar alanlarda, karmaşık su altı yapılarında daha etkili keşif yapılabilir. Ayrıca, çevresel verilerin sürekli izlenebilmesi için BME280 basınç sensörü ve MPU-6050 modülleri kullanılacaktır. Bu sensörler, su altındaki basınç, sıcaklık ve ivme gibi çevresel parametreleri ölçerek operatöre gerçek zamanlı olarak iletecek ve dalış esnasında hızlı ve doğru kararlar alınmasına yardımcı olacaktır. Proje kapsamında, modüler bir yapı tasarlanarak farklı sensörlerin

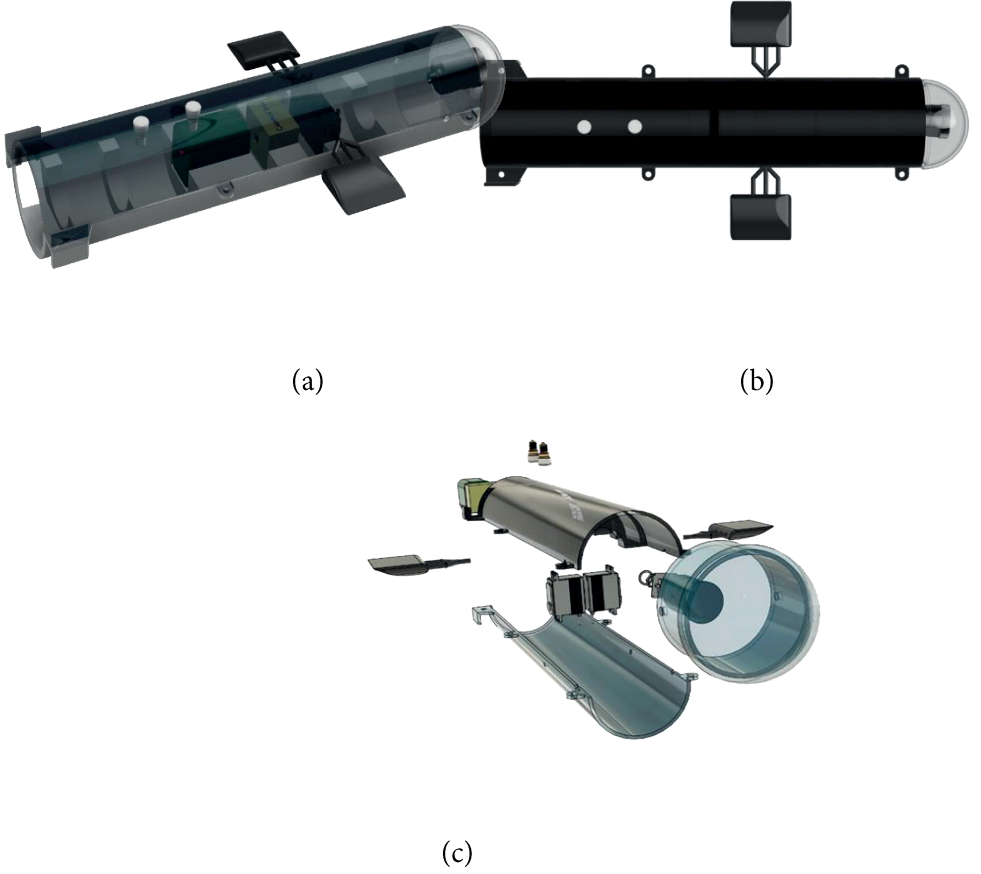
ve bileşenlerin kolayca entegre edilmesi sağlanacaktır. Böylece araç, çeşitli keşif görevlerine uyum sağlayacak ve farklı kullanım senaryolarında esnek bir şekilde işlevsellik gösterebilecektir. Ayrıca, su geçirmez dış gövde ve dayanıklı elektronik bileşenler kullanılarak aracın zorlu su altı koşullarında güvenli bir şekilde çalışması temin edilecektir. Geliştirilecek bu prototip, dalgıçlar ve su altı araştırmacıları için güvenli ve etkili bir keşif aracı sunmayı amaçlamakta olup, dalış görevlerinde karşılaşılabilecek riskleri en aza indirmeyi hedeflemektedir. Projenin sonunda, dalgıçlar ve operatörler için güvenilir, kompakt ve taşınabilir bir su altı görüntüleme aracı elde edilecektir. Bu araç, su altı araştırmalarında veri kaybını engelleyerek ve kontrol edilebilirliği artırarak, hem akademik hem de endüstriyel uygulamalar için etkili bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır.

## **2. Sualtı Görüntüleme Aracı Tasarım Aşamaları**

Bu bölümde, su altı görüntüleme aracı için gerekli malzeme seçimi, mekanik sistemler, güç iletim sistemi, elektronik sistemler ve çalışma algoritması ele alınmaktadır. Tasarlanan sistemde, operatör kontrollü ve kablolu bir su altı görüntüleme aracı geliştirilerek, dalış alanlarında veri kaybı ve kontrol zorluklarını en aza indirmek, yüksek çözünürlüklü anlık görüntü aktarımı sağlamak ve dar alanlarda etkin keşif yapabilmek amaçlanmaktadır.

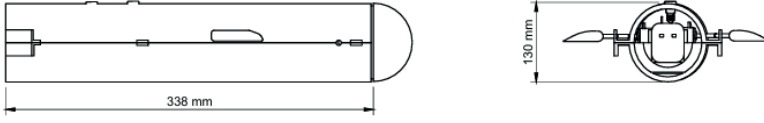
### **2.1. Mekanik Tasarım**

Tasarlanan su altı görüntüleme aracının mekanik bileşenleri, performans ve dayanıklılık göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Bu süreç, çeşitli görsel tasarım programları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve çeşitli mühendislik analizleri yardımıyla optimize edilmiştir. Üretilen araç, operatör kontrollü olup su altı keşiflerinde yüksek manevra kabiliyeti ve güvenilirlik sağlayacak şekilde yapılandırılabilir. Su Altı Görüntüleme Aracı iç bölge, dış bölge ve patlatılmış model görüntüleri sırası ile Şekil 1 (a), (b) ve (c)'de gösterilmiştir.



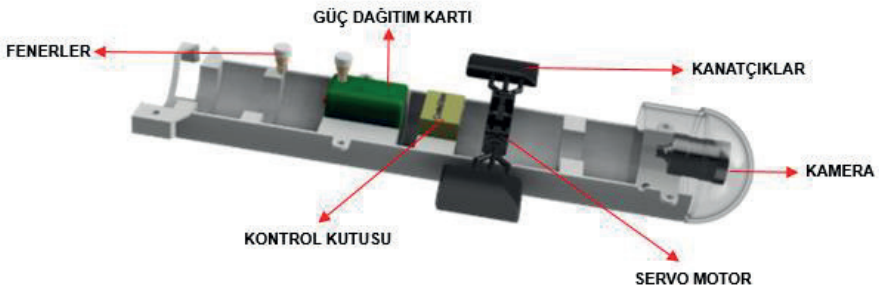
**Şekil 1.** a) Su Altı Görüntüleme Aracı İç Bölge Render Görüntüsü, b) Su Altı Görüntüleme Aracı dış Bölge Render Görüntüsü, c) Su Altı Görüntüleme Aracı Patlatılmış Model

Su altı görüntüleme aracının mekanik tasarımında, zorlu su altı koşullarına dayanıklılık ve su geçirmezlik en önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Aracın gövdesi, hafif ve dayanıklı yapısıyla öne çıkan pleksi yuvarlak boru kullanılarak tasarlanabilir. Küçük boyutlar, kompakt bir yapı sunarak aracın manevra kabiliyetini artırırken, iç bileşenlerin güvenli bir şekilde yerleştirilmesine olanak tanıyacaktır. Gövde ön kısmında ise canlı görüntü aktarımı için kamera haznesi bulunmaktadır. Sistem gövdesi üzerinde ise 2 adet ışık montaj yeri bulunmaktadır.



**Şekil 2.** Su Altı Görüntüleme Aracı Teknik Çizim

Su Altı Görüntüleme Aracı Teknik Çizim Şekil 2’de gösterilmiştir. Su geçirmezlik sağlamak için gövde birleşim noktalarında silikon conta ve yüksek dayanıklılığa sahip O-ringler kullanılacak, hassas elektronik bileşenler ise epoksi kaplama ile izole edilebilir. Epoksi reçineler mükemmel yapışma, ısı ve kimyasal direnç, çok iyi fiziko-mekaniksel ve elektrik yalıtımı özelliklerine sahiptir [10]. Gövde sisteminde iç kısım elektronik ve mekanik parçaların yuvaları için PLA (Polylactic Acid) Filament kullanılabilir. PLA yenilenebilir kaynaklardan elde edilmekte olup, mükemmel bir 3D (Three Dimensional) yazıcı malzemesidir. ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) filamentlere göre soğuk tabla yüzeyine yazdırılabilme, yüksek hızlarda yazdırılabilme ve düşük çarpılma gibi özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir [11]. Sistem elektromekanik komponentleri Şekil 3’de gösterilmiştir.



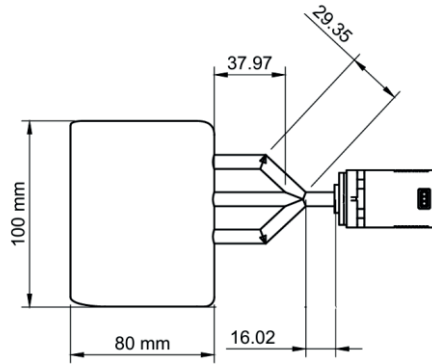
**Şekil 3.** Sistem Elektromekanik Komponentleri

Ayrıca yüksek basınç ve tuzlu su şartlarında çalışabilecek, güç ve veri iletimi için IP68 sınıfı su geçirmez konektörler tercih edilerek su sızdırmazlık riski

minimize edilebilir. Yuvarlak ve hidrodinamik yapısı, su altındaki hareket verimliliğini artırarak enerji tasarrufu sağlayacaktır. Manevra kabiliyeti, iki adet yüksek torklu servo motor ile sağlanacak ve bu motorlar aracın kanatçıklarına hassas açı değişiklikleri uygulayarak yönlendirme ve stabilizasyon görevlerini yerine getirecektir. Böylece, araç dar alanlarda ve karmaşık su altı yapılarında kolayca hareket edebilecek ve keşif görevlerini yüksek verimlilikle gerçekleştirebilecektir. Tasarımda kullanılan şeffaf pleksi malzeme, operatörün aracın iç durumunu gözlemlemesine imkân tanıyacak, olası sorunlara karşı hızlı müdahale olanağı sunacaktır.

### 2.1.1. Kanatçık Tasarımı

Sualtı görüntüleme aracı için en uygun kanat tasarımını belirlemek amacıyla farklı malzeme ve kanat profilleri karşılaştırılmıştır. Aracın hareket kabiliyeti, manevra yeteneği ve enerji verimliliği dikkate alınarak malzeme ve profillerin avantajları değerlendirilmiştir. Paslanmaz çelik, alüminyum, titanyum, plastikler (ABS, PETG, karbon fiber takviyeli) ve kompozit malzemeler incelenmiştir. Prototip için alüminyum, hafifliği, işlenebilirliği ve uygun maliyetiyle tercih edilmiştir. PLA, düşük maliyeti ve kolay işlenebilirliğiyle öne çıksa da uzun süreli dayanıklılığı sınırlıdır. Karbon fiber ise yüksek mukavemet sunmasına rağmen maliyetlidir. Simetrik profiller, düşük hızlarda ve yüksek manevra kabiliyetinde avantaj sağladığı için tercih edilmiştir. Ancak, farklı koşullar için asimetrik profiller de değerlendirilebilir.



Şekil 4. Kanatçık Teknik Resmi



Kanatçık Teknik resmi Şekil 4’de gösterilmiştir. Su altı ortamının zorlu koşulları, kanat malzemesi seçiminde korozyon direnci, yoğunluk, mukavemet, işlenebilirlik ve maliyet gibi faktörleri etkiler. Kanat yapısında PLA-CF (Karbon Fiber Takviyeli Filament) kullanılabilir. Bu malzeme, PLA’nın hafifliği ve işlenebilirliği ile karbon fiberin sağladığı yüksek mukavemetin birleşimini sunarak, prototip için uygun bir seçenek oluşturur. PLA-CF, su altı aracının kanatları için yeterli dayanıklılığı sağlarken, üretim sürecinde de avantajlar sunar. Ancak, nihai ürün için daha dayanıklı ve suya dayanıklı malzemelere yönelmek mümkün olacaktır.

**Tablo 1.** PLA-CF Teknik Özellikleri

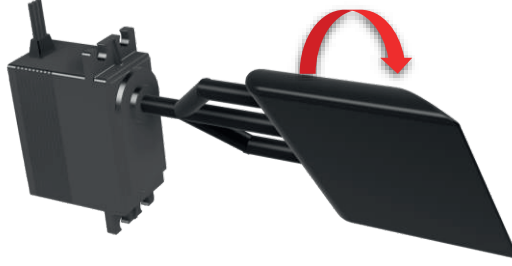
Teknik Özellikler	
Çap	1.75 mm
Filament uzunluğu	170m
Tolerans	$\pm 0.03$ mm
Yoğunluk	1,23 g/cm <sup>3</sup>
Tabla Sıcaklığı	60-85 °C
Nozul Sıcaklığı	200-230 °C
Çekme Dayanımı (MPa)	55



**Şekil 5.** Kanatçık Render Görüntüsü

Şekil 5’de, karbon fiber takviyeli PLA (PLA-CF) malzemedен üretilmiş bir kanat prototipi görülmektedir. PLA-CF, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, iyi

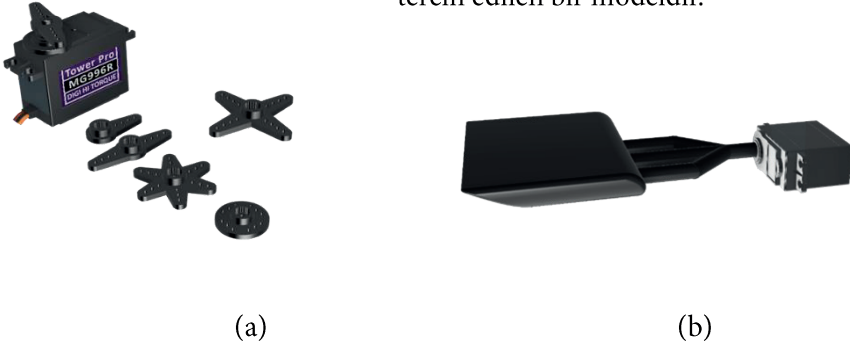
işlenebilirlik ve prototip üretiminde sağladığı maliyet avantajlarıyla öne çıkan bir malzeme olarak tercih edilmiştir. Bu tasarım, hafiflik ve dayanıklılık gereksinimlerinin bir arada karşılanmasını hedeflemektedir. Kanatçık hareket alanı, kanatçıkların 45°'lik hareket aralığıyla kapsül çevresinde suyu iterken hidrodinamik yük oluşturacağı açıktır. Kanatçık Teknik Çizim görüntüsü Şekil 6'da gösterilmiştir.



**Şekil 6.** Kanat Dönüş Açısı

## 2.2. Kanat Tahrik Servo Motoru

Sistem üzerinde yer alan iki kanatçık, hareket mekanizması olarak dal biçiminde dönen bir kol ile donatılmıştır. Bu kol, hassas hareketler için bir servo motor aracılığıyla kontrol edilmektedir. Kanat Tahrik servo motoru, su altı araçlarının kanat kontrolü gibi yüksek tork gerektiren projelerde sıkça tercih edilen bir modeldir.



**Şekil 7.** (a) Kanat Tahrik Servo Motor Render Görüntüsü, (b) Kanatçık ve Servo Motor Montajı Render Görüntüsü

Kanatçık ve Servo Motor Montajı Render Görüntüsü Şekil 7 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Bu motorun çalışma prensibi, genellikle PWM (Pulse Width Modulation) sinyalleri ile kontrol edilmesine dayanır. Servo motor, aldığı PWM sinyalinin genişliğine bağlı olarak  $0^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında bir açıya dönebilir. Örneğin, 1 ms genişliğinde bir sinyal gönderildiğinde motor  $0^\circ$  pozisyonuna, 1.5 ms genişliğinde bir sinyalde  $90^\circ$  pozisyonuna ve 2 ms genişliğinde bir sinyalde  $180^\circ$  pozisyonuna döner. Bu şekilde, Kanat tahrik servo motorun hareket açısı hassas bir şekilde kontrol edilebilir ve kanatçıkların sağa veya sola dönmesi sağlanabilir. Tablo 2'de belirtilen teknik özellikler ele alınmıştır.

**Tablo 2.** Kanat Tahrik Servo Motor Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	
Gerilim Aralığı	4.8V - 7.2V
Çalışma Torku	4.8V'de: 9.4 kg.cm 6V'de: 11 kg.cm
Çalışma Hızı	4.8V'de: 0.19 sn/60° (60 dereceyi döndürme süresi) 6V'de: 0.15 sn/60°
Ağırlık	55 g
Çalışma Sıcaklığı	-30°C ile +60°C arası
Dişli Malzemesi	Metal (daha dayanıklı ve yüksek tork için ideal)
Dönüş Açısı	Maksimum 180 derece

Servo motorunun proje içerisinde kullanırken bazı noktalara dikkat etmemiz gereklidir. Bunlar;

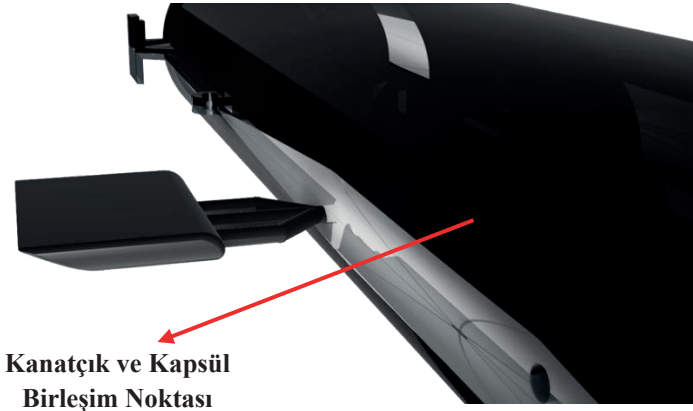
- Servo Motorun Su Geçirmezliği
- Motor Seçim Hesapları
- Servo Motorun Güç ve Tork Gereksinimi

### 2.2.1. Servo Motorun Su Geçirmezliği

**Kanat Tahrik** servo motorunun su altı ortamında çalışma koşullarına adapte edilmesi ve su içinde belirli bir açısal hareket gerçekleştirecek şekilde modifiye

edilmesi gerekebilir. Standart servo motorları suya dayanıklı olarak tasarlanmadığından, motorun güvenliğini sağlamak ve su geçirmez bir yapı elde etmek için özel bir kapsülleme ve sızdırmazlık mekanizması geliştirilebilir.

Servo motor, su geçirmez bir kapsül içerisine yerleştirilerek, yalnızca dışarıya kanatçığın bağlandığı hareketli shaftın çıkışı sağlanmalıdır. Bu noktada, kapsül ile hareketli shaft arasındaki birleşim yerinin su sızdırmazlığı, sistemin güvenilirliği ve performansı açısından kritik öneme sahiptir. Su geçirmezlik, düşük sürtünme ile hareketin devamlılığını sağlayacak şekilde optimize edilmiştir. Bu kapsamda, O-ring contalar, döner mil keçeleri ve suya dayanıklı silikon bazlı gres gibi endüstriyel standartlarda malzemeler tercih edilebilir (Şekil 8). Sistemin tasarım aşamasında, servo motorun tork kapasitesi, kanatçığın şekli ve boyutunun hidrodinamik etkileri dikkate alınmalıdır. Kanatçığın tasarımı, suyun direnç kuvvetine karşı servo motorun mekanik sınırları içinde optimum hareket sağlanacak şekilde belirlenmelidir. Ayrıca, sistemin su altında uzun süre çalışabilmesi için hareketli parçaların aşınma ve sızdırmazlık performansları detaylı bir şekilde değerlendirilmelidir.



**Şekil 8.** Kanatçık Birleşim Noktası

### **Lastik Conta (O-Ring) Kullanımı**

O-ring contalar, hareketli yüzeylerin birleşim noktalarında sızdırmazlık sağlamak için kullanılır. Özellikle suya dayanıklı, esnek ve düşük sürtünmeli bir malzeme seçilmelidir (örneğin, silikon, nitril kauçuk, Viton gibi malzemeler).

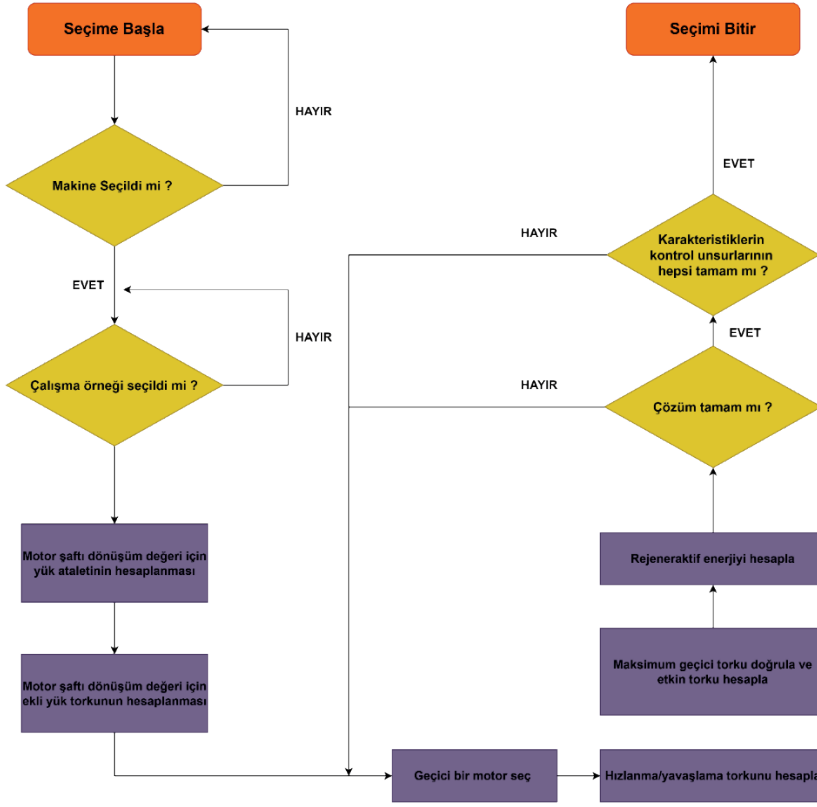
Servo motorun koruma kapsülü, hareketli şaftın dışarı çıkmasına olanak tanıyacak şekilde tasarlanmış bir açıklığa sahiptir. Bu açıklığa, şaft ile uyumlu çapta bir O-ring yerleştirilir. Şaft üzerinde, O-ring ile temas eden düzgün bir yüzey oluşturularak su geçirmezlik sağlanır. O-ring'in teması, suyun sızmasını önlerken, şaftın serbestçe hareket edebilmesini mümkün kılar. Bu tasarım, hareket kabiliyetini korurken dış etkenlere karşı koruma sunar.

### **Aks Keçesi (Shaft Seal)**

Döner mil keçeleri, hareketli şaftlarda su geçirmezlik sağlamak için ideal bir seçenektir. Bu keçeler, bir metal dış halka ve kauçuk bir iç halkadan oluşur. Kauçuk iç halka şaftın etrafını sıkıca sarar ve suyu dışarıda tutar. Kanatçığın bağlı olduğu şaft ile koruma kapsülü arasına bir aks keçesi yerleştirilir. Şaft dönerken, keçenin içindeki kauçuk yüzey şaftı sararak su sızdırmazlığını sağlar. Bu tasarım, suyun kapsül içine girişini etkili bir şekilde engellerken, şaftın dönme hareketine de izin verir.

#### **2.2.2 Motor Seçim Hesapları**

Elektrik motoru seçiminde mekaniksel güç gereksiniminin belirlenmesi, yük karakteristiğinin iyi saptanması, motorun yük eğrisinde hangi bölgede çalışacağına tespiti oldukça önemlidir. Şekil 9'da servo motor seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar verilmiştir.



Şekil 9. Motor Seçim Aşamaları

### 2.2.3 Servo Motorun Güç ve Tork Gereksinimi

Servo motorun bir mekanizma üzerindeki hareketi sağlamak için gereken tork ve güç gereksinimi, sistemdeki yük, hareketli elemanların kinematik ve dinamik özellikleri, çalışma ortamı ve uygulanan kuvvetlere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, servo motorun su altında bir kapsül içinde çalışarak  $45^\circ$  açılabilir hareket gerçekleştiren kanatçıkları kontrol etmesi için gerekli tork ve güç gereksinimleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

#### a. Tork Gereksiniminin Hesaplanması

Tork ( $\tau$ ), servo motorun dönme hareketi sırasında aşması gereken yük kuvvetine bağlıdır.

**Yük kuvveti ( $F_d$ )** ise su içindeki kanatçıkların hareketiyle oluşan hidrodinamik direnç kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Direnç kuvveti şu formülle hesaplanır:

$$F_d = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho \times A \times v^2 \quad (12)$$

Bu formülde:

- $F_d$ : Kanatçığın yüzeyinde oluşan direnç kuvveti ( $N$ )
- $C_d$ : Kanatçığın drag katsayısı
- (şekle bağlıdır, aerodinamik yapılar için 0.05–1.5 arası)
- $\rho$ : Suyun yoğunluğu ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )
- $A$ : Kanatçığın suya dik yüzey alanı ( $m^2$ )
- $v^2$ : Kanatçığın su içindeki hızı ( $m/s$ )'dir.

Hesaplanan direnç kuvvetine göre, servo motorun dönme hareketine karşılık gelen tork şu şekilde hesaplanır:

$$\tau = F_d \times r \quad (13)$$

Bu formülde,  $\tau$ : Motor şaftında gereken tork ( $Nm$ ) ve  $r$ : Kanatçığın motor şaftına olan uzaklığı, yani kol uzunluğudur.

### b. Güç Gereksiniminin Hesaplanması

Servo **motorun gücü ( $P$ )**, gereken tork ve açısal hızın çarpımı ile elde edilir. Güç şu şekilde hesaplanır:

$$P = \tau \cdot \omega \quad (14)$$

Bu formülde,  $P$ : Motorun gücü ( $W$ ),  $\tau$ : Motor şaftındaki tork ( $Nm$ ) ve  $\omega$ : Motor şaftının açısal hızıdır ( $rad/s$ ).

### c. İvmelenme ve Yavaşlama Torklarının Hesaplanması

Kanatçıkların hızlanma ve yavaşlama hareketleri sırasında oluşan **ek tork ( $\tau_{ivme}$ )**, **açısal ivme ( $\alpha$ )** ve **kanatçığın atalet momenti ( $I$ )** ile ilişkilidir:

$$\tau_{ivme} = I \cdot \alpha \quad (14)$$

Bu formülde:

- $I = 31 \times m \times L^2$ : Kanatçığın atalet momenti (düzlemsel yapı için)
- $\alpha = \frac{\Delta t}{\Delta w}$ : Açısal ivme

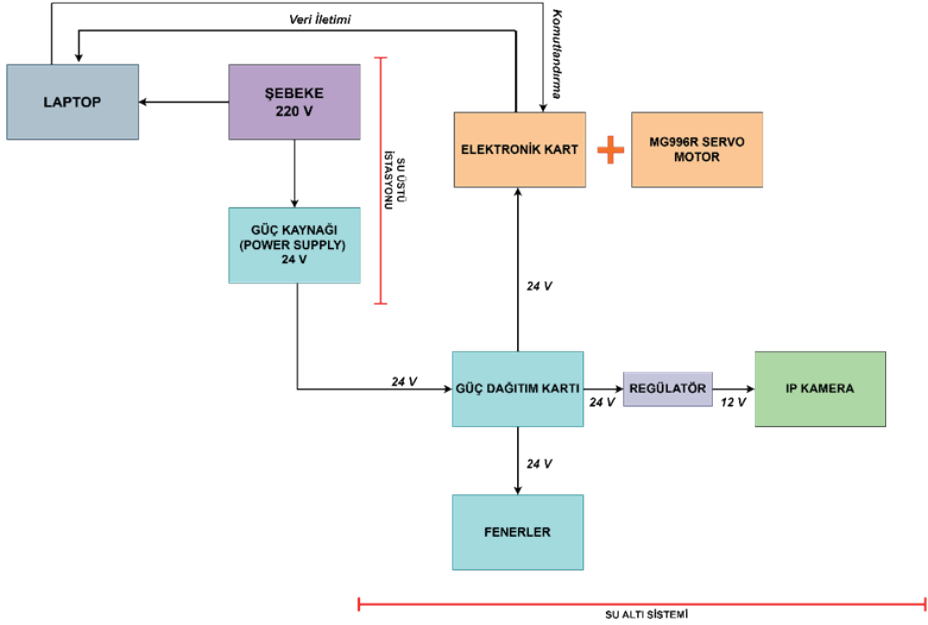
Bu değer, toplam tork gereksinimine eklenebilir ancak oldukça küçüktür ve ihmal edilebilir.

Kanatçıkların hareketinden kaynaklanan direnç kuvveti, motorun tork ve güç gereksinimlerini belirlemiştir. Tork, hızlanma ve güç hesaplamalarının doğruluğu, tasarımın uzun vadeli performansı açısından kritik öneme sahiptir.

### 2.3. Elektronik Tasarım

Sualtı görüntüleme sistemi, su üstü ve su altı arasında enerji ve veri iletişimini sağlayan entegre bir yapıya sahiptir. Sistem, su altı cihazlarının çalışabilmesi için gerekli enerjiyi sağlarken, aynı zamanda cihazların ürettiği verilerin anlık olarak bir operatör tarafından izlenmesine olanak tanır. Bu yapı, güvenilir enerji dağıtımı ve kesintisiz iletişim sayesinde su altı operasyonlarının etkin bir şekilde gerçekleştirilmesini mümkün kılar. Su üstü ve su altındaki farklı bileşenlerin ihtiyaç duyduğu enerji ve iletişim gereksinimleri, sistemde kullanılan düzenleyiciler ve bağlantılarla optimize edilmiştir. Operatör, sistemi bir laptop üzerinden kontrol eder ve izler, böylece su altı operasyonları kolaylıkla yönetilir. Su Geçirmez Tüp Besleme ve Su Üstü İstasyonu Besleme Şeması şekil 10'da gösterilmiştir.

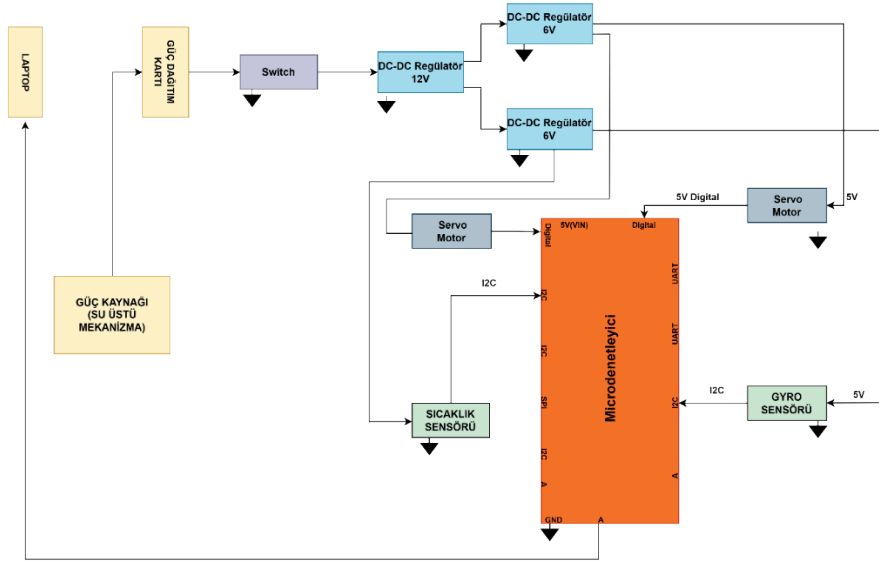




**Şekil 10.** Su Geçirmez Tüp Besleme ve Su Üstü İstasyonu Besleme Şeması

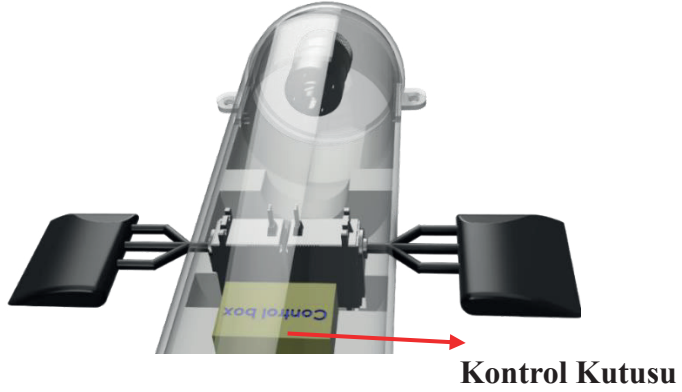
Su altı görüntüleme aracında, veri işleme ve sensörlerin kontrolü için güçlü bir elektronik sistem bulunmaktadır. Bu sistemin merkezinde yer alan mikrodenetleyici, aracın işlevlerini hızlı ve etkin bir şekilde yönetirken, çeşitli sensörlerden gelen verileri işlemek ve operatöre aktarmak için tasarlanmıştır. Mikrodenetleyici, esnek bir geliştirme ortamı sunarak farklı programlama dilleriyle kolayca programlanabilir. Ayrıca, farklı enerji kaynaklarına uyum sağlayabilen yapısı ve geniş çalışma sıcaklık aralığı sayesinde zorlu su altı koşullarına dayanıklıdır.

Aracın üzerinde bulunan sensörler, su altı koşulları hakkında detaylı bilgi toplar. Örneğin, basınç, sıcaklık ve nem verilerini ölçen sensörler, çevresel koşulları izlerken; hareket ve yönelim bilgilerini sağlayan sensörler, aracın stabilitesini ve konumunu belirlemek için kullanılır. Bu sensörlerden elde edilen veriler, mikrodenetleyici tarafından işlenerek operatöre iletilir ve aracın güvenli bir şekilde çalışmasına yardımcı olur. Bu yapı, su altı görevlerinin verimli ve güvenilir bir şekilde yerine getirilmesini sağlar. Elektronik Sistem Çalışma Şeması Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Elektronik Sistem Çalışma Şeması

Control Box Render Görüntüsü Şekil 12’de gösterilmiştir. Kontrol kutusu, elektronik bileşenlerin su altı ortamında güvenli ve kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamak üzere tasarlanmış olup, elektronik kartı su, nem ve çevresel etkilere karşı koruyarak sistemin güvenilirliğini artırmayı amaçlamaktadır.



**Şekil 12.** Control Box Render Görüntüsü

Tasarımda sızdırmazlık, ısı yönetimi ve elektromanyetik girişim (EMI) gibi kritik mühendislik parametreleri dikkate alınmıştır. Su geçirmezlik için kutunun kapak kısmında silikon contalar, kablo giriş-çıkış noktalarında ise IP67 veya IP68 standartlarına uygun su geçirmez konnektörler tercih edilebilir. Kalıcı yalıtım gerektiren noktalarda epoksi reçine gibi dayanıklı malzemeler kullanılabilir. Kablolama düzeninde güç ve sinyal hatlarının ayrı gruplandırılması ile elektromanyetik parazit minimize edilebilir. Elektronik kart, titreşim ve darbelere karşı korumalı bir şekilde yerleştirilebilir, termal yönetim açısından optimize edilebilir. Pasif soğutma çözümleriyle kontrol kutusu içindeki sıcaklık alüminyum soğutucu plakalar veya termal iletken yüzeyler aracılığıyla yönetilebilir. Daha yüksek güç tüketimi senaryolarında su geçirmez aktif soğutma sistemleri (örneğin, fanlar) değerlendirilebilir. Kontrol kutusuna entegre edilebilecek termal sensörler (örneğin, DS18B20) ile sıcaklık sürekli izlenerek, kritik eşiklerde sistem güvenliğini sağlamak amacıyla servo motorların güç seviyelerinin kademeli olarak sınırlandırılması sağlanabilir.

### 2.3.1. Kamera Sistemi

Su altı görüntüleme aracı, yüksek çözünürlüklü görüntüleme ve güvenilir veri aktarımı için optimize edilmiş bir IP kamera sistemi ile donatılmıştır. Kamera, geniş bir görüş açısına sahip olup su altı ortamını net ve detaylı bir şekilde

görüntüleyerek yer istasyonuna iletir. Çeşitli çözünürlük seçenekleri ve kare hızıyla esnek bir kullanım sunan bu sistem, su altı keşif görevlerinin etkinliğini artırır. Kamera, aracın ön kısmında stratejik bir konuma yerleştirilmiş olup, geniş açı tarama yaparak çevrenin kapsamlı bir şekilde gözlemlenmesine olanak tanır.

Yer istasyonunda bulunan laptop, kameradan gelen görüntülerin izlenmesi ve sistemin kontrol edilmesi için bir arayüz sağlar. Aynı zamanda görüntü işleme görevlerini de yerine getirir. Kamera ve yer istasyonu arasındaki veri iletişimi, kablo üzerinden güvenilir bir şekilde gerçekleştirilir. Bu yapı, su altı görevlerinde operatörün aracı kolayca yönetmesini ve yüksek kaliteli görüntüler almasını sağlayarak sistemin performansını ve kullanım kolaylığını en üst düzeye çıkarır. IP Kamera Konum Görüntüsü Şekil 13'te gösterilmiştir.



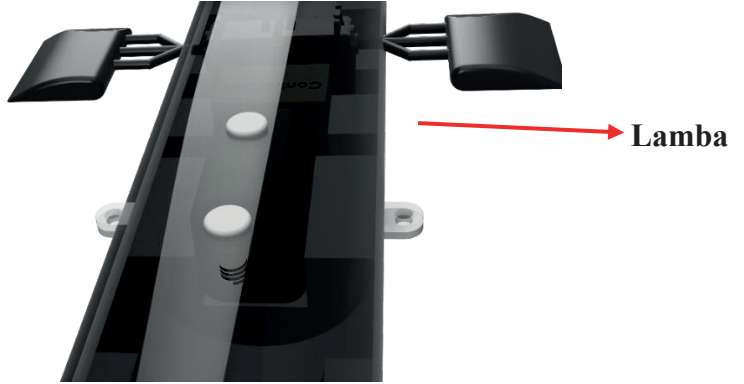
**Şekil 13.** IP Kamera Konum Görüntüsü

### **3. Sistem Çalışma Prensibi ve Yazılım**

#### **3.1. Sistem Çalışması**

Su altı görüntüleme aracının enerji ve hareket sistemi, kullanıcı tarafından kolayca kontrol edilebilecek bir yapıda tasarlanabilir. Araç, yer istasyonundaki

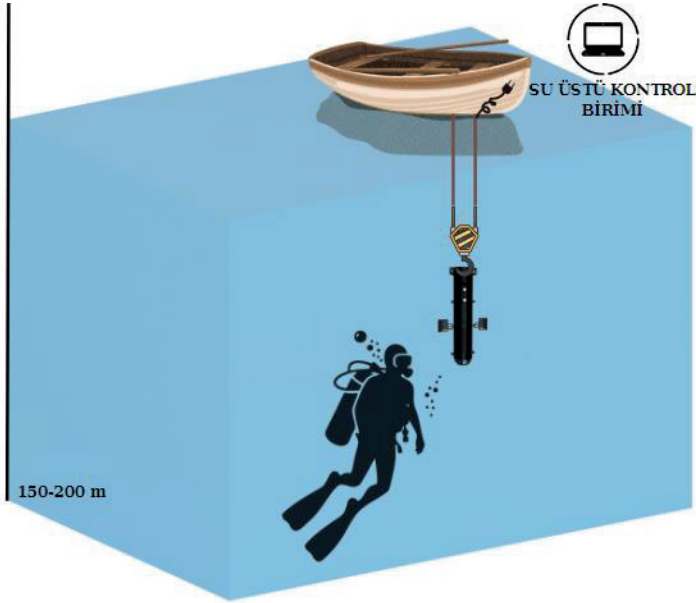
güç kaynağından aldığı enerjiyle çalışabilir ve kablo üzerinden sağlanan kesintisiz haberleşme bağlantısı sayesinde yüzeydeki kullanıcı ile su altındaki sistem arasında sürekli iletişim sağlayabilir. Bu enerji, kontrol kutusu aracılığıyla aracın aydınlatma sistemi, servo motorlar ve görüntüleme kamerasına dengeli bir şekilde dağıtılabilir. Aydınlatma sistemi, düşük ışık koşullarında net görüntüleme sağlamak için güçlü lambalarla donatılabilir ve su altı ortamını aydınlatarak IP kameranın yüksek kaliteli görüntüler elde etmesine katkı sağlayabilir. Elektrik enerjisi, aracın içinde bulunan dağıtım kartlarıyla lambalara ve diğer sistem bileşenlerine iletilerek her bir bileşenin ihtiyaç duyduğu voltaj ve akıma uygun şekilde beslenebilir. Servo motorlar ve diğer elektronik bileşenler de kontrol kutusu üzerinden enerji alabilir, böylece hareket ve diğer işlevler güvenilir bir şekilde sağlanabilir. Bu yapı, sistemin güvenilirliği ve kullanıcı dostu tasarım özelliklerini artırmayı hedeflemektedir. Lamba Konum Görüntüsü Şekil 14'te gösterilmiştir.



**Şekil 14.** Lamba Konum Görüntüsü

Veri ve enerji iletimi için kullanılan CAT6 kablosu, yüksek aktarım kapasitesi sayesinde hem kontrol sinyallerini hem de kameradan gelen görüntüleri güvenilir bir şekilde yüzeye iletebilir. Aynı kablo üzerinden enerji taşınarak sistemin düzenliliği sağlanabilir ve kablo karmaşıklığı azaltılabilir. Enerji iletiminde kayıpları minimize etmek için yüksek iletkenlikli ve dayanıklı

kablolar tercih edilebilir. Kontrol kutusundaki güç dağıtımı, bileşenlerin farklı enerji ihtiyaçlarına göre tasarlanarak güvenilir bir çalışma ortamı sağlayabilir. Aracın hareketi, kullanıcı tarafından yön tuşlarıyla kolayca kontrol edilebilecek şekilde tasarlanabilir. İki adet servo motor, aracın kanatçıklarını kontrol ederek yönlendirme işlemini gerçekleştirebilir. Sağ tuşa basıldığında kanatçıklar belirli bir açıya döndürülerek araç sağa yönlendirilebilir; sol tuşa basıldığında ise ters yöne hareket sağlanabilir. Bu basit kontrol mekanizması, aracın düşük hızlarda yüksek manevra kabiliyeti elde etmesine olanak tanıyabilir. Servo motorların kontrolü, bir mikrodenetleyici tarafından gerçekleştirilerek hassasiyet artırılabilir. Yazılım altyapısında Python programlama dili kullanılabilir ve PWM sinyalleri ile motorların açıları hassas bir şekilde ayarlanabilir. Kullanıcıdan gelen girdiler sürekli olarak izlenerek ilgili fonksiyonlar tetiklenebilir ve aracın hareketi sağlanabilir. Bu tasarım, sistemin kullanıcı dostu ve işlevsel bir yapıya sahip olmasını hedeflemektedir. Sistem Sistem Derinlik Görseli Şekil 15'te gösterilmiştir.



**Şekil 15.** Sistem Çalışma Görseli

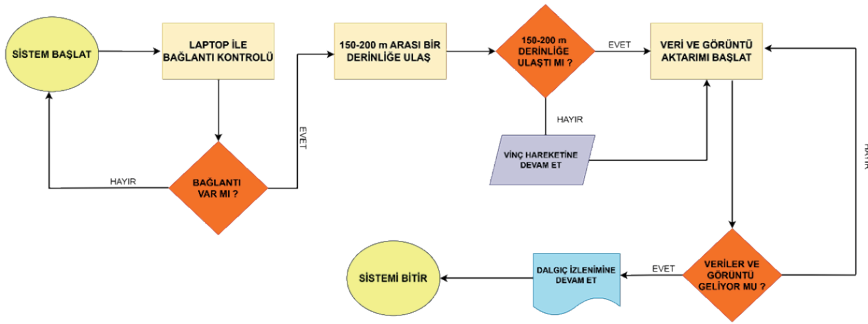
Görüntüleme için kullanılan IP kamera, görüntüleri koaksiyel kablo üzerinden yüze gerçek zamanlı olarak iletebilir. Donanımsal bağlantılar sayesinde görüntü aktarımı sırasında yazılımda ek bir işlem gerekmez ve düşük gecikmeli, yüksek kaliteli bir görüntü elde edilmesi mümkün olabilir. Bu yapı, su altı görevlerinde kullanıcıya kolay kontrol ve etkin bir izleme deneyimi sunmak amacıyla optimize edilebilir.

### 3.2. Yazılım Sistemi

Su altı araştırmaları ve keşif görevleri için geliştirilen bu sistemin yazılım bileşenleri, aşamalı bir yaklaşımla tasarlanmakta ve prototip geliştirme sürecine geçilmektedir. Yazılım tasarımında, başlangıçta temel işlevleri yerine getirebilecek, zamanla yeni özelliklerle genişletilebilecek modüler bir yapı hedeflenmiştir. Bu yöntem, geliştirme sürecini kolaylaştırırken, uzun vadeli iyileştirme ve güncellemelere olanak tanıyan esnek bir altyapı sunmaktadır. Prototip aşamasında yazılım, operatörün su altı aracını kontrol etmesi, temel çevresel verileri izlemesi ve bağlantı durumunu yönetmesi gibi öncelikli işlevlere odaklanmıştır. İlk etapta, derinlik, sıcaklık ve basınç gibi veriler kullanıcıya sade bir arayüz üzerinden sunulacak, bu temel özellikler ilerleyen süreçlerde grafiksel görselleştirme ve analiz yetenekleriyle zenginleştirilecektir. Yer istasyonu yazılımı, operatörün araçla kesintisiz bir bağlantı kurmasını ve aracı kolayca kontrol etmesini sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Ayrıca, bağlantı sorunlarının tespit edilmesi ve veri akışının sürekliliğinin sağlanması yazılımın öncelikli hedefleri arasındadır. Sistem, manuel kontrol seçenekleriyle birlikte otomatik modlar sunarak kullanıcı deneyimini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bağlantı kesintisi durumunda aracın güvenli bir konumda beklemesi sağlanarak veri güvenliği ve enerji tasarrufu önceliklendirilmiştir. Yazılım, mevcut temel işlevlerin yanı sıra, veri sıkıştırma, görüntü stabilizasyonu ve adaptif bağlantı kontrolü gibi ileri teknolojilerin entegrasyonuna açıktır. Gelecekte yapay zekâ destekli özelliklerle rota planlama ve engel algılama gibi otonom yeteneklerin eklenmesi hedeflenmektedir.

Bu yazılım, modüler tasarım yaklaşımıyla hem mevcut ihtiyaçlara yanıt vermekte hem de gelecekteki yeniliklere kolayca uyum sağlayabilecek bir esneklik sunmaktadır. Geliştirme sürecindeki temel ilke, su altı araştırmalarında kullanıcıya güvenilir, etkili ve kullanımı kolay bir sistem sunmaktır. Bu vizyon doğrultusunda sistem hem bilimsel hem de endüstriyel alanlarda uzun vadeli değer sağlayacak bir araç olarak öne çıkmaktadır.

### 3.3. Yazılım Algoritması



Şekil 16. Sistem Çalışma Diyagramı

Sistem Çalışma Diyagramı Şekil 16'da gösterilmiştir. Bu diyagram, su altı görüntüleme sisteminin işleyişini sistematik bir şekilde açıklayan bir akış şemasıdır. Süreç, "Sistem Başlat" adımıyla başlar ve ilk olarak yer istasyonu ile su altı aracı arasındaki bağlantının kontrol edilmesiyle devam eder. Bu aşama, sistemin iletişim ve veri aktarımına hazır olduğunu doğrulamak için kritik bir adımdır. Bağlantının başarılı bir şekilde kurulmasının ardından, su altı aracı belirlenen hedef derinliğe hareket etmeye başlar. Bu hareket sırasında derinlik kontrol noktaları sürekli izlenir. Aracın hedef derinliğe ulaşmaması durumunda, vinç hareketi sürdürülür. Hedef derinliğe ulaşıldığında, veri ve görüntü aktarımı başlatılır. Veri aktarımı sırasında bağlantı durumu düzenli olarak kontrol edilir. Bağlantının stabil kalması durumunda, operatör aracılığıyla su altı çevresi ve dalgıç izlenmeye devam eder. Eğer bağlantı kesilirse, vinç hareket ettirilerek bağlantının yeniden kurulması sağlanır. Görüntü ve veri aktarımı, sürekli izleme ve değerlendirme altında tutulur. Veri aktarımı başarılı bir şekilde devam ederse, izleme ve operasyon süreçleri



sürdürülebilir. Ancak bağlantı yeniden sağlanamaz ya da veri aktarımı kesilirse, sistem güvenli kapanış prosedürünü başlatarak operasyonu sonlandırır.

Son adımda, operasyonun tamamlanmasıyla sistem kapatılır. Bu akış, sistemin işleyişini adım adım açıklarken, olası sorunlar karşısında alınacak önlemleri de içermektedir. Bağlantı kontrolü ve veri akışının sürekliliği üzerine odaklanan bu yapı hem operatör kontrolüne hem de otomasyon süreçlerine uyumlu olarak tasarlanmıştır. Bu yaklaşım, sistemin güvenilirliğini artırmayı ve su altı koşullarında kesintisiz bir operasyon sağlamayı hedeflemektedir.

#### **4. Sonuç**

Bu tasarım, operatörün ihtiyaçlarına göre hem manuel hem de otomatik kontrolleri destekleyerek, su altındaki koşullara uyum sağlayan ve gerçek zamanlı görüntüleme ile veri aktarımı için optimize edilmiş bir altyapı sunar. Sistem, veri kaybını minimuma indirirken güvenilirliği artırarak su altı keşiflerinde kritik bir avantaj sağlayabilir. Yapının esnekliği, gelecekteki geliştirmeler ve sistemin diğer sensörler veya işlevlerle entegrasyonu için geniş bir uygulama potansiyeli sunar. Bu özellikler, sistemi sadece operatör kontrolü açısından değil, aynı zamanda bilimsel ve endüstriyel uygulamalarda da etkin ve pratik bir çözüm haline getirir.

## KAYNAKÇA

- [1] Canlı, G. A., Kurtoğlu, İ., Canlı, M. O., & Tuna, Ö. S. (2015). DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE İNSANSIZ SUALTI ARAÇLARI İSAA-AUV & ROV TASARIM VE UYGULAMALARI. *Gidb Dergi*, (04), 43-75.
- [2] Budiyo, A. (2009). *Advances in unmanned underwater vehicles technologies: Modeling, control and guidance perspectives*.
- [3] Gülgün, T., Yalçınkaya, İ., Erdoğdu, M., & Durdu, A. (2021). İnsansız Su Altı Araçlarında Kullanılan İtici Motorların İtici Kuvveti Hesaplanmasında Uygulanan Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 791-795.
- [4] Yamamoto, I., Morinaga, A., Oshino, T., Kinoshita, K., & Izumi, Y. (2024). Research on ASV/ROV Cooperative System with AI for Seagrass Distribution Survey. *IFAC-PapersOnLine*, 58(20), 325-328.
- [5] Antonelli G. *Underwater Robots-Motion and Force Control of Vehicle-ManipulatorSystems*. 2nd ed., vol.2. Springer: Berlin Heidelberg New York, 2006.
- [6] Christ, R. D., & Wernli Sr, R. L. (2013). *The ROV manual: a user guide for remotely operated vehicles*: ButterworthHeinemann.
- [7] Yağlı, H., Sorarlı, G., Taşcı, D., & Aksu, A. (2023). Sanayi Alanında Kullanılan Sualtı Görüntüleme Sistemleri Ve Çalışma Alanları. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 8(4), 773-779.
- [8] Yakut, M., Yılmaz, S., İnce, S., Otçu, M., & Aygün, E. (2015). Derinlik ve Yön Kontrol Uygulamaları için Sualtı Aracı Tasarımı. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 3(1), 343-355.
- [9] CERİT, A. (2023). Epoksi Reçinelerin Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Five Zero Dergisi*, 3(1), 192-201.
- [10] ŞENTÜRK, Ş.(2019), FINDIK , Z.(2019),İki Tekerlekli Denge Robotu,Karabük Karabuk University,Mechatronics University
- [11] "3D printing materials." (2010, December 12). \*[Article in English]\*.

- [12] Batchelor, G. K. (1967). An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press.
- [13] Serway, R. A., & Jewett, J. W. Jr. (2003). Physics for scientists and engineers (6th ed.). Brooks Cole.
- [14] Serway, R. A., & Jewett, J. W. Jr. (2018). Physics for scientists and engineers (10th ed.). Cengage Learning.
- [15] Kleppner, D., & Kolenkow, R. J. (2014). An Introduction to Mechanics (2nd ed.). Cambridge University Press.



# BÖLÜM 5

## İÇTEN YANMALI MOTORLARDA TERMİK VERİMİ ARTIRMAYA YÖNELİK BİR ALTERNATİF: TERMAL BARIYER KAPLAMA

*Mehmet Akif KUNT<sup>1</sup>*

*Yasin Furkan GORGULU<sup>2</sup>*

---

1 Associate Prof. Dr., Kutahya Dumlupınar University, Tavşanlı Vocational School, Motorized Vehicle and Transporting Technologies Department, ORCID: 0000-0001-5710-7253, mehmetakif.kunt@dpu.edu.tr

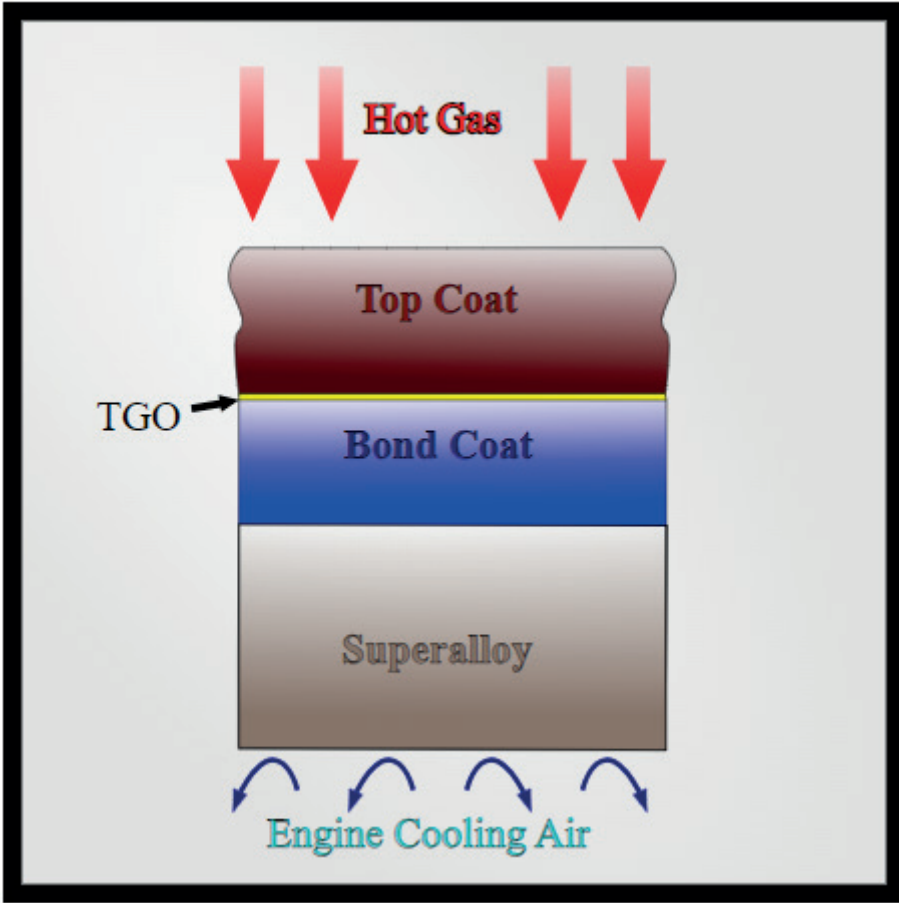
2 Assistant Prof. Dr., Isparta University of Applied Sciences, Keciöbörly Vocational School, Department of Machinery and Metal Technologies, ORCID: 0000-0002-1828-2849, yasingorgulu@isparta.edu.tr

## 1. INTRODUCTION

İçten yanmalı motorlarda atık ısıların azaltılması, yakıttan elde edilen enerjinin daha fazla miktarda faydalı işe dönüştürülmesi termik verimin artırılması bakımından oldukça önemlidir (Gürbüz (2014)). Fosil yakıtlı motorların temel ısı kayıpları soğutma sistemi, egzoz sistemi ve radyasyon kayıplarından çevreye atılmaktadır. Pratik içten yanmalı motor uygulamalarında yakıtın yaklaşık üçte bir faydalı enerjiye, geri kalan miktar ise termal enerji olarak çevreye aktarılmaktadır (Jerald (2016)). Soğutma sisteminde kullanılan soğutucu akışkan sıcaklığının azaltılması silindir kapağı ve silindir çevresinden soğutucu akışkana geçen ısı miktarını artırmaktadır. Bu durum piston sıkıştırma sonu basıncını, sıcaklığını ve fren ortalama efektif basıncını azaltacaktır. Ayrıca egzoz emisyonları da artacaktır (Borat (1995), Malaev (1983) ve Topgül (2001)). Silindir içi reaksiyon sıcaklıklarının ve yanma hızının azalması ile yanmayan yakıtın ani yanması meydana gelmektedir. Bu durum silindir içinde termal şok, basınç, kimyasal aşınma ve deformasyon meydana getirmektedir. Silindir yüzeyleri ve yanma odası yüzeylerinde yüzey deformasyonlarını engellemek için silindir içinde gazların doğrudan silindir ve yanma odası malzemeleri ile temasının engellenmesi gerekmektedir (Gürbüz (2010)). Silindir içi gazların yanma odası elemanları ile doğrudan temasını kesmek, silindir içi sıcaklıklarını artırmak ve çevreye atılan ısı miktarını azalmak için en uygun yöntem termal bariyer kaplamadır. Yanma odası yüzeyinin termal bariyer malzemeleri ile kaplanması sonucunda motor verimi, ısı salınım oranı ve özgül yakıt sarfiyatı miktarları iyileşirken HC, CO gibi emisyonlar önemli oranda azalmaktadır. Özetle içten yanmalı motorlarda termal bariyer kaplama işlemi ile silindir içi malzemelerinin termal gerilimden zarar görmesinin engellenmesi, termik verimin artması, yakıt tüketiminin azaltılması, motor ömrünün uzatılması, egzoz gaz sıcaklıklarının artması, silindir içi ısı dağılımında iyileşme ve emisyonların azaltılması mümkün olmaktadır.

## 2. TERMAL BARIYER KAPLAMA

Metalik yüzeylere termal bariyer kaplama uygulaması temelde Süperalaşım altlık, Bağ kaplama, Termal gelişen oksit ve Seramik üst kaplamadan meydana gelmektedir. Bu katmanlardan bağ kaplama seramik üst kaplamasının altlığa yapışmasını sağlamaktadır. Termal gelişen oksit tabakası ise kaplama işlemi sırasında bağ tabakanın oksitlenmesiyle ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. Termal Bariyer Kaplama Tabakaları

Termal bariyer kaplama uygulamalarında taban malzemesi olarak genellikle Nikel, İndiyum ve Krom esaslı alaşımlardır. Bu malzemelerin dayanım sıcaklıkları 1100-1200 °C aralığında olup yüksek sıcaklık ve basınçlar altında korozyon direnci ile oksidasyon dirençleri yüksek olan malzemelerdir. Ayrıca bu malzemelerin çalışma sınırları ergime sıcaklıklarının %90' larına kadardır. Katmanın mekanik yükü altlık alaşım tarafından taşınmaktadır. Altlık kısmının üzerinde yer alan bağ tabaka seramik üst kaplamanın altlığa yapışmasını sağlama ve kaplama işlemi sırasında meydana gelen oksidasyonun alt tabakaya ulaşmasını geciktirme görevleri bulunmaktadır. MCrAlY temelli bir kaplama malzemesidir. M: Nikel, kobalt, demir veya bu elementlerin bileşimini simgelemektedir. Alaşım içerisinde yer alan Alüminyum elementi sünekliği önemli oranda azaltmaktadır. Krom elementi ise bağ tabaka yüzeyinde oksidasyon ve korozyon direncini sağlamaktadır. Alaşımda yer alan Y (İtriyum) elementi de yapışmanın elde edilmesini temin etmektedir.

Termal gelişen oksit tabakası seramik üst tabakayı bağ tabakaya bağlarken yapışma kabiliyetini azaltan oksitlenmeyi de önlemektedir. Termal gelişen oksit termal bariyer seramik üst katman kaplanmaya başlandığında meydana gelmektedir. Kaplama işlemi sırasında meydana gelen bu katman diğer katmanlara oranla daha incedir. Bağ tabaka ile oluşan termal genişleme katsayısı uyumsuzluğu sebebiyle kaplama tabakası içerisinde gerilmeler meydana gelmektedir. Bu gerilmeler kaplama işlemi sonrasında yüksek sıcaklıklar sebebiyle kaplama tabakası yüzeyinde kırılma veya ayrılmalara sebep olmaktadır (Minisker (2009)). Termal gelişen oksit tabakası kaplama yüzeyi ile motor yüzeyi arasındaki oluşan bağlanmanın dayanımını artırmaktadır. Bu tabakanın aşırı kalınlaşması kaplama gerilmelerine sebep olmakta ve kaplama ömrünü azaltabilmektedir.

Termal bariyerin en üstünde yer alan seramik üst tabaka yüksek sıcaklık, basınç ve kimyasal gaz reaksiyonlarına maruz kalan tabakadır. Bu tabaka ısı yalıtım yaparak alt tabakaları yüksek sıcaklıktan korumaktadır. Bu tabakanın kaplanmasıyla silindiri içinde daha fazla miktarda ısı enerjisi kalarak motor termik verimi artırılmaktadır. En yaygın kullanılan seramik kaplama malzemesi zirkonyumdur. Bu malzeme %8 İtiryum ile stabilize edilmiştir. Zirkonya oda sıcaklığı ile 1170 °C arasında, 1170 – 2370 °C aralığında ve 2700 °C üzerindeki sıcaklıklarda farklı kristal yapıları sahiptir. Kristal yapı değişimleri hacim değişimleri de oluşturmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda faz kararlılığı için magnezyum oksit, itiryum oksit veya kalsiyum oksit gibi oksitler zirkonyuma ilave edilmektedir.

### **2.1. Termal bariyer malzemelerinden istenilen özellikler**

Yüksek ergime noktası

Düşük yoğunluk

Yüksek deformasyon ve termal şok dayanımı (Avcı (2015))

Yüksek korozyon direnci

Yüksek oksidasyon direnci

Faz kararlılığı

Sertlik ve yüksek aşınma direnci

Termal genişleme katsayısının yüksek olması

Düşük sinterlenme oranı (Kahraman (2011))

Düşük termal iletkenlik

Yukarıda ifade edilen özelliklerin tümüyle sağlanması oldukça zor bir malzeme bileşeni anlamına gelmektedir. Termal bariyer malzemelerin istenilen özellikleri taşınması için en uygun malzemeler ve kaplama parametreleri-



nin seçilmesi gerekmektedir. Termal bariyer malzemeleri olarak YSZ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Müllit ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ),  $Y_3Al_xFe_{5-x}O_{12}$ ,  $CeO_2$ +YSZ ve  $La_2Zr_2O_7$  malzemeler kullanılmaktadır.

## 2.2.YSZ (İtriyum İle Stabilize Edilmiş Zirkonya)

$ZrO_2$  düşük sürtünme katsayısı, yüksek ergime noktası, sertlik ve yapışma özelliğine sahip bir malzemedir. Bu özellikleri sebebiyle en uygun termal bariyer kaplama malzemelerinden birisidir. Zirkonya'nın 1170 °C- 2700 °C aralığında sıcaklığa bağlı faz dönüşümleri gerçekleştirmesi sebebiyle hacimsel genleşmeler de meydana gelmektedir. Ayrıca faz dönüşümleri termal bariyer kaplamalarda gerilmeler ve mikro çatlaklar oluşturmaktadır. Değişen sıcaklıklarda tetragonal faz yapısını koruyabilmek amacıyla itriyum oksit ( $Y_2O_3$ ), kalsiyum oksit (CaO), magnezyum oksit (MgO) gibi oksit bileşenleriyle kararlı duruma getirilen zirkonyum oksit ( $ZrO_2$ ) kullanılmaktadır. Bu oksit bileşenleriyle dengelenen yapılara kısmi dengelenmiş zirkonyum oksit (PSZ) adı verilmiştir (Altan (2019), Avcı (2015), Diltemiz (2010), Minisker (2009)).

### Müllit

Bu malzeme kimyasal kararlılığı ve dayanımı yüksek, mukavemet davranışı istenilen değerlerde olan bir yapıdır. Müllit  $SiO_2$  ve  $Al_2O_3$  bileşenlerinden meydana gelmiştir. Zirkonya'ya göre genleşme katsayısı daha düşük, oksijen dayanımı daha yüksektir. Ayrıca termal iletkenliği daha yüksektir. Bu malzemenin termal bariyer uygulamalarında kullanılması durumunda yeniden kristalleşmeler sebebiyle hacimsel daralmalar, çatlak oluşumları ve kaplama kopmaları meydana gelebilmektedir. Müllit'in korozyon direnci yüksek, şok direnci iyi oksijen geçirgenliği ise düşüktür. Ancak bu malzemenin en önemli dezavantajı kristalizasyondur. Müllit malzemeler SiC esaslı malzemelerin üzerine kaplanması durumunda aynı termal genleşme katsayılarına sahip olmaları sebebiyle oldukça iyi sonuçlar vermektedir (Çift yürek (2009) ve Minisker (2009)).

### Alümina ( $Al_2O_3$ )

Ekonomiklik, kolay bulunabilirlik, yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım ve yüksek korozyon direnci sebebiyle Alümina malzemesi pek çok alanda kullanılmaktadır. Termal bariyer uygulamalarında YSZ malzemelerinin içerisine belirli oranlarda katılarak YSZ malzemenin tokluk ve elastise modülünü değiştirmeden dayanım ve sertliği artırabilmektedir. Ayrıca altlık malzemenin oksidasyon direncini de artırmaktadır. Oksijen'in katmanlar arasındaki geçişinin azaltılması ile YSZ malzemenin genleşmesi de kontrol altına alınmaktadır. Alümina  $ZrO_2$  malzeme kristalleri etrafında basınç oluşturarak YSZ malzemenin faz dönüşümünü engellemektedir. Termal bariyer uygulamalarında üst ve bağ katmanı arasındaki termal genleşme katsayıları

azaltılmaktadır. Ancak bu malzemenin 1000 °C sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda faz dönüşümlerine uğraması ve yüksek termal iletkenlik karakteri önemli dezavantajlarıdır.

Termal bariyer uygulamalarında  $Y_{3-x}Al_xFe_{5-x}O_{12}$ , Lantonyum Zirkonat ve  $CeO_2$ +YSZ malzemeleri de kullanılmaktadır. Bu malzemelerin içten yanmalı motorlar dışında uygulamalarının bulunması ve ticari uygulamalarının azlığı sebebiyle bu çalışmada detaylı şekilde anlatılmamıştır.

### 3.TERMAL BARIYER UYGULAMALARINDA MEYDANA GELEN ARIZALAR

Termal bariyer kaplamalarında zamana, çalışma sıcaklıkları, çalışma basınçlarına ve meydana gelen kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak termal şok, oksidasyon, ayrılma, çatlama ve termal yorulma problemleri meydana gelmektedir.

#### Ayrılma (Spallation)

Termal bariyer uygulamalarında kaplama tabakasının maruz kaldığı stres sebebiyle yüzeyden ayrılmalar meydana gelmektedir. Uygulanan termal bariyer kaplama yöntemi de ayrılma bölgesinde etkili olmaktadır. Kaplama partiküllerinin sprej tabancası üfleç kısmından püskürtüldüğü Atmosferik Plazma Sprej (APS) yönteminde ayrılma tabakası seramik üst kaplama ile termal gelişen oksit tabakası arasında meydana gelmektedir. Bununla birlikte EB-PVD (elektron ışın demeti fiziksel çökertme) yöntemiyle yapılan kaplamalarda ayrılma termal gelişen oksit tabakası ile bağ kaplama arasında gerçekleşmektedir. Yüzeyler arasında meydana gelen ayrılmalar hızla ilerleyerek kaplamanın yüzeyden ayrılmasına neden olmaktadır (Altan (2019)).

#### Termal Şok

Kaplama malzemelerinin yüksek sıcaklıklara maruz kalmasının ardından ani soğumalara maruz kalmaları durumunda verdikleri karşı tepkiye termal şok adı verilmektedir. Malzemelerin ısı iletim katsayılarının düşük olması aynı zamanda termal şok dirençlerinin de düşük olması anlamına gelmektedir. Kaplamaların iç kısmında meydana gelen gözenekler ve oksidasyon miktarı yüksek sıcaklıklar altındaki malzemede meydana gelen ısıl gerilmeleri karşılamaktadır. Ancak termal şok bakımından en önemli problem kaplamalar arasındaki termal genişleme uyumsuzluğunun giderilmesidir.

#### Oksidasyon

Oksidasyon en temel termal bariyer kaplama hasarlarındanıdır. Seramik üst kaplamanın alt kısmına yerleşen oksijen difüzyonuna bağlı olarak gelişen bu tabaka kaplama malzemesinin üst kısmından ayrılma ve hasarlara neden olmaktadır. Bu tabakanın kalınlığı kaplama yöntemiyle de çok yakından ilgilidir. Kaplama da kullanılacak malzemelerin oksidasyon direncini yüksek olması oldukça önemlidir.

## Sıcak Korozyon

Sıcak korozyon düşük kaliteli yakıtların yakılması durumunda sıcak gazların etkisiyle ergiyen tuzların kaplamalara zarar vermesini ifade etmektedir. Yakıt bünyesinde bulunan tuzlar yüksek sıcaklık ortamında yitriya ile reaksiyona girerek malzeme soğurken tetragonal veya kübik fazların monoklinik kristal yapısına dönüşmesine neden olmaktadır (Avcı (2019)).

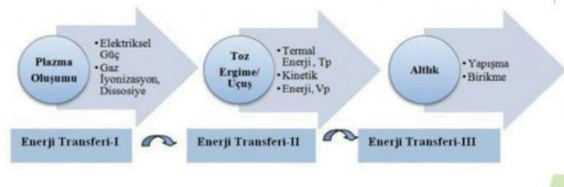
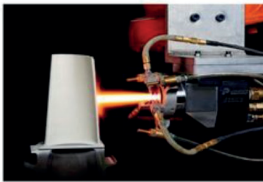
Tuzlar sebebiyle meydana gelen faz dönüşümleri kacam artışlarına, çatlak ve ayrılmalara neden olmaktadır. Bu olumsuz etkileri azaltmak için ergimiş tuzların kaplama yüzeyine sızması engellenmelidir. Lazer sırlama, daha yoğun  $Al_2O_3$  kaplama işlemleri sıcak korozyonu önleme yöntemleridir.

## 3.TERMAL BARIYER UYGULAMA YÖNTEMLERİ

Termal bariyer malzemelerinin motor uygulamaları için pek çok uygulama yöntemi bulunmaktadır. En yaygın kullanılan yöntemler Plazma Sprey Kaplama, Elektron Işınlı Fiziksel Buhar biriktirme (EB-PVD), Kimyasal Buhar biriktirme (CVD) ve Termal Sprey Kaplama yöntemleridir.

### 3.1. Plazma Sprey Kaplama

Plazma Sprey kaplama yöntemi ince toz halindeki kaplama malzemesinin ısı ile eritilmesi ve eritilen malzemenin kaplama yüzeyine püskürtülmesi işlemidir. Kaplama malzemesi toz formundadır. Plazma yüksek sıcaklıkların elde edilebildiği iyonize bir gazdır. Isı ile eritilen kaplama malzemesinin yüksek hızda kaplama yüzeyine püskürtülmesi gerekmektedir İşlem öncesinde kaplama yüzeyinin temizlenmesi ve pürüzlendirilmesi önemlidir. Plazma başlığının hareket hızı genellikle 300-600 mm/s arasında, püskürtme basıncı 4-7 bar arasında değişmektedir. Uygun püskürtme basıncı ve hareket hızı erimiş kaplama malzemesinin kaplama yüzeyine güçlü bir şekilde yapışmasını sağlamaktadır. Bu yöntemde plazma gaz akışı ve plazma arkını oluşturan elektriksel güçte önemlidir. Plazma kaplama yönteminde argon, hidrojen gibi gazlar kullanılmaktadır. Gaz akış hızları 40/80 l/d arasındadır. Plazma arkının meydana gelmesi için gereken güç ise 30/80 kW arasındadır. Plazma püskürtme basıncının yüksek seçilmesi kaplama kalitesinin düşmesi, oksit oluşumu, yüzey hasarı ve homojen olmayan kaplama kalınlığı sorunlarına neden olabilir.



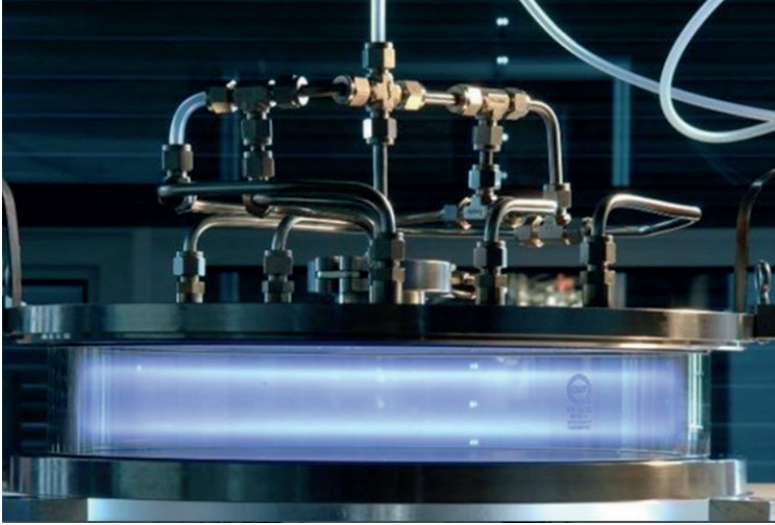
Şekil 2. Plazma Sprey Kaplama uygulama temeli

### 3.2. Elektron Işını Fiziksel Buhar Biriktirme (EB-PVD)

Bu yöntem vakum altında yüksek enerjili bir elektron ışın katmanının kaplama malzemesini kapladığı ileri bir kaplama yöntemidir. Buharlaştırılan kaplama malzemesi kaplama yüzeyine doğru hareket etmekte, kaplama yüzeyinde yoğunlaşarak ince bir kaplama tabakası meydana getirmektedir. Bu şekilde kaplama malzemesinin kaplama yüzeyine homojen bir şekilde dağılması sağlanmakta, düzgün ve ince kaplamalar yapılabilmektedir. Bu yöntemde kaplamanın yüksek kaliteli ve dayanımı yüksek kaplamalar üretmek mümkündür. Ayrıca kaplamanın yüzeye eşit dağılması ve yüksek sıcaklıklara karşı yüksek performanslı dayanım sağlar.

### 3.3. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD)

Bu yöntem gaz fazında gerçekleşen bir kimyasal reaksiyon neticesinde meydana gelmektedir. Kimyasal reaksiyon sonucunda oluşan katı malzeme kaplama yüzeyinde ince bir tabaka meydana getirmektedir. Kimyasal buhar biriktirme işlemi yüksek sıcaklıklarda (1000 °C) gerçekleşmektedir. Reaksiyonların yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi kaplama malzemesinin yüzeye daha iyi yapışmasını sağlamaktadır. Malzeme yüzeyine kaplanan malzeme kalınlığı her noktada homojendir. Yöntemin yüksek maliyetli olması ve kullanılan gazların toksik ve yanıcı olması dezavantajlarıdır.



Şekil 3. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) (Rocket (2008))

### 3.4. Termal Sprey Kaplama

Metal, seramik ve polimer malzemelerin yüzeylere kaplanmasında kullanılan bir yöntemdir. Kaplama malzemesinin toz yada tel formunda hazırlanmasının ardından ısıtılan malzemenin kaplama yüzeyine püskürtülmesi

sağlanmaktadır. Kaplama işlemi öncesinde kaplanacak malzemenin yüzey temizliği pürüzlendirme işlemi yapılmaktadır. Pürüzlendirme işlemi için en kullanışlı yöntem kumlama işlemidir. Termal spreyleme yöntemleri alev spreyleme, plazma spreyleme, yüksek hızlı oksijen-yakıt spreyleme, elektrik yay spreyleme ve soğuk gaz dinamik spreyleme yöntemleridir. Bu kaplama işleminden sonra kaplanan malzemenin aşınma direnci ve korozyon direnci artmaktadır. Yöntem metalik, seramik ve polimer türü çok farklı malzemelere uygulanabilmektedir. Kaplama işlemi sırasında malzeme yüzeyinde minimum termal stres meydana gelmektedir. Ayrıca bu yöntemle kalın kaplama katmanları meydana getirilmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada içten yanmalı motorlarda termik verimi artırma potansiyeli olan termal bariyer uygulamaları hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. İçten yanmalı motorlarda çevreye atılan ısı miktarının azaltılması termik verimi artırmaktadır. Soğutma sistemine atılan ısı miktarının artırılması silindir içi basınç ve sıcaklığını artırmaktadır. Bu durum aynı zamanda yanma sonu basınç ve sıcaklıklarını da artırmaktadır. Yanma odası içerisinde meydana gelen yanma emisyonlarının yanma odası elemanları ile temasının azaltılması ısı salınım oranını ve özgül yakıt tüketimini azaltmaktadır. Silindir içi sıcaklıklarının artması yanma hızını artırmaktadır. Bu durum HC, CO emisyonlarını da azaltacaktır. Termal bariyer kaplama işlemi sonucunda yanma odası ve piston üzerinde 4 katman oluşturulmaktadır. Termal bariyer malzemeleri olarak YSZ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Müllit ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ),  $Y_3Al_xFe_{5-x}O_{12}$ ,  $CeO_2$ +YSZ ve  $La_2Zr_2O_7$  malzemeler kullanılmaktadır. Termal bariyer uygulamalarının pek çok faydası olmasına karşın kullanılan termal bariyer malzemesi, uygulama yolları ve motorun çalışma şartlarına bağlı olarak ayrılma (spallation), termal şok, oksidasyon ve sıcak korozyon gibi bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Termal bariyer kaplama yöntemleri yüzey koruması, yüksek sıcaklık dayanımı, düşük ısı iletkenliğinin istendiği malzemelerde kritik öneme sahiptir. Ayrıca ekipman ömrünün uzun sürmesi için de çok önemlidir.

## KAYNAKÇA

- Altan, E. (2019). *Termal Bariyer Kaplamaların (TBC) Mikroyapısal Ve Elektrokimyasal Korozyon Davranışlarının İncelenmesi*, (Doktora Tezi), Bartın Üniversitesi, Bartın
- Avcı, A. (2015). *Termal Bariyer Kaplamaların Oksidasyon ve Sıcaklık Korozyonu Davranışlarının İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., İçten Yanmalı Motorlar, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Cilt 1, Ankara, 1995.
- Çiftiyürek, E. (2009). *%8 YSZ (İtriyum İle Stabilize Edilmiş ZrO<sub>2</sub>) Termal Bariyer Kaplamaların (TBK) Üretilmesi ve Proses Parametreleri Optimizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Diltemiz, S. F. (2010). *Plazma Sprey Termal Bariyer Kaplamaların Isıl ve Mekanik Özelliklerinin Optimizasyonu*. (Doktora Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir
- Gürbüz, H, Gökkaya, H., “An Evaluation of the Effects of Coating With Thermal Barrier on Engine Performance in Diesel Engine” *Technology*, 13 (1), 49-57, 2010.
- H. Gürbüz, H. Gökkaya *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 20, Sayı 1, 2014, Sayfalar 15-19.
- Jerald T.L., Timothy A.C., Jacobs J. 2016. Energy distributions in a diesel engine using low heat rejection (LHR) concepts. *Energy Conversion and Management*. 130: 14-24.
- Kahraman, Y. (2011). *Termal Bariyer Kaplı Gaz Türbin Kanatlarında Çalışma Esnasında Oluşan Gerilmelerin Modellenmesi Ve Analizi*, (Doktora Tezi), Sakarya Üniversitesi, Sakarya
- Malaev, V. L., “Internal Combustion Engines, Mc Graw-Hill International Book Company”, 1983.
- Minisker, M.A. (2009). *Termal Sprey Yöntemiyle Oluşturulan Kaplamaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Rockett A, *Chemical Vapor Deposition In: The Materials Science of Semiconductors*. Springer, Boston, MA. 2008.
- Topgül, T., Çınar, C., “İçten Yanmalı Motorlarda Soğutma Suyu Sıcaklığının Motor Performansına Etkileri Üzerine Deneysel Bir Araştırma” *Selçuk-Teknik Online Dergisi*, ISSN: 1302-6178, Cilt: 2, Sayı: 1, 2001.

# BÖLÜM 6

## KAUÇUK ENJEKSİYON PRESİNDE AEM KAUÇUK ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE KALİTE KONTROL İŞLEMLERİ

*Levent Cenk KUMRUOĞLU<sup>1</sup>*

*Serbay DÖNMEZ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Prof. Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0001-6420-3761

<sup>2</sup> İska Kauçuk Metal Plastik Sanayi ve Ticaret A.Ş.  
ORCID: 0009-0002-6537-038X

## KAUÇUK

Sadece dünyanın belirli bölgelerinde yetişen ağaç türünün adıdır. Sanayide çok geniş kullanım alanına sahip bir polimer türü olan lateks bu ağacın öz suyundan elde edilir. Esnek bir polimer olan kauçuk çok iyi bir kalıcı biçim deformasyon özelliğine sahiptir. Yani yüksek basınç dayanımı vardır. Basınç maruziyeti kesildiğinde eski halini koruyabilmektedir.

Dünya genelinde 15 milyon ton/yıl dan fazla kauçuk üretilmektedir. Bu üretilen kauçukların üçte biri ağaçlardan üretilen tabii kauçuk iken kalanı ise petrol ürünlerinden elde edilen yapay (sentetik) kauçuktur<sup>1</sup>.

Kauçuk türü ASTM tarafından üç standartla sınıflandırılmış ve tanımlanmıştır. Bunlar;

**ASTM D1418:** Kauçuk ve kauçuk ürünlerin standart uygulaması-adlandırırma<sup>3</sup>.

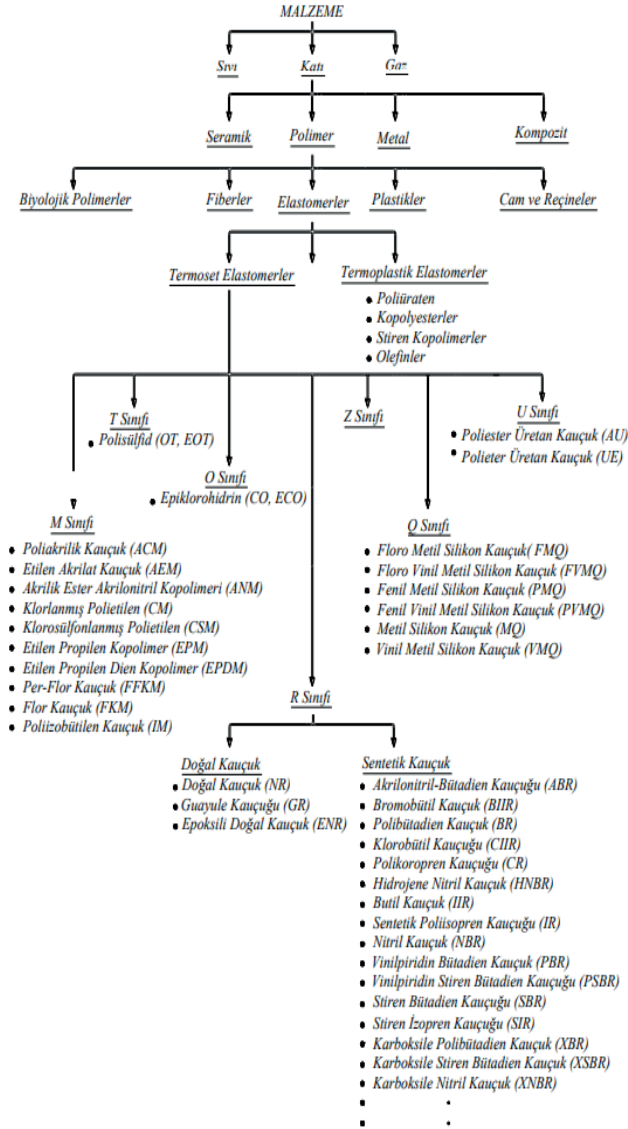
**ASTM D1566:** Kauçuk firmaları arasında iletişim kurulsun diye hazırlanmış standart-terminoloji<sup>4</sup>.

**ASTM D2000:** Otomotiv sektöründe kullanılan kauçuklar için hazırlanmış şartnamedir<sup>5</sup>.

ASTM D2000 standardı uluslararası bir standarttır. SAE J200 ise Amerikan Otomotiv Mühendisleri tarafından oluşturulmuş bir şartnamedir. Bu şartnameler birbirine çok benzerdir ve kauçuk malzemeleri özelliklerine göre sınıflandırır. Bu sınıflandırma, kauçukları tipi ve sınıfı olmak üzere iki ana gruba ayırmıştır. Tip, kauçuğun ısı mukavemetle yaşlanmaya karşı direncini, sınıf ise ASTM yağların içinde şişmeye karşı direncini belirtir. Böylece ASTM D2000 ve SAE J200 standartları, kauçukları ısı dayanımları ve yağları emmeye göre özelliklerini tanımlar.



## Kauçuk Türü Malzemelerin Sınıflandırılması



Şekil 1. Kauçuk türü malzemelerin sınıflandırılması<sup>2</sup>

Termal test ile kauçuğun maksimum dayanım sıcaklığı belirlenir ve 70°C ile 275°C arası sıcaklık değerlerine göre sınıflandırılır. Bu aralıkta 70°C, A harfiyle, 275°C ise J harfiyle ifade edilir ve 70°C ve 275°C sıcaklıklar arasında kalan harfler de belirli sıcaklık aralıklarını tanımlar (Tablo 1). Tanımlanan bu harfler ise kauçuğun tipini göstermektedir.

Yağ emme testine göre ise, ASTM NO3(IRM 903) <sup>6</sup> numaralı yağda bekletilerek maksimum yağ emme miktarı belirlenir ve bu belirlemeden sonra A-K harfleri arasında sınıflandırılır (Tablo 1). Sonuçta, tip ve sınıf terimleri yan yana yazılarak kauçuğun ASTM D2000 standardına göre tanımı yapılır. Örneğin, ASTM D2000'e göre BK ile tanımlanan bir kauçuk, 100°C'ye kadar kullanılabilen ve %10'dan fazla hacimsel şişme göstermeyen bir malzeme anlamına gelir<sup>6</sup>.

TİP	TEST SICAKLIĞI (°C)	SINIF	HACİMSSEL ŞİŞME (max%)
A	70	A	Sınırlama yok
B	100	B	140
C	125	C	120
D	150	D	100
E	175	E	80
F	200	F	60
G	225	G	40
H	250	H	30
J	275	J	20
		K	10

**Tablo 1.** ASTM D2000 standartlarına göre kauçuk malzemelerin tanım aralıkları <sup>7</sup>

### Şartnamesi Verilen Kauçuk Türünün Tanımlanması

“ASTM D 2000 M4 EE 710 A47 B46“ kalite standardına uygun ürün istenildiğinde yapmamız gereken öncelikle tanımlamaktır. Aşağıdaki adımları izleyerek tarafımızdan istenileni sonuca bağlamamız gerekmektedir. “ASTM D 2000 M4 EE 710 A47 B46“ derken tarafımıza iletilen aslında:

ASTM D2000 = Standartlar Organizasyonu ve Doküman Numarası

Temel Gereksinimler:

M = Gereksinimler SI Birimleri cinsindedir.

4 = Uygulanabilir sınıf Derecesi.

EE = Polimer cinsini belirtir.

7 = x 10 A Tipi Sertliktir (yani 7, gereksinimin 70 olduğunu gösterir).

10 = Çekme Mukavemeti (Satırdaki “M” birimlerin yerinde olduğunu gösterir, MPa)

Özel Gereksinimleri:

A47 = A – Kuru Havada Yaşlandırma; 4 – D573, 168 saat; 7 – 175°C

EO34 = EO – Yağlar ve Yağlayıcı Sıvılarda Direnç; 3 – D471, IRM 903  
Benzin, 70 saat; 4 – 100°C

## KAUÇUK TÜRLERİ

### Tabii Kauçuk (NR)

Hevea brasiliensis isimli para kauçuk ağacından lateks toplanır. Buradan toplanan lateks doğal kauçuk olarak tanımlanır<sup>8</sup>.



Şekil 2. Doğal Kauçuğun Elde Edilmesi

### Doğal Kauçuk Özellikleri

İYİ ÖZELLİKLERİ	KÖTÜ ÖZELLİKLERİ
Yüksek esnekliğe sahiptir.	Hidrokarbonlara karşı az dayanıklıdır.
Yüksek dayanıma sahiptir.	Hava geçirgenliği çoktur.
Düşük deformasyon ve yayılma özelliği vardır.	Hava, oksijen ve ozona dayanımı azdır.
Dinamik özellikleri iyidir.	Tabii ürün olması sebebiyle fiyatı dövize endekslidir.
Kolay işlenir.	
İyi yırtılma ve aşınma dayanımına sahiptir.	
Polar sıvılara dayanıklıdır.	

Tablo2. Tabii kauçuğun iyi ve kötü özellikleri

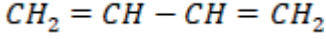
## SENTETİK KAUÇUKLAR

Sentetik kauçuk petrol ürünlerinden elde edilen bir polimer türü malzemedir. Sentetik kauçukların en önemli özellikleri, termal kararlılıkları ve kim-

yasallara karşı yüksek dirençli olmalarıdır<sup>9</sup>.

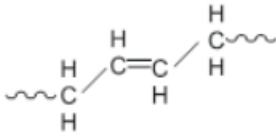
### Bütadien kauçuklar (BR)

Bütadien kauçuklar 1,3-bütadien monomerinden çözelti polimerizasyonu ile üretilirler (Formül1).

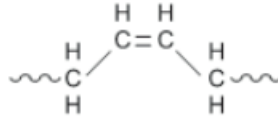


1

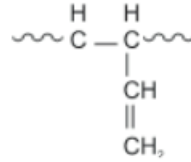
Bütadienin polimerleşmesi sonucunda üç yapı oluşur (Şekil3.). Her yapı kendine has özellikler taşımaktadır<sup>10</sup>.



a) Trans-1,4



b) Cis-1,4



c) Vinil

Şekil 3. Bütadienin polimerizasyonu sonucu oluşabilecek yapılar.

### Ticari Bütadien Özellikleri

1. Kopma Dayanımı düşüktür
2. NR'a göre daha az kükürt ihtiyacı vardır.
3. Camsı geçiş sıcaklığı düşüktür.
4. Düşük sıcaklıklarda daha iyi performans gösterir
5. Aşınma ve çatlama dayanımı yüksektir.
6. Dinamik ısı oluşumu NR'dan azdır
7. İşlemesi zordur<sup>11-12</sup>.

Ticari bütadienler, fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek ve kullanım açısından avantaj sağlamak için diğer kauçuk türleri ile birlikte kullanılırlar. Birlikte kullanıldığı kauçuk türlerinin başında NR ve SBR gelmektedir<sup>11-12</sup>.

### Akrilonitril bütadien (NBR) Kauçuk

Nitril kauçuk (NBR), butadien ve akrilonitril (ACN) monomerlerinin kopolimerizasyonu ile elde edilir. İçeriğindeki nitril grubu sayesinde, yağ, yakıt ve bazı solventlere karşı yüksek dayanım gösterir. Akrilonitril oranı ve mooney viskozitesi bu kauçuk türünün karakteristiğini belirlemektedir ve bu özel-

liklere göre sınıflandırılır. NBR'nin camsı geçiş sıcaklığı (T<sub>g</sub>) ve düşük sıcaklık dayanımı, akrilonitril oranına bağlı olarak değişkenlik gösterir; düşük akrilonitril oranlarında -40 °C'ye kadar düşerken, ACN oranı arttıkça düşük sıcaklığa dayanım özellikleri düşmektedir<sup>13</sup>.

NBR karışımı hazırlanırken açığa çıkan ısı fazla olduğundan, karışımın soğutulan makinelerde üretilmesi gerekmektedir. Kükürdün NBR içinde çözünmesi yavaş olduğundan, karışım süresi arttırılmalıdır. NBR, Amorf yapıda bir elastomer olduğundan, iyi mekanik özellikler yakalamak için takviye bazı kimyasallar kullanılmalıdır. Yüksek Akrilonitril oranlı bir kauçuk kullanıldığında yağa, solvente ve greslere dayanıklılığı artar; fakat düşük sıcaklığa karşı dayanımı azalır<sup>13</sup>.

Nitril kauçuğun ısı dayanımı reçeteye göre farklılık gösterebilir baz reçetede 90 °C'de sürekli, 120 °C'de 40 gün, 150 °C'de ise 3 gün kadar dayanabilir. Ancak, katkı kimyasal kullanmadığınız zaman ozona karşı dayanımı zayıftır. Vulkanizasyon sistemi ve ürün tasarımına bağlı olarak düşük kalıcı deformasyon, orta derecede esneklik, iyi aşınma dayanımı ve iyi gaz geçirmezlik özellikleri gösterir. Elektrik iletkenliği talep edilmeyen durumlarda tercih edilmez. NBR, yağ, yakıt ve diğer sıvı kimyasal dayanımı talep edilen; conta, hortum, o-ring, taşıyıcı bant, fren balatası, beyaz eşya, silindir, filtre gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır<sup>13-14</sup>.

### Etilen propilen kauçukları( EPM / EPDM )

EPM	EPDM
Peroksit ve radyasyonla vulkanize olur	Peroksit, reçine, kion ve kükürtle vulkanize olur.
Düşük sıcaklık özellikleri iyidir.	Düşük sıcaklık özellikleri iyidir.
Doymuş yapıya sahiptir.	Doymuş yapıya sahiptir.
Isı, oksijen, ozon ve hava şartlarına karşı direnci çok iyidir	Isı, oksijen, ozon ve hava şartlarına karşı direnci çok iyidir
Yağlara ve hidrokarbon solventlere dayanımı iyi değildir.	Yağlara ve hidrokarbon solventlere dayanımı iyi değildir.

**Tablo 3.** EPM EPDM karşılaştırılması<sup>15-16</sup>

EPDM'lerin ozon dayanımını arttırmak için diğer elastomerler ile karıştırılması mümkündür. Ancak bu karışımı çok düşük oranlarda ve EPDM'in özelliklerini bozmadan yapmak gerekmektedir. Bunun en temel sebebi EPDM kauçuğun karışma özelliğinin çok iyi olmamasından kaynaklanmaktadır<sup>16</sup>.

EPDM, yüksek ısı ve ozon dayanımları sayesinde otomotiv sektöründe çok geniş kullanım alanına sahiptirler<sup>17</sup>.

## ETİLEN AKRİLAT KOPOLİMER (AEM)

Kısaltması "AEM" olarak bilinen etilen akrilat kopolimerleri, etilen ve akrilik monomerlerin bir araya gelmesiyle oluşan sentetik kauçuklardır. Etilen düşük sıcaklık performansı sağlarken, akrilik ise yağ direncini artırır.

Genel olarak, AEM kauçukları, elbette yapılan reçeteye bağlı olarak ozon ve hava koşullarına karşı NBR'den daha dirençlidir ve düşük sıcaklık performansı bir başka akrilat kopolimeri olan ACM'den daha iyidir. Isı ve ozon direncinin yanı sıra, AEM'lerin titreşim sönümlenme özelliği yüksektir ve geniş bir sıcaklık aralığında iyi bir aşınma ve dinamik direnci göstermektedir. Ancak, su, nem, seyreltilmiş asit ve alkalilere karşı dayanıklılığı bu kadar yüksek değildir. Ayrıca AEM'lerin fiyatı, NR, NBR, CR, EPDM ve SBR gibi diğer elastomerlerden daha pahalıdır<sup>18</sup>.

AEM elastomerleri, genellikle ozon, ısı ve yağlara karşı birleşik dayanıklılığın gerektiği alanlarda kullanılır. Otomotivde şanzıman ve hidrolik direksiyon contaları, Filtre contaları, O-Ringler, diyaframlar, botlar, hortumlar, titreşim yuvaları ve özel kalıplanmış parçalar gibi uygulamalarda yer bulur. AEM'lerin teknik bilgi olarak sürekli çalışma sıcaklığı -30°C ile 150°C aralığı olarak verilir fakat bazı üreticiler reçete geliştirerek -40°C ile 150°C arasında kullanılmasında sorun çıkarmayacağını test etmişlerdir<sup>18-19</sup>.

## AEM HAMURU HAZIRLAMA VE CONTA ÜRETİMİ

SIRA NO	YAPILAN REÇETE	KULLANILAN HAMMADDE	AĞIRLIKÇA (%)	AĞIRLIKÇA (PHR)
1	AEM HAMMADDE	VAMAC	50,675	100
2	NAUGARD 445	NAUGARD 445	1,013	2,00
3	STEARİK ASİT	STEARİK ASİT	0,750	1,481
4	AFULUB STA	AFULUB STA	0,243	0,481
5	AFULUB SEO	AFULUB SEO	0,506	1,00
6	KARBON	N550	40,040	79,012
7	YAĞ	NYCOFLEX ADB30	5,005	9,87
8	HMDAC	VULCOFAC	0,750	1,481
9	ACT 55	VULCOFAC	1,013	2,00

**Tablo 4.** AEM Hamur Reçete Örneği

### Hamur Hazırlama Aşamaları

Hamur kütesine uygun karıştırıcıda iki farklı formda hazırlanabilir. Bunlardan birisi hamur pişiricilerinin direk karıştırıcıda eklenmesi, diğeri ise pişiricilerin sıfırlama esnasında Vals'de eklenmesidir. Teknik olarak iki formu da kullanılır. Ürün formlarına göre ilave metodu tercih edilir.

- 1 Öncelikle hamur için gerekli hammaddeler tartılır. (Şekil4)

2 Hamur hazırlarken daha üniform bir yapı elde etmek için hammadde sırası önemlidir. Bu sebeple karıştırıcıya sırasıyla karbon, yağ ve diğer hammaddeler (HMDAC ve ACT 55 hariç) eklenir.

3 Homojen bir karışım elde etmek için totalde 20 sn çevrilir.

4 AEM kauçuk ilave plastiklerinden ayrılarak karışıma 240 sn çevrim ile eklenir. (Şekil 5)

5 İlk 100 sn sonunda ortamın havası 2 kere alınır.

6 Karışım sıcaklığı ortalama 60 °C Olmalıdır. Bunun sebebi karıştırıcıda skorç ile karşılaşmamaktır. (yaklaşık 58 °C gelmektedir.)

7 Son olarak HMDAC ve ACT 55 120 sn çevrim ile eklenir. Bu sırada sıcaklık 100 °C Geçmemelidir. ( Firmalarda ölçülen değer 75 °C dir.)

8 Aşamalar sırasıyla tamamlandıktan sonra hamur dökülerek cihaz sıfırlaması yapılır.

9 Dökülen hamur 24 saat soğuk odada (  $18^{\circ}\text{C}\pm 3$  ) dinlenmeye bırakılır.

10 Dinlenen hamur vulkanize öncesi ikinci ön işlem olan Vals'e alınarak homojen bir hamur elde etmek için her iki taraftan üç (3) kez kesip bohça şeklinde katlanır. En az üç (3) kez Puro rulosu yapılarak sıfırlanır. (Şekil 6)

11 Çarşaf şekildeki hamur çıkarılır.

12 Çıkarılan hamur talk veya Çinko stearat tozu ile serilir.

13 Serilen hamur soğuk odada minimum 4 saat bekletilir. (Şekil 7)

14 Son olarak hamur vulkanize edilmek üzere 45mm eninde ve 10 mm kalınlıkta şeritler halinde şekillendirilir. ( Şekil 8)

**Piştiricilerin Vals'de eklendiği formda ise;** hamurun dinlemesi ve soğuktan sonra Vals de ilave yapılması oldukça önemlidir. Aksi takdirde Skorç ile karşılaşılır. Hazırlanan AEM hamurundan 5 adet, 175 °C /15 dakika vulkanize edilmiş test plakaları hazırlanmıştır. Kalan AEM hamuru ile kauçuk enjeksiyon presinde 180 °C / 10 dk AEM conta üretimi yapılmıştır. (Şekil9)



Şekil4. Hammadde Tartımı

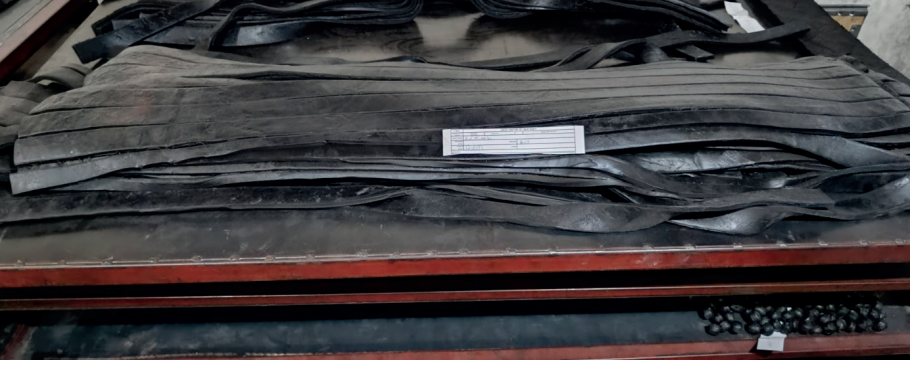


Şekil 5. Kapalı karıştırıcıya kauçuk ilavesi

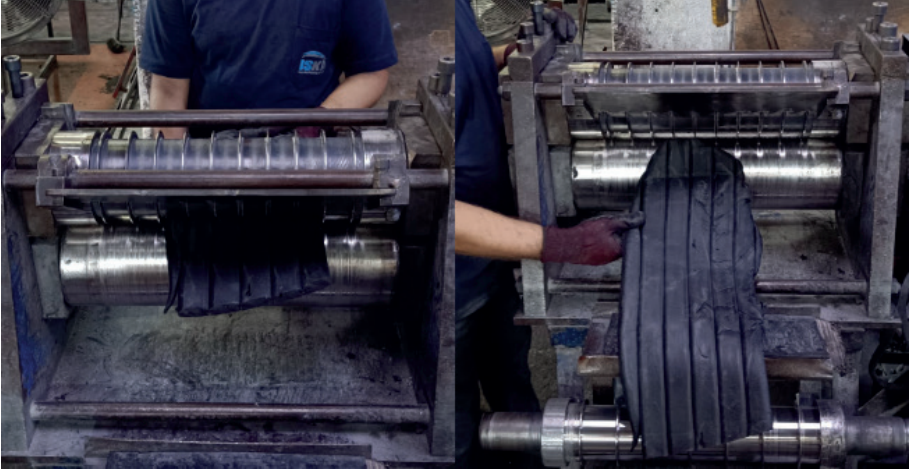


Şekil 6. Vals'de ikinci ön işlem





*Şekil 7 Soğuk Odada Dinlenen Hamurlar*



*Şekil 8 Vulkanize İçin Şekillendirilen Hamur Şeritleri*



*Şekil 9. Kauçuk Enjeksiyon Presinde AEM Conta Üretimi*

## HAMUR TESTLERİ

### Reometre

Reometreler karışımın vulkanizasyon özelliklerini tayin etmeye yarar ve vulkanizasyon parametreleri hakkında yorum yapmak için vulkanizasyon eğrisini verir. Karışıma belirlediğiniz sıcaklık ve basınç altında salınım gerilimi uygular. Bu salınım hareketiyle çapraz bağ yoğunluğundaki artışı tayin eder ve torktaki zorlanmayı zamanın bir fonksiyonu gibi grafik olarak gösterir. Test edilecek kauçuk hamuru, yüksek bir basınç ve belirlediğiniz sıcaklık altında test boşluğuna yerleştirilir. Testi başlattığınız zaman boşluk kapanır ve disk salınım ( $1,7 \pm 0,1$  Hz) hareketi yapmaya başlar. Kauçuğun yoğunluğu, bağların kuvveti ve bağların sayısına bağlı olarak salınım yapması için bir güce ihtiyaç duyar. Bu güç, tork olarak tanımlanır bu da zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Kaydedilen tork bir dengeye ulaştığında veya maksimum değere ulaştığında sonuca ulaşılmış bir eğri gözlenir. Vulkanizasyon parametrelerini belirlemek için ulaştığımız sonuç , gerekli olan süre, test sıcaklığı ve kauçuk özelliklerinin yorumlanması için yardımcı olur<sup>20</sup>.



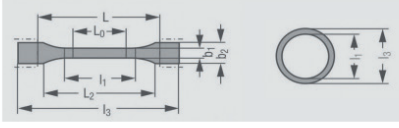
Şekil 10. Reometre Cihazı

## VULKANİZAT TESTLERİ

### Çekme Testi

Kauçuk polimerlerin çekme-kopma analizleri ASTM D412' ye göre yapılmaktadır. Genel olarak üreticiler tarafından kullanılan test numunesi (ASTM D412 tip C ) toplam 115 mm uzunluğunda 6 mm genişliğinde ve 3mm kalınlığındadır. Numunenin kalınlığı üç kere ölçülüp ortalama değer kabul edilmelidir. Analiz 3 kere tekrar edilir ve ortalama sonuç alınarak kaydedilir.

Bu analiz bize bir malzemenin gerilim-gerinim eğrisini vermektedir. Bu eğri bizim bir malzemenin gerilim altında ve sonrasındaki davranışlarını (elastik davranış) ölçmemizi sağlar.



- $L_0$  Gösterge uzunluğu  
 $L$  Sıkma uzunluğu  
 $l_1$  Dar paralel parçanın uzunluğu/iç çap  
 $l_2$  Geniş, paralel parçalar arasındaki mesafe  
 $l_3$  Toplam Uzunluk / Dış Çap  
 $b_2$  Papyon numune genişliği  
 $b_1$  Ölçü uzunluğu aralığında numune genişliği  
 $h$  Numune kalınlığı

**Şekil 11** ASTM D412 ye göre çekme test numuneleri

TİP	L3 mm	L1 mm	B2 mm	B1 mm	H mm	L0 mm	Form
C	>115	33	25 <sup>+1</sup> <sub>-1</sub>	6+0.05	1,3...3,3	25 <sup>+0.25</sup> <sub>-0.25</sub>	Papyon numune
A	>140	59 <sup>+2</sup> <sub>-2</sub>	25 <sup>+1</sup> <sub>-1</sub>	12+0.05	1,3...3,3	50 <sup>+0.5</sup> <sub>-0.5</sub>	Papyon numune
B	>40	59 <sup>+2</sup> <sub>-2</sub>	25 <sup>+1</sup> <sub>-1</sub>	6+0.05	1,3...3,3	50 <sup>+0.5</sup> <sub>-0.5</sub>	Papyon numune
D	>100	33 <sup>+2</sup> <sub>-2</sub>	16 <sup>+1</sup> <sub>-1</sub>	3+0.05	1,3...3,3	25 <sup>+0.25</sup> <sub>-0.25</sub>	Papyon numune
E	>125	59 <sup>+2</sup> <sub>-2</sub>	16 <sup>+1</sup> <sub>-1</sub>	3+0.05	1,3...3,3	50 <sup>+0.5</sup> <sub>-0.5</sub>	Papyon numune
F	>125	59 <sup>+2</sup> <sub>-2</sub>	16 <sup>+1</sup> <sub>-1</sub>	6+0.05	1,3...3,3	50 <sup>+0.5</sup> <sub>-0.5</sub>	Papyon numune
1	17,9	15,9			1...3,3	50	Halka numune
2	35,8	31,8			1...3,3	100	Halka numune

**Tablo5.** ASTM şartnamesine uygun çekme analiz numune türleri ve boyutları



Şekil 12.Çekme-Kopma Analiz cihazı

### YOĞUNLUK TESTİ

- I. Yaptığınız testin doğruluğu için en az 3 deney parçası alınır.
- II. Alınan deney parçası terazinin kancasına, tartım yerinden yaklaşık 25mm yukarıda olacak şekilde, uygun uzunluktaki bir aparat yardımı ile asılır.
- III. Aparatın malzeme cinsi, salınım yapmayan, suda çözünmeyen ve önemli miktarda su absorplamayan bir malzemeden olmalıdır.
- IV. Aparatın darası alınmalıdır veya tartılıp not edilir ve yapılan toplam tartımdan çıkarılmalıdır.
- V. Deney numunesi havada tartılır bu tarma işlemi terazide belirlenen sayı durana kadar bekletilir.
- VI. Tartma işlemi laboratuvar şartlarında belirlediğiniz bir beher içerisinde damıtılmış su ile 3 defa tekrarlanarak yapılır.
- VII. Deney parçasının yüzeyinde tutulmuş hava kabarcıkları giderildiği emin olunduktan sonra miligram yaklaşım ile tartılır.
- VIII. Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi aşağıda verilen eşitlik sayesinde yapılır:

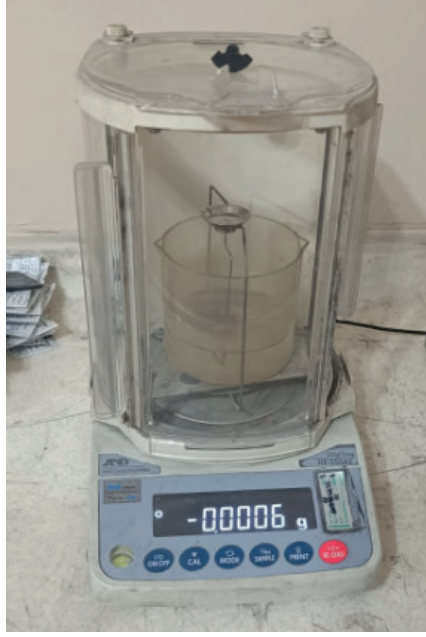
$$\rho = \frac{m1}{m1 - m2}$$

$\rho$ : Yoğunluk,  $\text{mg}/\text{m}^3$

$m_1$ : Kauçuğun net kütlesi,  $\text{mg}$

$m_2$ : Laboratuvar şartlarında damıtılmış su içerisinde yapılan tartım sonucunun, hacmi kadar yükselen damıtılmış suyun kütlesinden çıkarılmasıyla bulunan değerdir,  $\text{mg}$

Atıf yapılan standartlar TS 2827 ISO 2871



Şekil 13. Yoğunluk kiti

### Baskı Altında Kalıcı Deformasyon Testi

(I) Deney parçaları olarak kullanılan diskler kalıplanarak hazırlanmaktadır.

(II) Kalıcı deformasyon cihazına konulacak deney parçaları aşağıdaki özelliklerde olmalıdır.

**Kalınlık:**  $12,5 \pm 0,5$

**Çap:**  $29 \pm 0,5$

**Tip:** A

(III) En az 3 deney parçası kumpasla ölçülerek deneye tabi tutulur.

(IV) Bu ölçümler alınırken hassasiyetin 0.01 doğrulukla ölçülmesine dikkat edilmelidir.

(V) Tip A şeklinde kullanılan deney parçasındaki mesafe ayarlayıcıları ölçüsü:

Mesafe Ayarlayıcıların Yükseklikleri	Deney Parçası Tipi
9,4 mm max. 9,3 mm min.	A

(VI) Deney parçaları mesafe ayarlayıcıları ile birlikte baskı plakaları arasına yerleştirilir.

(VII) Bu arada deney parçalarının mesafe ayarlayıcılarına ve civatalara temas etmemesi sağlanır.

(VIII) Sıkıştırma tertibatı, mesafe ayarlayıcıları baskı plakalarına temas edinceye kadar muntazama bir şekilde sıkıştırılır.

(IX) Uygulana sıkıştırma deney parçasını orijinal kalınlığının %25 i olmalıdır.

(X) Sıkıştırılmış deney parçaları daha önceden 100°C ye ayarlanmış etüvün içine yerleştirilir.

(XI) 70 saat sonunda sıkıştırma cihazı etüvden alınır, civatalar hemen gevşetilir ve deney parçaları ahşap masa üzerine konulur.

(XII) Standart sıcaklıkta 30±3 dakika kendi hallerine bırakılır ve daha sonra kalınlıkları ölçülür.

(XIII) Sonuçların hesaplanması.

$$C = \frac{(h_0 - h_1) \cdot 100}{h_0 - h_s}$$

3

**ho-hs**

ho: deney parçasının ilk kalınlığı, mm

h1: deney parçasının kendi haline bırakıldıktan sonraki kalınlığı, mm

hs: mesafe ayarlayıcıların yüksekliği, mm



Şekil 14. Baskı Altında Kalıcı Deformasyon Testi

### Sıvılara Karşı Dayanım Deneyi

(I) Aşağıda verilen ölçülere göre 3 deney parçası alınır. Her bir deney parçası havada 1 miligram doğrulukla tartılır. ( $m_1$ ). Bundan sonra her bir deney parçası standart laboratuvar sıcaklığındaki saf suya daldırılır. Bu sırada deney parçasının yüzeyinde ve su içinde meydana gelen hava kabarcıkları uzaklaştırılır ve tekrar tartım alınır.

Üzerinde deney yapılan maddenin yoğunluğu  $1\text{gcm}^{-3}$  den küçükse deney parçasını tamimiyle suya daldırmak için batırıcı kullanılır ve batırıcının saf sudaki kütlesi ayrıca alınır.

**Çap (mm):  $29 \pm 0,5$**

**Kalınlık (mm) :  $2 \pm 0,2$**

(II) Bir kap içinde uygun şekilde birbirinden ayrılmış deney parçaları, hacmi deney parçalarının 15 katı olan deney sıvısına bütün yüzeyleri sıvı içinde kalacak şekilde daldırılır. Deney kabının ağzı kapatılır. Deney sıvısı deney sıcaklığında tutulmalı ve deney parçaları gün ışığından korunmalıdır.

(III) Daldırma süresini sonunda gerekiyorsa deney parçaları kendi hallerine bırakılarak 10 dakikadan erken, 30 dakikadan geç olmamak koşulu ile sıvıdan çıkarılır ve üzerinde kalan deney sıvısı parçaların yüzeyinden uzaklaştırılır.

(IV) Her bir deney parçası hemen tartılarak havadaki kütlesi miligram doğrulukla tayin edilir. ( $m_2$ ). Bundan sonra standart laboratuvar sıcaklığındaki saf suda aynı doğruluk derecesinde tartılarak kütlesi tayin edilir.

(V) Deney parçasının sıvıya batırılmasını sağlayan metal parçalarının kütlesi ( $m_3$ )



### Sonuçların gösterilmesi

Yüzde hacim değişmesi  $\Delta V_{100}$  ve/veya yüzde kütle değişmesi  $\Delta m_{100}$  aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanır.

$$\Delta V_{100} = \frac{(m_3 - m_4 + m_5) - (m_1 - m_2 + m_3)}{(m_1 - m_2 + m_3)} \quad 4$$

$$\Delta m_{100} = \frac{m_3 - m_1}{m_1} * 100 \quad 5$$

$m_1$

$m_1$ : deney parçasının havadaki ilk kütlesi, g

$m_2$ : deney parçasının sudaki ilk görünür kütlesi (kullanılmışsa ilave olarak batırıcının kütlesi), g

$m_3$ : deney parçasının daldırmadan sonraki havadaki kütlesi, g

$m_4$ : deney parçasının daldırmadan sonraki sudaki görünür kütlesi (kullanılmışsa ilave olarak batırıcının kütlesi), g

$m_5$ : deney parçasının sıvıya dalmasını sağlayan, daldırıcının sudaki görünür kütlesi, g

Üç deney parçasından elde edilen değerlerin ortalaması deney sonucu olarak alınır.

$$\Delta V_{100} = \frac{(m_3 - m_1) * 100}{\rho (m_1 - m_2 + m_3)} \quad 6$$

$\rho$ : daldırma sıvısının yoğunluğu,  $\text{gcm}^{-3}$

**NOT:** Deney parçasının yüzeyinde kalan sıvıyı alma işlemi her sıvı için aynı derecede etkin olamayabilir. Toluen, izo-oktan gibi uçucu olan sıvılar kullanıldığında, deney sıvısından çıkarılan deney parçaları hemen süzgeç kâğıdıyla veya lif bırakmayan bir bez parçasıyla silinerek kurutulur.

DENEY SIVISI	ÖZELLİKLERİ	YAPILIŞI
Yağ	Astm No:3	150°C 70h
Yağ	Astm No:1	150°C 70h

**Tablo 6.** Deney sıvıları ve kullanımı

## SERTLİK ÖLÇÜMÜ

Kauçuk polimerlerin sertlik standardı ISO48-4 e göre tanımlanır. Shore sertik testi vulkanize edilmiş kauçuğa 90° açı ile metal ucun batırılmasıyla gerçekleştirilir. Üçüncü saniyedeki değer shore A cinsinden kaydedilir. Testin güvenilirliği açısından üç kere tekrar sonucu ortalama değer alınarak yapılması gerekmektedir. 6 çeşit shore uygulama öreği vardır. Bunlar ( Shore A, Shore D, Shore0, Shore 00, Shore B, ve Shore C'dir<sup>21</sup>.)



Şekil 15. Gibitre Marka Sertlik Ölçüm Cihazı

## AEM HAMUR VE NİHAİ ÜRÜNÜN ANALİZ SONUÇLARI

Üretilen aem hamuruna ve contasına sırasıyla bütün analizler yapılmıştır. Çıkan sonuçlar şekil 16'daki kalite raporunda ayrıntılı verilmiş olup işletme standartlarına uygundur.

RUBBER TYPE		: AEM			
COMPOUND TYPE		: AEM01			
STANDART NO		: -			
PRODUCT QUALITY REPORT NO		: AEM0101524			
REPORT NO		: 020824/001			
TESTS	TEST METHOD	UNIT	STANDART VALUES	TEST RESULTS	
HARDNESS	ASTM D 2240	Shore A	70±5	70	
TENSILE STRENGTH	ASTM D 412 Die C	N/mm <sup>2</sup>	>12	14,22	
ELONGATION AT BREAK	ASTM D 412 Die C	% min	300	333,36	
TEAR RESISTANCE	ASTM D 624 Die C	kN/m	20	123,87	
COMPRESSION SET (150°C 70 H)	ASTM D 395 METHOD – B	% max	50	48,42	
COMPRESSION SET (175°C 22 H)	ASTM D 395 METHOD – B	% max	50	41,52	
HEAT AGEING (175°C 168 H) ASTM D 573	CHANGE IN HARDNESS	ASTM D 2240	Δ	+10	+6
	CHANGE IN TENSILE STRENGTH	ASTM D 412 Die C	% max	-30	4,36
	CHANGE IN ELONGATION AT BREAK	ASTM D 412 Die C	% max	-50	-29,45
RESISTANCE IN IRM 901 OIL (150°C 70 H)	CHANGE IN HARDNESS	ASTM D 2240	Δ	-10/+5	-2
	CHANGE IN TENSILE STRENGTH	ASTM D 412 Die C	% max	-25	+8,22
	CHANGE IN ELONGATION AT BREAK	ASTM D 412 Die C	% max	-35	-11,58
	CHANGE IN VOLUME	ASTM D 471	%	±15	4,36
RESISTANCE IN IRM 903 OIL (150°C 70 H)	CHANGE IN TENSILE STRENGTH	ASTM D 412 Die C	% max	-60	-7
	CHANGE IN ELONGATION AT BREAK	ASTM D 412 Die C	% max	-55	-15,44
	CHANGE IN VOLUME	ASTM D 471	% max	+70	+35,36

QUALITY CODE: AEM01 015 24 → (1) AEM01 Shows that the composition for components  
↓ ↓ ↓ (2) 015 Shows the test number  
(1) (2) (3) (3) 24 Shows that it is for 2024

Şekil 16. AEM Kalite Raporu

## KAYNAKLAR

[https://erlaskaucuk.com/kaucuk\\_nedir.html](https://erlaskaucuk.com/kaucuk_nedir.html)

Vahapoğlu, V. (2006b). Kauçuk Türü Malzemelerin İnelastik Özelliklerinin Deney- sel Olarak İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

ASTM-D 1418 (1993). Standard practice for rubber and rubber lattices-nomenclature. In Annual Book of ASTM Standards, Volume: 09.01, Philadelphia: ASTM International.

ASTM-D 1566 (1993). Terminology relating to rubber. In Annual Book of ASTM Standards, Volume: 09.01, Philadelphia: ASTM International.

ASTM-D 2000 (1993). Standard classification system for rubber products in automo- tive applications. In Annual Book of ASTM Standards, Volume: 09.01, Phila- delphia: ASTM International.

ASTM D 5964 (1993). Standard practice for rubber IRM 902 and IRM 903 replace- ment oils for ASTM No. 2 and ASTM No. 3 oils. In Annual Book of ASTM Standards, Volume: 09.01, Philadelphia: ASTM International.

Elastomers and rubbers. Machine Design, 61, 294-327.

<https://www.oguzkakaucuk.com.tr/kau%C3%A7uk-t%C3%BCrleri>

[https://tr.wikipedia.org/wiki/Sentetik\\_kau%C3%A7uk](https://tr.wikipedia.org/wiki/Sentetik_kau%C3%A7uk)

BABAPOUR A. PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF NATURAL RUB- BER/BUTADIENE RUBBER BASED WINDSHIELD WIPER BLADE MATE- RIALS, Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim, Yüksek Lisans Tezi, 2013.

İran Rubber Industries Engineering and Research., Synthetic Elastomers, Samar pub- lisher 1996.

Savran, Ö.H., Elastomer Teknolojisi , Kauçuk Derneği Yayınları, İstanbul, 2001.

KARABÖRK F. ATIK ARAÇ TEKERLEK LASTİKLERİNDE MİKRODALGA DE- VULKANİZASYON PARAMETRELERİNİN LASTİĞİN MEKANİK ÖZEL- LİKLERİNE ETKİLERİ, T.C. SELÇUK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, Doktora Tezi , Nisan-2012 , KONYA

Savran H., 2001, Elastomer Teknolojisi-I, Acar Matbaacılık, İstanbul, 136 s

Anonim, 2001, Kauçuk Derneği Yayın Organı Sayı 13, İstanbul - Anonim, 2001, Kau- çuk Derneği Yayın Organı Sayı 10, İstanbul

SOYUBOL B. ELASTOMERLERİN STATİK VE DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN İN- CELENMESİ, T.C ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ , YÜKSEK LİSANS TEZİ, BURSA 2006

<http://www.timcorubber.com/definitions/index.asp>

<https://tr.rubberplasticproducts.com/info/properties-of-acm-rubber-and-aem-rub->

ber-38256639.html

<https://kimhex.com.tr/1-4-etil-akrilat-kaucuk-aem/>

<https://vatanlar.wordpress.com/2011/12/29/reometre-rheometer-nedir/>

<https://www.zwickroell.com/tr/sektoerler/plastik/termoplastik-ve-kuerlenebilir-kaliplama-bilesikleri/sertlik-testleri/shore-sertlik-test-cihazl/#:~:text=Kau%C3%A7uk%20ve%20elastomerlerin%20Shore%20sertli%C4%9Fi,%C3%A7elik%20bir%20girinti%20ile%20%C3%B6l%C3%A7%C3%BCl%C3%BCr.>



# BÖLÜM 1

## İMLANT RESTORASYONLARINDA ZİRKONYANIN ESTETİK VE MEKANİK AVANTAJLARI

*Nilay KUCUKDOGAN<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, HFT Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-4375-0752>, nilay.ozturk@cbu.edu.tr

## 1. Giriş

Zirkonya, hem bulk (katı blok) formunda hem de kaplama malzemesi olarak dental implantlarda yaygın şekilde kullanılan bir malzemedir. Bulk formunda, zirkonyanın yüksek mekanik dayanımı, biyoyumluluğu ve doğal diş estetiğine benzeyen rengi sayesinde implant gövdesi olarak tercih edilir. Kaplama formunda ise zirkonyum, metal altyapılar üzerine uygulanarak üstün estetik özellikler sağlar ve biyolojik uyumuyla diş eti sağlığını destekler. Ayrıca, zirkonyumun düşük plak tutuculuğu, korozyona karşı dirençli yapısı ve uzun ömürlü olması, onu dental restorasyonlar için ideal bir malzeme haline getirmektedir. Bu üstün özellikleri sayesinde zirkonyum hem estetik hem de fonksiyonel gereksinimleri karşılayan modern implant uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır (Duraccio, Mussano, & Faga, 2015; Molaei, Attarzadeh, & Fattah-Alhosseini, 2021).

Zirkonya kristalleri genellikle üç farklı faz içerir: monoklinik (M), kübik (C) ve tetragonal (T) ve kristalin bu fazlar arasındaki geçişi, uygulanan kuvvetle oluşan hacimsel değişiklikleri tetikler. Gerilim kaynaklı oluşan çatlama enerjisi T–M faz geçişine yol açar ve bu geçiş, çatlağın mühürlenmesini sağlayan genişlemeyle genişletilebilir. Zirkonya kristalleri metalik oksitlerle ( $Y_2O_3$ , MgO, CaO) birlikte kullanımıyla kararlılık hali elde edilebilir.  $Y_2O_3$  ile stabilize edilen Zirkonya, üstün mekanik özelliklere sahip olmasına rağmen sinterleme süreci oldukça zordur. Bu özellikleri, zirkonyayı tedavi amaçlı kullanım için tercih edilen bir malzeme haline getirmektedir (Manicone, Iommetti, & Raffaelli, 2007).

Zirkonya tedavi alanında kullanımı 1970’li yıllara dayanmaktadır. Öncelikle ortopedi alanında araştırmalar ortaya konmuştur ve biyoyumlu olduğu belirtilmiştir (Helmer & Driskell, 1969). Aynı zamanda seramik çelik olarak adlandırılan bu malzeme 1990’lı yıllarda yapılan çalışmalarda ise iyi mekanik performansı ve aşınma direncine odaklanılmıştır. Ayrıca, Zirkonya’nın sitotoksik olmadığı ve biyolojik olarak güvenli olduğu ortaya konmuştur (Kosmač, Oblak, Jevnikar, Funduk, & Marion, 1999; Luthardt et al., 2002).

Zirkonya, tedavi alanında 1970’li yıllardan itibaren kullanılmaktadır. İlk olarak ortopedi alanında yapılan araştırmalar, zirkonyanın biyoyumlu olduğunu ortaya koymuştur (Helmer & Driskell, 1969). 1990’lı yıllarda ise zirkonya malzemesinin mekanik performansı ve aşınma direnci üzerine yoğunlaşmıştır. Ayrıca, zirkonya’nın sitotoksik olmadığı ve biyolojik olarak güvenli olduğu belirtilmiştir. Zirkonya bazlı implantlar, estetik, biyoyumluluk ve biyomekanik özellikleriyle diş implantlarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Yüksek sıcaklık direnci, doğal beyaz rengi ve düşük ısıl iletkenliği gibi özellikleri, bu malzemenin estetik ve işlevsel açıdan ön plana çıkmasını sağlar. Zirkonya implantlarının biyolojik uyumluluğu, bağışıklık sistemi tarafından yabancı bir cisim olarak tanınmamalarını sağlayarak, vücutta kirlilik oluşumunu engeller.



Ayrıca, zirkonya implantların yüzeyinde oluşan film tabakaları, vücutla etkileşim kurmalarını engelleyerek, implantın çevresindeki dokularla uyumlu bir şekilde entegre olmasını sağlar (Kosmač et al., 1999).

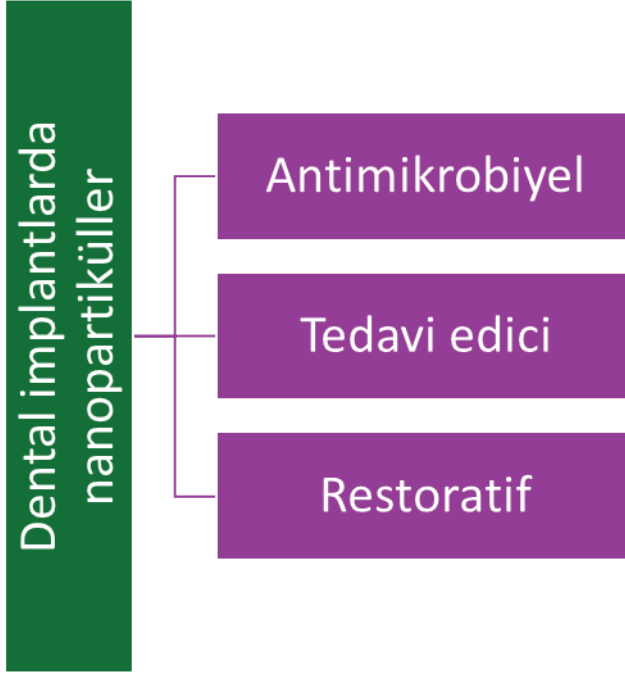
Zirkonya implantlarının başarısı, sadece biyouyumluluklarıyla değil, aynı zamanda çevresel dokularla hızlı entegrasyon sağlamaları ve uzun süreli stabilite sunmalarıyla da elde edilmektedir. Sağlık durumu zayıf olan bireylerde, implantların çevresel dokularla güçlü bir bağ kurması, tedavi sürecinde önemli bir avantaj sağlar. Zirkonya implantlarının artırılmış biyoaktiviteye sahip olmaları, kemik iyileşmesini teşvik eder ve implantın uzun vadeli işlevini destekler. Bu özellikler, zirkonya implantlarını hem estetik hem de işlevsellik açısından güvenilir ve uzun ömürlü bir seçenek haline getirir (Duraccio et al., 2015). 1990'lı yıllardan itibaren yapılan in vitro çalışmalar, zirkonyanın sitotoksik olmadığını ve biyolojik güvenliğini doğrulamıştır. Zirkonya tozlarıyla ilgili bazı belirsiz sonuçlar olsa da, bu durum genellikle sinterleme işlemi sonrasında artık bulunmayan zirkonyum hidroksitten kaynaklanmaktadır. Zirkonya bazlı implantlar, son yıllarda diş implantları alanında önemli bir popülerlik kazanmış ve estetik, biyouyumluluk, biyomekanik özellikler açısından büyük avantajlar sunmuştur. Yüksek korozyon direnci ve biyouyumluluk gibi üstün özelliklerinin yanı sıra, doğal beyaz rengi ve estetik açıdan diş rengine yakın olması, zirkonya implantlarının tercih edilmesinde etkili olmuştur. Ayrıca, zirkonya implantları düşük termal iletkenlik ve yüksek mekanik dayanıklılık gibi avantajlar sunarak, uzun ömürlü ve güvenilir çözümler sağlamaktadır. Diğer implant materyalleriyle karşılaştırıldığında, zirkonya seramikleri biyolojik uyumluluğu sayesinde bağışıklık sistemi tarafından yabancı cisim olarak tanınmaz, bu da iltihaplanma ve reddedilme riskini minimize eder. Zirkonya implantlarının biyolojik güvenliği, yüzeylerinde doğal olarak oluşan zirkonya film tabakası sayesinde sağlanır; bu tabaka, vücutla etkileşime girmediği için bağışıklık sistemini uyarmaz. Bu özellikler, zirkonya implantlarının diş tedavisinde güvenli ve etkili bir seçenek olmasını sağlar (Luthardt et al., 2002; Manicone et al., 2007). Diğer taraftan, titanyum (Ti) bazlı implantlar, mükemmel biyouyumlulukları sayesinde klinik olarak yaygın olarak tercih edilmekle birlikte, bazı sınırlamalar ve dezavantajlar söz konusu olmuştur. Ti implantlarının gri rengi, estetik açıdan hoş olmayan sonuçlara yol açabilir ve özellikle diş estetiği açısından yüksek hassasiyet gerektiren durumlarda istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Ayrıca, bazı bireylerde Ti'ye karşı gelişebilecek aşırı duyarlılık, implantın vücutta istenmeyen reaksiyonlara yol açmasına neden olabilir. Ti partiküllerinin vücutta birikerek lenf düğümleri ve organlara yerleşmesi, uzun vadede sağlık problemlerine yol açabilecek bir başka endişe kaynağıdır. Ti implantlarının florür veya metal alaşımlarının bulunduğu tükürükle etkileşimi sonucu korozyon meydana gelmesi, implantın ömrünü kısaltabilir ve biyolojik uyumsuzluk yaratabilir. Ayrıca, asidik ortamlarda bakteri biyofilmleri tarafından tetiklenen oksidasyon, implantın yüzeyinde zararlı değişikliklere

yol açarak biyomekanik özelliklerinin bozulmasına neden olabilir. Bu sınırlamalar, Ti implantlarının kullanımını kısıtlayan faktörler arasında yer almakta olup, zirkonya bazlı implantların bu tür dezavantajları minimize etme potansiyeli nedeniyle alternatif malzeme arayışını daha da artırmaktadır. Zirkonya seramikleri, mekanik dayanıklılık, estetik, biyouyumluluk ve biyolojik güvenlik gibi pek çok avantajı bir arada sunarak, diş implantları alanında giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu özelliklerin birleşimi, zirkonya implantlarını diş hekimliği pratiğinde kalıcı ve güvenilir çözümler sunan bir seçenek haline getirmektedir (Hoque et al., 2022).

## 2. Diş İmplantlarında Nanoparçacıkların Önemi

Son yıllarda, diş implantları klinik olarak nanoparçacıklar kullanılarak büyük bir takdir görmüştür. Nanoparçacıklar, küçük bir alanda, orantılı olarak daha büyük bir hacim sunma kapasitesine sahip oldukları için önemli bir avantaj sağlamaktadırlar. Yüzey alanı/hacim oranı bakımından bu özellik oldukça önemlidir. Nanosomik malzemeler, mikroskobik ve moleküler düzeydeki ara malzemeler olarak tanımlanabilir. Yüzey alanı ile hacim arasındaki oranı azaltmada önemli avantajlar sunar. Örneğin, bir sferin yüzey alanı  $r^2$  faktörüyle artarsa, hacim faktörü  $r^3$  ile artar. Bu durumda, yüzey alanı/hacim oranı sürekli olarak azalır. Dolayısıyla, nanomalzemeler, hacmi orantılı olarak koruyarak önemli bir diş yüzey alanı üretirler (Schmalz, Hickel, van Landuyt, & Reichl, 2017).

Nanoparçacıklar, antibakteriyel etkiler açısından en yüksek potansiyelle sahip malzemelerdir. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklara dayanıklıdırlar ve yüzeylerinde sert kaplama sağlama yeteneğine sahiptirler. Bazı partiküller, örneğin kalsiyum fosfat, diş minesine ve dentine benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmaları nedeniyle oldukça önemlidir. Bu nedenle, oral hastalıklar, diş protezleri ve implantlar gibi çeşitli diş sağlığı uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Diş implantı çevresindeki dokularda kullanılan nanoparçacıklar, osteoklastların aktivitesini tetikleyerek önemli biyolojik etkiler oluştururlar. Bu süreç, diş dokularının, özellikle de diş etlerinin, travma sonrası güçlenmesini ve iyileşmesini destekler. Nanoparçacıklar, dişlerin hareket gücünü yeniden kazandırarak diş tedavilerinde etkin bir rol oynar. Bu özellikleri, nanoparçacıkların diş hekimliğinde çeşitli tedavi ve iyileşme süreçlerini iyileştirmek için potansiyel bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Şekil 1, dental implantlarda nanoparçacıklarının özelliklerini göstermektedir (Hossain, Islam, Chowdhury, & Alam, 2022).



Şekil 1. Dental implantlarda nanoparçacıkların özellikleri (Hossain et al., 2022)

Nanopartiküller, titanyum, gümüş, bakır, demir, çinko tabanlı olmak üzere dental implantlarda kullanılmaktadır. Bir malzemenin, canlı doku ile uyumlu bir şekilde entegrasyon sağlama kapasitesi, biyoyumluluk olarak tanımlanır ve bu özellik, her türlü diş implantı malzemesinin temel özelliklerinden biridir. Titanyum bazlı nanoparçacıklar, mükemmel biyoyumluluk özellikleri sayesinde doku reddi ya da alerjik reaksiyon olasılığını minimize eder. Titanyum, korozyona karşı yüksek direnç ve deformasyona karşı koruma özelliklerine sahiptir. Üstün mekanik dayanıklılığı ve olağanüstü osseo entegrasyon özellikleri nedeniyle titanyum diş implantları, mükemmel performans sergilemektedir. Araştırmalar, titanyum bazlı nanoparçacıkların çevre dokudaki iltihaplanmayı azalttığını, implant başarısızlığı riskini düşürdüğünü ve iyileşme sürecini hızlandırdığını göstermektedir. Titanyum implantlar, genellikle implant başarısızlıklarını önlemek amacıyla yüzey modifikasyonlarına tabi tutulmaktadır. Gümüş nanoparçacıkları ise diş hekimliğinde antibakteriyel, antifungal ve antiviral özellikleri gibi benzersiz özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Diş implantları, bakteriyel enfeksiyonlara karşı hassas olup bu durum implant başarısızlıklarına yol açabilir. Gümüş nanoparçacıklarının implant yüzeylerinde bakteriyel gelişimi sınırlayarak bu tür durumların olasılığını azalttığı bildirilmiştir. Bu nanoparçacıklar, dişin dokusuna benzer bir doku sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bakteriyel büyümeye karşı direnç gösterir. Ayrıca, fibroblastlara karşı savaşarak çürük inhibe edici özelliklere sahiptir ve günlük olarak çok düşük miktarlarda iyon salınımı yapar. Gümüş

nanoparçacıkları, aynı zamanda implantın çevreleyen kemik dokusu ile entegrasyonunu destekleyerek kemik hücresi gelişimini ve farklılaşmasını teşvik eder, bu da implant etrafındaki kemik iyileşme sürecini daha hızlı ve etkili hale getirir. Diş implantları, gümüş nanoparçacıkları ile kaplanarak biyoyumluluğunu, korozyona ve aşınmaya karşı direncini artırır ve böylece implantın uzun vadeli performansını iyileştirmektedir (Bokobza, 2024; Noronha et al., 2017).

Bakır bazlı nanoparçacıkların diş implantlarındaki en önemli avantajlarından biri, bakteriyel enfeksiyonları engelleme potansiyelidir. Diş implantları, bakteriyel enfeksiyonlara karşı duyarlı oldukları için peri-implantit gibi problemlere ve implant başarısızlıklarına yol açabilir. Ancak yapılan çalışmalar, bakır bazlı nanoparçacıkların implant yüzeylerinde bakteriyel büyümeyi etkin bir şekilde baskıladığını ve biyofilm gelişimini engellediğini göstermektedir. Bu özellik, enfeksiyon risklerini azaltmaya yardımcı olabilir. Ayrıca, bakır nanoparçacıklarının toksisite seviyesi düşüktür, bu da ağız sağlığı açısından herhangi bir endişe yaratmaz. Diş implantları için gereken bakır nanoparçacık miktarı da oldukça düşüktür ve bu durum herhangi bir problem oluşturmaz. Bakır, aynı zamanda tıbbi alanda daha önce kullanılan anti-inflamatuar özelliklere sahip bir elementtir. Bu özellik, iltihaplanmayı, özellikle kızarıklık, şişlik ve ağrıyı azaltmada etkili olmaktadır. Yapılan araştırmalar, bakır bazlı nanoparçacıkların kemik gelişimini teşvik etme ve diş implantlarının osseointegrasyonunu iyileştirme potansiyelini de ortaya koymuştur. Bakır iyonlarının kemik hücresi farklılaşmasını teşvik ettiği ve kollajen üretimini artırarak kemik iyileşmesini hızlandırdığı gösterilmiştir. Bu, implantın çevresindeki kemik dokusunun daha hızlı ve etkin bir şekilde iyileşmesine olanak tanır (Xu et al., 2022).

Diş implantolojisi, son yıllarda çinko malzemelerine olan ilgisini artırmıştır. Çinko oksit (ZnO), boyut ve şekil bakımından geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Bu nedenle farklı amaçlar için kullanılabilmesi oldukça kolaydır ve ZnO nanoparçacıklarında istenilen boyutlar kolaylıkla elde edilebilir. ZnO, hem gram-pozitif hem de gram-negatif bakterilere karşı antibakteriyel aktivite gösterir. Ayrıca, ağız yüzeylerinde ve tekstil ürünlerinde de iyi bir etkinlik sergiler. Çinkonun antibakteriyel özellikleri, implant cerrahisi sonrası enfeksiyonların önlenmesine ve iyileşme sürecine yardımcı olmaktadır. Çinko, diş implantlarının uzun ömürlü olabilmesi için gerekli olan kemik oluşumunu da teşvik eder. Çinko bazlı nanoparçacıklarla kaplanmış diş implantları, çekme dayanımını artırabilir ve aşınmaya karşı direnç sağlar. Ayrıca, çinko bazlı nanoparçacıklar, biyoyumluluğu ve düşük toksisite seviyeleri sayesinde insan vücudu içinde güvenle kullanılabilir. Çinko nanoparçacıkları, üretimi kolay ve maliyet açısından uygun olduğu için büyük miktarlarda üretilebilir. Bu özellikleri, çinko bazlı nanoparçacıkların diş hekimliği uygulamalarında ve diğer tıbbi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Moradpoor et al., 2021).

Demir nanoparçacıkları, diğer nanoparçacık türlerine kıyasla daha az araştırılmış olsa da diş implantolojisinde de ilgi görmektedir. Kan dolaşımında oksijenin taşınması için hayati öneme sahip olan hemoglobinin oluşumu, demir gibi temel bir minerale büyük ölçüde bağlıdır. Demir, aynı zamanda dişlerin korunmasına yardımcı olabilecek korozyona karşı direnç gösteren özelliklere sahiptir. Ayrıca, yüzey sertliği ve aşınma direnci özellikleri, diş hekimliğinde önemli bir yer tutar. Demir bazlı nanoparçacıkların diş implantolojisinde kemik gelişimini teşvik etme kapasitesi de önemli bir avantajdır. Kemik oluşumundan sorumlu olan osteoblast hücrelerinin demir tarafından uyarıldığı gösterilmiştir. Bu durum, diş implantlarının çevre kemik dokusu ile entegrasyonunu artırarak uzun vadeli başarılarını kolaylaştırabilir. Demir bazlı nanoparçacıkların manyetik özellikleri, yeni nesil diş implant malzemelerinin geliştirilmesinde avantaj sağlayabilir. Manyetik diş implantlarına hedeflenmiş kuvvetler uygulanarak, kemik oluşumunu teşvik etmek ve implant cerrahisi sonrası iyileşme sürecini hızlandırmak mümkün olabilir. Demir bazlı nanoparçacıklar, biyouyumlulukları ve düşük toksisite seviyeleri sayesinde insan vücudu içinde kullanılmak için uygundur, tıpkı diğer nanoparçacık türleri gibi. Ancak, demir bazlı nanoparçacıkların diş implantolojisinde kullanımıyla ilgili potansiyel faydaların ve risklerin tam olarak anlaşılması ve bu kullanımın optimize edilmesi için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Bokobza, 2024; Nelogi, Chowdhary, & Roy, 2024).

### 3. Zirkonyanın implant uygulamaları

Zirkonyanın implant uygulamalarına yönelik araştırmalar son yıllarda artarak devam etmektedir. Zhao ve ark (Zhao, Li, Dong, Zeng, & Chen, 2021) yaptıkları çalışmada, 3D baskı ile üretilen implantların dayanaklarının mikro yapıları, mekanik bozulmalar ve aşınma teknikleriyle analiz edilmiştir. Sonuç olarak, bu yapıların yüksek mekanik dayanıklılığı sergilendiği ve dental implant uygulamaları için uygun olduğu gösterilmiştir. Ayrıca yorulma performans simülasyonları, implant dayanaklarının uzun vadeli kullanımlarda kullanılabilirliğini ortaya koyulmuştur. Bu çalışma, 3D baskı teknolojisinin biyomedikal alanda nihai çözümler sunabileceğini ve zirkonya implantlarının dayanaklarının güçlü bir şekilde etkili bir yöntem olabileceğini kanıtlamaktadır. Zhang ve ark (Zhang, Liu, Yao, Zeng, & Chen, 2022) gerçekleştikleri çalışmada zirkonya ve alumina karışımının optimal oranlarının belirlenmesi, baskı sonrası mikro yapı analizi ve malzeme mekanik performansı değerlendirilmiştir. Malzemenin yüksek mekanik dayanıklılığı, kırılma tokluğu ve biyouyumluluk sergilediği, ayrıca yüzey pürüzlülüğünün implantların biyolojik entegrasyonunu iyileştirdiğini ifade etmişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak zirkonya ve alumina karışımının 3D baskı teknolojisiyle diş implantı üretiminin kullanılmasının yanı sıra, hem mekanik hem de estetik açıdan başarılı sonuçlar ortaya çıkardığını belirtmişlerdir. Kozakiewicz ve ark (Kozakiewicz, Gmyrek, Zajdel, & Konieczny, 2021) yaptıkları araştırmada, zirkonyum dioksit malze-

mesinin yüksek biyouyumluluk, mekanik dayanıklılık ve düşük ısı iletkenlik gibi üstün özellikleri sayesinde kraniyofasiyal cerrahi alanında önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. İmplantların kişiye özel tasarımı, yüzde simetrisi ve estetik gerekliliklerin karşılanması sağlamış, aynı zamanda kemiğe göre optimize edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma ile zirkonya implantlarının, travmanın deformasyonları, sonuçta ortaya çıkan anomaliler veya tümör rezeksiyonları gibi çeşitlilik gösteren etkili bir rekonstrüktif çözüm sağladığı ve bu alanda klinik uygulamalar için umut vaat ettiğini göstermişlerdir. Diğer bir çalışmada Dos Santos ve ark (Dos Santos et al., 2021) çalışmasında implant malzemenin mekanik parçaları, çatlak direnci özellikleri ve kırılma durumu ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Stabilizatörlerin ve alümina plakaların miktarı, implantın mekanik sınırlarını ve yorulma direncini artırmış, aynı zamanda çatlak oluşumunu sınırlamıştır. Bu özellikler, dental implantların uzun süreli konuşma ve güvenilirliğini sağlamada kritik öneme sahiptir. Sonuç olarak  $Y_2O_3-CeO_2$  ile stabilize edilmiş ve alümina plakalarla güçlendirilmiş zirkonya kompozitlerinin, üstün mekanik özellikleri sayesinde dental uygulamalar için ideal bir malzeme olabileceğini göstermektedir. Wang ve ark yaptıkları araştırmada (Wang, Wang, Zhang, Xu, & Liang, 2021) zirkonya nanotüpleri kullanılarak geliştirilen yeni bir implantın biyouyumluluğu ve bakteriyel yapışma kapasitesi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarında zirkonyum oksit nanotüp yüzeylerinin, geleneksel yüzeylere kıyasla daha yüksek biyouyumluluk sağladığını ve bakterilerin bu yüzeylere daha az yapıştığını göstermiştir. Bu özellikler, implantların biyomedikal uygulamalarda daha etkili ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesini göstermektedir. Bu çalışma, biyouyumlu ve enfeksiyon riski daha düşük implant malzemelerinin geliştirilmesi yönünde önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Zirkonya seramiklerinin biyomekanik özellikleri ve biyolojik etkileşimlerindeki bu geliştirmeler, gelecekte implant yüzeylerinin daha verimli bir şekilde modifiye edilmesi ve yüksek biyoyaktif özellikler kazandırılması yönünde önemli ilerlemelerin yapılmasını sağlayacaktır. Nano mühendislik tekniklerinin kullanılmasıyla implant yüzeylerinin daha verimli bir şekilde modifiye edilmesi, diş implantlarının sadece estetik ve biyouyumluluğu değil, aynı zamanda terapötik özellikler kazanmasını da mümkün kılacaktır. Bu, hastaların iyileşme süreçlerini hızlandırarak daha sağlam ve uzun ömürlü çözümler sunacaktır (Al Mugeiren, 2019; Duraccio, 2015, Hoque, 2022; Moradpoor, 2021).

#### 4. İmplant yüzeylerine Zirkonya Kaplama uygulamaları

İmplant sert doku uygulamalarında uzun ömürlü ve salınım yapmama birincil standart olarak ifade edilmektedir. Bu bağlamda üretilen implantların yaklaşık %70-80'i metalik biyomalzemeler hazırlanmaktadır. Metalik malzemeler, yük taşıyan implantlar için vivo'da optimum uzun vadeli destek ve stabilite performanslarını elde etmek için tipik olarak gerekli olan mekanik mukavemet, elastik modül ve süneklik açısından mükemmel özellikler sergilerler

(Joy-anne et al., 2019). Tıbbi implantlar ve protezler için en yaygın metalik malzemeler arasında paslanmaz çelikler, kobalt -krom alaşımları, titanyum ve alaşımları ve magnezyum (Mg) alaşımları bulunur (Niinomi, 2002). Detaylı olarak değerlendirildiğinde inert metalik implantların başlıca sınırlamaları implantın etrafında lifli bir kolajen kapsülün gelişmesine yol açan ve arayüz yer değiştirmelerine ve vücuda metal katyonlarının salınmasına neden olan zayıf osteointegrasyonla ilişkilidir (Montazerian, Hosseinzadeh, Migneco, Fook, & Baino, 2022). Bu durum lokal veya sistemik toksik etkilere neden olmaktadır. Bunun yanı sıra parçalanabilir implantların ise kontrol edilebilir bir parçalanma oranına ve uzun süreli mekanik stabiliteye sahip olması beklenmektedir (Al Mugeiren & Baseer, 2019). Farklı tipteki metalik alaşımlar üzerine biriktirilen organik veya inorganik kaplamalar implant performansları üzerine pozitif etkiler yapmaktadır. Zirkonya, titanyum dioksit ve hidroksiapatit gibi kaplama malzemeleri günümüzde en yaygın kullanılan metalik ortopedik ve dental implant malzemelerinde osseointegrasyonunu ve korozyon direncini iyileştirmede etkili olmaktadır .

Peron ve ark (Peron, Bertolini, & Cogo, 2022) yaptıkları araştırmada ALD (Atomic Layer Deposition) yöntemiyle titanyum dioksit ve zirkonyum dioksit kaplanmış magnezyum alaşımlarının korozyon, gerilme korozyonu ve sitotoksite (hücre uyumluluğu) özellikleri incelemişler ve her iki kaplama malzemesinin de magnezyum alaşımlarının korozyon direncini önemli ölçüde artırdığını, ancak zirkonya kaplamanın titanyum dioksite kıyasla daha üstün bir performans sergilediğini göstermişlerdir. Ayrıca, her iki kaplamanın da hücrelerle uyumunun yüksek olduğu ve biyomedikal uygulamalarda kullanılması için uygunluk gösterdiğini ifade etmişlerdir.

## 5. Zirkonya Nanoparçacıklarının Diş İmplantlarındaki Önemi ve Potansiyeli

Zirkonya nanoparçacıkları, son yıllarda diş implant teknolojilerinde önemli bir ilgi görmeye başlamıştır. Titanyum implantların sahip olduğu yüksek başarı oranlarını koruyabilmesi için gereken gelişmiş tıbbi teknolojiler, günümüzde zirkonya implantlarıyla da elde edilebilmektedir. Zirkonya, diş implantları için son derece uygun bir malzeme olarak öne çıkmaktadır çünkü plakla düşük bir etkileşime sahiptir, diş renginde bir görünüme sahip olup biyoyumluluğu ve mekanik özellikleri oldukça iyidir. Bu özellikler, zirkonya implantlarının titanyum implantlar yerine giderek daha fazla tercih edilmesine neden olmaktadır.

Zirkonya, diş hekimliğinde, benzersiz özellikleri ve biyoyumluluğu nedeniyle giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Zirkonya nanoparçacıkları, mükemmel dayanıklılıkları, sertlikleri, biyoyumlulukları ve şeffaflıkları nedeniyle diş implantları için araştırılmaktadır. Zirkonya nanoparçacıklarının, fibroblastlar ve epitel hücreleri gibi birçok hücre türü tarafından artırılmış

yapışma ve çoğalma ile fayda sağladığı bildirilmiştir. Bu özellik, diş implantı ile çevreleyen kemik dokusu arasındaki yumuşak doku entegrasyonunu kolaylaştırabilir. Böylece, implantın çevresindeki dokularla daha sağlam bir bağlantı kurularak uzun süreli başarıları desteklenebilir.

Son yıllarda, titanyum gibi geleneksel malzemelere alternatif olarak zirkonya kullanımına olan ilgi artmıştır. Zirkonya, yüksek dayanıklılığı ve kırılma tokluğu sayesinde, uzun süreli yük taşıyan diş restorasyonları, özellikle diş implantları için uygun bir malzeme olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, zirkonya mükemmel biyouyumluluğa sahip olup korozyona karşı dirençlidir, bu da implantın başarısızlık riskini azaltmaktadır. Zirkonya nanoparçacıkları, kırılma tokluğu, yüksek gerilme dayanımı ve sertlik gibi üstün özellikleri nedeniyle çeşitli sentezlerde kullanılmaktadır. Doğada beş farklı izotopa sahip olan zirkonyanın en yaygın izotopu  $90\text{Zr}$ 'dir ve bu izotop, yaklaşık yüzde elli oranıyla en yaygın olanıdır (Montazerian et al., 2022).

Estetik açıdan, zirkonyanın şeffaflığı, doğal dişlerin görünümünü taklit etmesine olanak tanır ve bu özellik, diş restorasyonlarının görünümü konusunda hassasiyet gösteren hastalar için cazip bir seçenek haline getirir. Bu durum, özellikle ağızda görünür bölgelerde zirkonya bazlı diş implantlarına olan talebin artmasına neden olmuştur. Zirkonya, estetik açıdan sağladığı faydaların yanı sıra, sağlamlık, dayanıklılık ve biyouyumluluk gibi teknik özellikleriyle de diş implantları için umut verici bir seçenek sunmaktadır. Ancak, zirkonya bazlı diş implantlarının uzun vadeli performansı ve güvenliği konusunda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar, zirkonyanın mekanik özellikleri ve biyouyumluluğu konusunda olumlu sonuçlar elde etmiş olsa da uzun vadeli klinik performansının ve güvenliğinin tam olarak belirlenmesi için daha fazla inceleme yapılması önemlidir (Hossain et al., 2022).

Estetik restorasyonlar konusunda hastaların beklentilerini karşılayabilmek için, metal içermeyen çeşitli seramik türleri üretilmiştir. Zirkonya, biyouyumluluğu ve yüksek mekanik özellikleri nedeniyle diş biyomalzemesi olarak etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Seramiklerin ve özellikle zirkonya bazlı biyomalzemelerin güvenilirliği, biyomedikal ve diş hekimliği uygulamalarında giderek daha fazla araştırılmaktadır. Zirkonya ve alüminyumdan yapılan ZTA veya ATZ seramik kompozitleri, bu gelişmiş kompozitlerin genellikle zirkonyanın dönüşüm yoğunlaşma özelliklerinden faydalandığını ve düşük sıcaklıklarda biyolojik matrislerde bozulmaya daha az duyarlı olduklarını göstermektedir (Piconi, Condo, & Kosmač, 2014).

Sonuç olarak, zirkonya nanoparçacıklarının diş implantlarında kullanılması, geleneksel diş implant malzemelerine kıyasla pek çok potansiyel avantaj sunmaktadır. Dayanıklılığı, tokluğu, biyouyumluluğu ve estetik özellikleri, diş restorasyonları için umut verici bir seçenek olmasını sağlamaktadır. Ancak, zirkonya bazlı diş implantlarının uzun vadeli performansı ve güvenliği konu-



sunda daha fazla araştırma yapılması ve klinik kullanımının en verimli şekilde optimize edilmesi gerekmektedir (Duraccio et al., 2015; Montazerian et al., 2022; Piconi et al., 2014).

## 6. Zirkonya Bazlı Diş İmplantlarının Avantajları ve Gelişim Süreci

Zirkonya implantları klinik uygulamalarda giderek daha yaygın hale gelse de henüz sık tercih edilen bir tedavi seçeneği değildir. Bunun başlıca nedeni, yeterli mekanik ve bilimsel denemelerin olmamasıdır. Nano-zirkonya eklemlerinin antioksidan ve antikanserojen özelliklere sahip olabileceği yönündeki iddialar ise nanoparçacıkların toksisitesine dair endişelerle birlikte tartışmalı görünmektedir. Zirkonya oksit nanoparçacıkları, insan T hücrelerinin DNA'sına önemli derecede zarar vererek apoptoza neden olmuş ve hücre büyümesini azaltmıştır. Ayrıca, bu nanoparçacıkların hücrelerde oksidatif strese yol açarak hücre ölümüne neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu parçacıkların hücre döngüsünü durdurduğu, çeşitli fizyolojik engelleri aşarak negatif etkilere yol açtığı da yapılmış çalışmalarda bildirilmiştir (Duraccio et al., 2015).

Zirkonya implantlarının klinik kullanımındaki diğer bir sınırlayıcı faktör ise yüzey değişikliklerinin karmaşıklığıdır. Ayrıca, pürüzsüz yüzeylere sahip zirkonya implantlarının doku ile etkileşiminin zayıf olması, osseointegrasyonun zorlaşmasına neden olmaktadır. Zirkonya nanoparçacıkları şu anda diş implantları için geliştirilmekte olup, klinikte ne kadar pratik olacağına dair daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu nanoparçacıkların etkinliğini diğer yaygın diş implant malzemeleri ile karşılaştırmak ve ideal kullanım koşullarını belirlemek için daha fazla çalışma yapılmalıdır. Ayrıca, zirkonya nanoparçacıklarının üretimi hala gelişim aşamasındadır ve bu süreç için belirli bir standart bulunmamaktadır. Bu nanoparçacıkların özellikleri ve fonksiyonelliği zamanla değişebilir, bu da etkinliklerini ve güvenliklerini etkileyebilir (Bosshardt, Chappuis, & Buser, 2017).

Zirkonya, estetik, biyolojik, optik ve mekanik özelliklerinin yanı sıra osseointegrasyon potansiyeli ile de diş implantları için oldukça ilgi çekici bir alternatif malzemedir. Zirkonya, dişlerin doğal rengini ve şeffaflığını taklit edebilmesi nedeniyle estetik açıdan tercih edilmektedir. Ayrıca, zirkonya titanyum gibi diğer geleneksel implant malzemelerine kıyasla bakteriyel kolonizasyon açısından daha az eğilim göstermektedir. Zirkonya, insan vücudunda iyon difüzyonu konusunda neredeyse hiç etki göstermez, bu da biyouyumluluğunu artırır. Osseointegrasyonda ise implant yüzeyinin topografyası ve malzeme bileşimi oldukça önemlidir. Zirkonya, titanyuma göre daha biyouyumlu olarak, implant bölgesinde korozyon ürünlerinin oluşmasını engeller (Bosshardt et al., 2017).

Zirkonya yüksek dayanıklılık ve kırılma tokluğu özellikleriyle diş implantları için daha iyi bir malzeme haline gelmiştir. Ayrıca, zirkonya bazlı implantlar, diş estetiği açısından doğal dişlere benzer bir görünüm sağlayarak

hastalar için estetik beklentilere hitap etmektedir. Zirkonya, renk tutarlılığı, yüksek mukavemet ve düşük termal iletkenlik gibi avantajlara da sahiptir. Zirkonya nanoparçacıkları ayrıca, protez yapımında kullanılan rehin malzemelerinin çapraz kuvvet dayanımını artırma potansiyeline sahiptir. Yapılan araştırmalarda, zirkonya oksit ile işlenen otopolimerize reçinelerin, en yüksek çapraz kuvvet dayanımını sağladığı görülmüştür.

Zirkonya implantlarının biyoyumluluğu da in vivo çalışmalarda incelenmiş ve kemik-implant etkileşimi açısından olumsuz bir reaksiyon gözlemlenmemiştir. Klinik çalışmalarda, zirkonya implantlarının cerrahiden sonra yüksek hayatta kalma ve başarı oranlarına sahip olduğu, takip sonrası ise minimal kemik kaybı gözlemlendiği bildirilmiştir. Zirkonya nanoparçacıklarının kemik oluşumunu artırma, iltihabı azaltma, antimikrobiyal etki gösterme ve hücre yapışmasını destekleme potansiyeli olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, yapılan morfolojik ve biyolojik testler, zirkonya nanoparçacıklarının düşük seviyede toksisite gösterdiğini ve herhangi bir sitotoksik etki ya da sistemik olumsuz reaksiyon oluşmadığını ortaya koymuştur (Kumar, Jain, Jayesh, & Parthasaradhi, 2015).

Sonuç olarak, zirkonya nanoparçacıkları, diş implantları alanında büyük bir potansiyele sahip olmasına rağmen, uzun vadeli güvenliği ve etkinliği konusunda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Zirkonya, biyoyumluluğu, mekanik özellikleri ve estetik avantajları ile gelecekte diş implantları için önemli bir seçenek olmaya devam edecektir.

## Referanslar

- Al Mugeiren, O. M., & Baseer, M. A. (2019). Dental implant bioactive surface modifiers: An update. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 9(1), 1-4.
- Bokobza, L. (2024). On the use of nanoparticles in dental implants. *Materials*, 17(13), 3191.
- Bosshardt, D. D., Chappuis, V., & Buser, D. (2017). Osseointegration of titanium, titanium alloy and zirconia dental implants: current knowledge and open questions. *Periodontology 2000*, 73(1), 22-40.
- Dos Santos, C., Coutinho, I. F., Amarante, J. E. V., Alves, M. F. R. P., Coutinho, M. M., & da Silva, C. R. M. (2021). Mechanical properties of ceramic composites based on ZrO<sub>2</sub> co-stabilized by Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CeO<sub>2</sub> reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> platelets for dental implants. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 116, 104372.
- Duraccio, D., Mussano, F., & Faga, M. G. (2015). Biomaterials for dental implants: current and future trends. *Journal of Materials Science*, 50, 4779-4812.
- Helmer, J., & Driskell, T. (1969). *Research on bioceramics*. Paper presented at the Symposium on use of Ceramics as Surgical Implants.
- Hoque, M. E., Showva, N.-N., Ahmed, M., Rashid, A. B., Sadique, S. E., El-Bialy, T., & Xu, H. (2022). Titanium and titanium alloys in dentistry: Current trends, recent developments, and future prospects. *Heliyon*, 8(11), e11300.
- Hossain, N., Islam, M. A., Chowdhury, M. A., & Alam, A. (2022). Advances of nanoparticles employment in dental implant applications. *Applied Surface Science Advances*, 12, 100341.
- Joy-anne, N. O., Su, Y., Lu, X., Kuo, P.-H., Du, J., & Zhu, D. (2019). Bioactive glass coatings on metallic implants for biomedical applications. *Bioactive materials*, 4, 261-270.
- Kosmač, T., Oblak, C., Jevnikar, P., Funduk, N., & Marion, L. (1999). The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dental materials*, 15(6), 426-433.
- Kozakiewicz, M., Gmyrek, T., Zajdel, R., & Konieczny, B. (2021). Custom-made zirconium dioxide implants for craniofacial bone reconstruction. *Materials*, 14(4), 840.
- Kumar, J. V., Jain, A. R., Jayesh, R., & Parthasaradhi, T. (2015). Biomaterials in implant dentistry: A review. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 8, 139-143.
- Luthardt, R., Holzhüter, M., Sandkuhl, O., Herold, V., Schnapp, J., Kuhlisch, E., & Walter, M. (2002). Reliability and properties of ground Y-TZP-zirconia ceramics. *Journal of dental research*, 81(7), 487-491.
- Manicone, P. F., Iommetti, P. R., & Raffaelli, L. (2007). An overview of zirconia ce-

- amics: basic properties and clinical applications. *Journal of dentistry*, 35(11), 819-826.
- Molaei, M., Attarzadeh, N., & Fattah-Alhosseini, A. (2021). Tailoring the biological response of zirconium implants using zirconia bioceramic coatings: A systematic review. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 66, 126756.
- Montazerian, M., Hosseinzadeh, F., Migneco, C., Fook, M. V., & Baino, F. (2022). Bioceramic coatings on metallic implants: An overview. *Ceramics International*, 48(7), 8987-9005.
- Moradpoor, H., Safaei, M., Mozaffari, H. R., Sharifi, R., Imani, M. M., Golshah, A., & Bashardoust, N. (2021). An overview of recent progress in dental applications of zinc oxide nanoparticles. *RSC advances*, 11(34), 21189-21206.
- Nelogi, S., Chowdhary, R., & Roy, R. (2024). Optimising titanium implant stability and infection resistance through iron nanoparticle coatings: A preclinical investigation. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 102155.
- Niinomi, M. (2002). Recent metallic materials for biomedical applications. *Metallurgical and materials transactions A*, 33, 477-486.
- Noronha, V. T., Paula, A. J., Durán, G., Galembeck, A., Cogo-Müller, K., Franz-Montan, M., & Durán, N. (2017). Silver nanoparticles in dentistry. *Dental materials*, 33(10), 1110-1126.
- Peron, M., Bertolini, R., & Cogo, S. (2022). On the corrosion, stress corrosion and cytocompatibility performances of ALD TiO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> coated magnesium alloys. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 125, 104945.
- Piconi, C., Condo, S. G., & Kosmač, T. (2014). Alumina-and zirconia-based ceramics for load-bearing applications. *Advanced ceramics for dentistry*, 219-253.
- Schmalz, G., Hickel, R., van Landuyt, K. L., & Reichl, F.-X. (2017). Nanoparticles in dentistry. *Dental materials*, 33(11), 1298-1314.
- Wang, C., Wang, Y., Zhang, G., Xu, L., & Liang, L. (2021). A novel zirconium oxide nanotube (ZrO<sub>2</sub>-nanotube) implant with higher biocompatibility and lower bacteria adhesive capacity. *Materials Letters*, 294, 129760.
- Xu, V. W., Nizami, M. Z. I., Yin, I. X., Yu, O. Y., Lung, C. Y. K., & Chu, C. H. (2022). Application of copper nanoparticles in dentistry. *Nanomaterials*, 12(5), 805.
- Zhang, L., Liu, H., Yao, H., Zeng, Y., & Chen, J. (2022). Preparation, microstructure, and properties of ZrO<sub>2</sub> (3Y)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bioceramics for 3D printing of all-ceramic dental implants by vat photopolymerization. *Chinese Journal of Mechanical Engineering: Additive Manufacturing Frontiers*, 1(2), 100023.
- Zhao, Y., Li, P., Dong, P., Zeng, Y., & Chen, J. (2021). Investigation on 3D printing ZrO<sub>2</sub> implant abutment and its fatigue performance simulation. *Ceramics International*, 47(1), 1053-1062.

# BÖLÜM 8

## NI-CO KOMPOZİTİNİN DUVAR KAROSU MAT SIR REÇETELERİNDE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

*Hale YILDIZAY*<sup>1</sup>

*Eda TAŞÇI*<sup>2</sup>

1 Doç. Dr. Hale YILDIZAY, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Güzel Sanatlar Meslek Yüksek Okulu, Çini sanatı ve Tasarımı Bölümü, 43100 Kütahya, TÜRKİYE, hale.yildizay@dpu.edu.tr, Tel:05055276767, Orcid no: 0000-0002-3896-9912

2 Prof. Dr. Eda TAŞÇI, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Merkez Kampüs, 43100 Kütahya, TÜRKİYE, eda.tasci@dpu.edu.tr, Tel: 05417954810, Orcid no: 0000-0003-3346-8833

Seramik yer ve duvar kaplama sektörü inorganik esaslı hammaddelerin bünye ve sır reçetelerinde kullanımı, endüstriyel bir üretim prosesinde yer alan, öğütme, çamur haline getirme, granülasyon, şekillendirme, pişirme, renk ve desen tasarımı gibi birçok aşamayı kapsamaktadır. Elde edilen farklı boyut ve ebatlardaki karolar iç ve dış mekanlarda yüzey kaplaması olarak yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Üretim süreci sonrasındaki ürünlerden beklenen mekanik ve kimyasal dayanıklılık, fiziksel ve kimyasal standartlara uygunluk, şekilsel ve estetik uygunluk, üretilen ürünlerin tüketici ile buluşabilmesi ve uzun ömürlü olmasıdır. Mühendislik olarak standartlara uygunluğun kontrol edilmesinin yanı sıra ekonomiklik koşullarının da uygunluğu önemlidir. Üretimde verimlilik ve ekonomiklik birlikte kontrol edilmesi gereken mühendislik konularıdır.

Verimlilik ve ekonomiklik konuları yanında diğer mühendislik konusu sürdürülebilirlik konusudur. Sürdürülebilirlik konusu üretimde pek çok konu başlığını içermektedir. Bunlardan bir tanesi de farklı endüstrilerin hammadde ve katma değeri yüksek ürünlerini değerlendirmeleri üzerindeki konulardır. Seramik sektörü farklı endüstrilerin ortaya çıkarmış olduğu inorganik esaslı hammadde ve yan ürünleri kendi üretim proseslerinin farklı aşamalarında ve ARGE çalışmalarında, özellikle sır, bünye içerisinde hammadde olarak ya da renklendirici olarak değerlendirmektedir.

Ni-Co kompozitleri, nikel (Ni) ve kobalt (Co) metallerini birlikte bulunduran malzemelerdir. Bu malzeme, değişen oranlarda nikel ve kobaltın metallinin bir arada bulunmasıyla oluşmaktadır. Bu kompozitlerin özellikleri, nikel ve kobalt miktarına, kullanıldığı uygulamalara ve üretim süreçlerine bağlı olarak değişmektedir. Bu kompozitler birçok genellikle mühendislik ve malzeme bilimi alanlarında kullanımları vardır ve endüstrilerde farklı amaçlar içinde kullanılmaktadır. Nikel ve kobalt, ferromanyetiklik özelliğine sahip metallerdir ve mıknatıslandırılabilirler. Bu sebeple Ni-Co kompozitleri, manyetik uygulamalarda kullanılmaktadır. Nikel ve kobalt aynı zamanda iyi elektriği iyi iletirler. Bu kompozitler, elektronik bileşenleri ve elektrik kontakları gibi elektriksel uygulamalar için kullanılabilirler. Nikel ve kobalt metalleri, mekaniksel dayanımlarını yüksek sıcaklıklarda koruyabilen özelliklere sahiptir. Bu nedenle yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilebilmektedirler. Özellikle motor parçalarında ve endüstriyel fırınların içerisinde kullanılabilirler. Nikel, iyi bir korozyon direnci gösteren bir metaldir. Bu yüzden denizcilik uygulamalarında ve kimyasal işlemlerde bu özelliğinden dolayı tercih edilmektedir. Bu kompozitler ayrıca, manyetik depolama cihazlarında (sabit disk sürücülerinde) kullanılmaktadırlar. Kimya sektöründe, Ni-Co kompozitleri katalizör olarak; belirli ürünleri üretmek ve bazı kimyasal reaksiyonları hızlandırmak için tercih edilmektedir. Ayrıca, tıbbi cihazların yapımında kullanılmaktadırlar.

Ni-Co kompozitlerinin üretimi ülkemizde 2007 yılından beri yapılmaktadır. Manisa'nın Gördes ilçesinde bulunan işletme Zorlu Holding tarafından kurulmuştur. Bu işletmede laterittik nikel yatağından elde edilen hammadde Ni-Co karışımından oluşan bir kompozit olarak elde edilmektedir. Bu kompozit nikel ve kobalt metalince zengin bir içeriğe sahiptir fakat bu ürünün ülkemizde henüz pazarı bulunmamak ve ihraç edilmektedir. Bu kompozitin üretimi oldukça zor ve karmaşık bir süreçtir. (Ağaçayak, T., 2008; MTA Nikel, 2023; Nikel, 2022; DPT-ÖİK- 640, 2022). Ni-Co kompozitleri daha önce seramik ve çini sırlarında değerlendirilmiş ayrıca bir çalışmada da siyah renk eldesin de başlangıç hammaddesi olarak kullanılmıştır (Yıldızay ve Taşçı, 2021; Yıldızay ve Aydoğdu, 2022).

Bu araştırmada Meta Nikel Kobalt Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasından temin edilen Nikel-Kobalt kompozit hammaddesi endüstriyel iki farklı mat sır reçetesi içerisinde renklendirici olarak etkisinin incelenmesi amacıyla kullanılmıştır. Sır reçeteleri içerisinde kullanılan renklendiriciler maliyeti artıran maddelerdir. Ni-Co üretiminin yan ürün olarak elde edilen Ni-Co kompozit hammaddesi tesiste yüksek oranda üretilen bir ürün olması, kimyasal analizinde bulunan yüksek orandaki nikel oksit kaynağının duvar karosu mat sır reçetesindeki etkisinin incelenmesi amacıyla reçetelerdeki kullanım oranı belirlenmiştir.

Endüstriyel olarak hazırlanan 2 farklı mat sır reçetesi içerisine Ni-Co kompozit hammaddesi % 5, 10, 15 ve 20 değişen ağırlıklarda eklenerek karıştırılmıştır. Sır reçeteleri duvar karosu bünyeleri üzerine pistole yardımıyla uygulanarak ve endüstriyel ortamda 1075°C'de 35 dak. hızlı pişirmeye tabi tutulmuştur. Sıra eklendiği miktara göre sırlarda krem renginden kahverengiye değişen renkler elde edilmiştir. Sırlanmış yüzeylere L\* a\* b\* renk ve parlaklık analizleri yapılmıştır. Elde edilen sırlar kimyasal dayanım testi yapılmıştır. Renk dayanımı, kimyasal dayanım özelliği bu testler sonucunda belirlenmiştir. Ayrıca seçilen sırların SEM-EDX analizleri incelenerek sır reçetesi içerisine ilave edilen Ni-Co kompozit hammaddesinin sır içerisindeki dağılım oranı hakkında bir inceleme yapılmıştır.

## MALZEME VE YÖNTEM

Bu araştırmada Meta-Nikel Kobalt Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. işletmesinden temin edilen Nikel Kobalt kompozit hammaddesi 2 farklı mat sır reçetesi içerisinde farklı oranlarda ( %5, 10, 15 ve 20 olarak) ilave edilmiştir. kullanılan Nikel Kobalt kompozitinin kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir. Spectro X marka -Lab 2000 model XRF cihazı ile Ni-Co kompozitin kimyasal analizi gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** Ni-Co kompozitin XRF (kimyasal analiz) sonuçları.

Ni-Co kompozit	
NiO	53.13
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	3.54
MgO	5.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47
SiO <sub>2</sub>	2.28
SO <sub>3</sub>	11.18
MnO	7.55
TiO <sub>2</sub>	0.01
CuO	0.25
K <sub>2</sub> O	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02
ZnO	0.62
Loi	15.2

İşletmede standart olarak hazırlanan iki farklı tipteki duvar karosu mat sırina %5-20 arasında eklenen Ni-Co kompozit karışımıyla hazırlanmış mat sırların elek bakiye değerleri ve viskozite TSE EN standartlarına göre ayarlanmıştır.

Bu doğrultuda yapılan deneysel çalışmalarda, sağlanan malzemenin mineralojik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Ni-Co kompozit ilaveli mat sırlar; 1175°C'de ilk pişirimleri yapılmış duvar karolarının yüzeyine slayt (kampana) çekme şeklinde uygulanmıştır. Uygulama öncesi hazırlanan sırların litre ağırlığı 1830 gr/lit ve viskozitesi 25 sn. olacak şekilde ayarlanmıştır. Sırlanmış duvar karoları endüstriyel ortamda 35 dakika 1075°C'de fırınlanmıştır.

Seramik sektöründe sır bileşimleri birinden farklıdır. Sırlar oluştuğu oksitlerin mol oranlarına göre tanımlanmaktadır. Seger formülasyonu adı verilen bu tanımlama sırası temsil etmektedir. Seger formülasyonu sırda bulunan tüm bazik oksitler (toprak alkaliler, alkaliler ve bazik diğer oksitlerin) mol oranları toplamı 1'e eşitlenecek şekilde hesaplanmaktadır. Seger formülasyonunu hesaplamak için, içerisinde yer alan tüm oksitlerin mol değerleri bilinmelidir (Arcasoy, 1983; Taçyıldız, 2018). Çalışmadaki MAT-1 ve MAT-2 sırlarındaki fark MAT-1 sırların opak bir özellikte olmasıdır. MAT-1 sırası uygulandığı yüzeye satenimsi ve pürüzsüz bir görüntü vermektedir. MAT-1 ve MAT-2 sırlarına ait seger formülasyonları Tablo 2 ve 3'te yer almaktadır.



**Tablo 2 . MAT-1 Sırın Seger Analizi**

MAT-1 Seger Analizi			
Bazik oksitler	Amfoter oksitler	Asidik oksitler	
0.02 MgO	0.076 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.22 SiO <sub>2</sub>	
0.01 K <sub>2</sub> O			MAT-1
0.05 ZnO			Mat Sır
0.92 CaO			

**Tablo 3. MAT-2 Sırın Seger Analizi**

MAT-2 Seger Analizi			
Bazik oksitler	Amfoter oksitler	Asidik oksitler	
0.086 Na <sub>2</sub> O			
0.086 MgO	0.109 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.18 SiO <sub>2</sub>	
0,05 ZrO <sub>2</sub>			MAT-2
0.03 K <sub>2</sub> O			Mat Sır
0.714 CaO			

Ayrıca hazırlanan Ni-Co kompozit ekli mat sır denemelerinin renk dağılımları PCE-CSM2 model, L\*a\*b\* renk ölçüm cihazında renk değerleri tespit edilmiştir. Hazırlanan karolarının yüzeylerine NANO SEM 650 cihazıyla SEM ve EDX çalışması yapılmıştır.

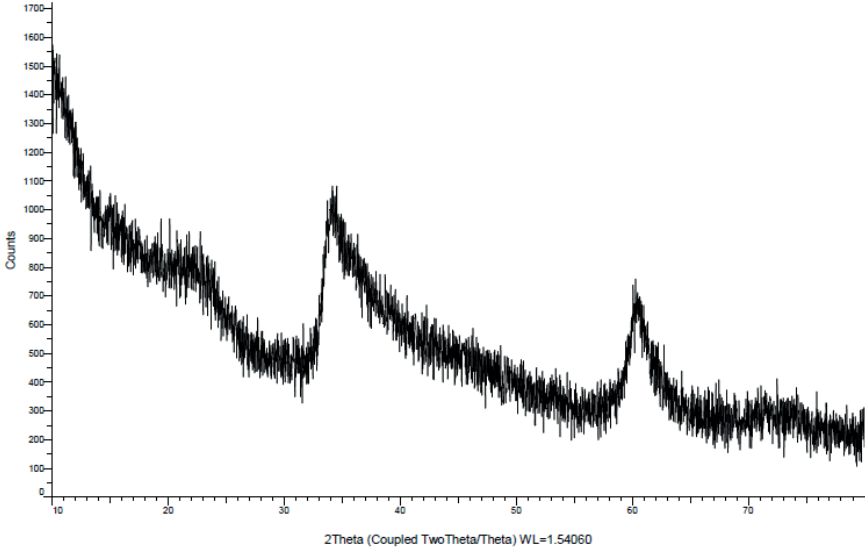
Çalışılan farklı reçetelerde pişme sonrasındaki renklendirici oksitlerin çözünmelerinin etkisini görebilmek amacıyla kimyasal dayanım testleri yapılmıştır. Yapılan bu kimyasal testler sonucunda sırlanan yüzeyler TSE 10545 standardına göre geçerli ya da geçersiz bazı değerler verilerek gruplandırılmaktadır.

Çalışmada hazırlanan Ni-Co kompozit içeren mat duvar karosu sırları üzerine çeşitli kimyasal çözeltiler uygulanmıştır. Sırların yüzeyine potasyum hidroksit, sitrik asit, laktik asit ve hidroklorik asit gibi kimyasallar çözelti şeklinde uygulanmıştır. Bu çözeltiler 24 saat sır üzerinde bırakılmıştır. Sadece potasyum hidroksit çözeltisi ile yüzeyler 4 gün boyunca temas halinde bırakılmıştır daha sonra süreç sonundaki oluşan etkiler değerlendirilmiştir. Daha sonra çözelti uygulanan sırlar sonuçlara göre sınıflandırılmıştır (Balbağ, 2023).

Ni-Co kompozit ilaveli mat sırlı karoların kimyasal dayanımlarının analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde, herhangi etki yoksa A; gözle görülen değişim B; kısmen değişim C şekilde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma tamamen niceldir. Bu sonuçlara bakılarak üretim sonucundaki kalite sınıflarının değerlendirilmesi yapılmaktadır.

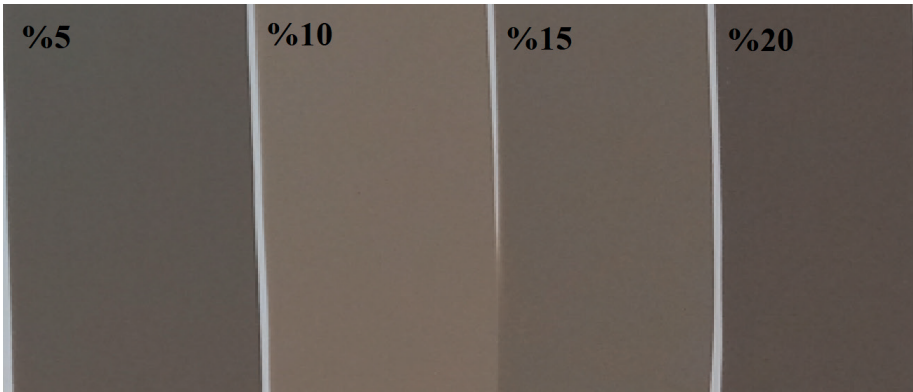
## Ni-Co Kompozitinin Mat Duvar Karosu Sırlarında Kullanımı ve Deneysel Çalışmalar

Deneylerde kullanılan Ni-Co kompozit malzemesi işletmeden temin edildiğinde nemli olup etüvde kurutularak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Daha bu malzemeye XRD faz analizi yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Ni-Co kompozitinin XRD analizi

Ni-Co kompozit eklenmiş duvar karosu MAT-1 sır numunelerinin görseli Şekil 2’de, Ni-Co kompozit eklenmiş duvar karosu MAT-1 sırlarının  $L^*a^*b^*$  analiz sonuçları Tablo 4’te verilmiştir.

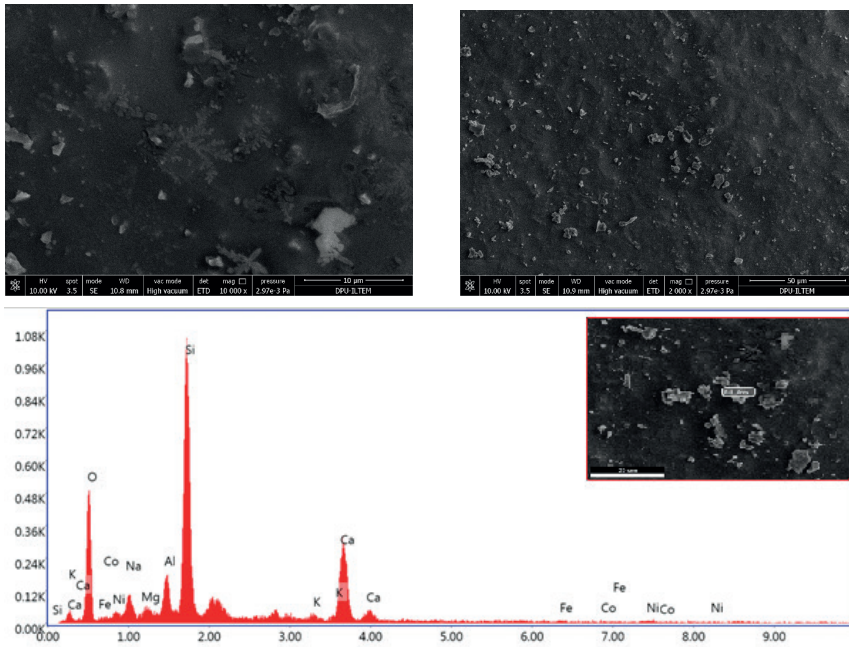


Şekil 2. Ni-Co kompozitin MAT-1 sırdaki etkileri

**Tablo 4.** Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-1 sırlarının  $L^*a^*b^*$  analizleri

Ni-Co kompozit (%)		$L^*$	$a^*$	$b^*$
(MAT-1)	Std.	92,37	0,08	1,43
	5	61,19	3,27	14,77
	10	56,44	2,75	13,69
	15	52,53	2,72	13,01
	20	48,95	2,68	13,71

Şekil 3'te Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-1 sır numunelerinin farklı alanlarından elde edilen SEM –EDX analizleri verilmektedir. Tablo 5'te Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-1 sır numunelerine uygulanan (TS EN ISO 10545-13) kimyasal dayanım sonuçları verilmiştir.



**Şekil 3.** Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-1 sır numunelerinin farklı alanlarından elde edilen

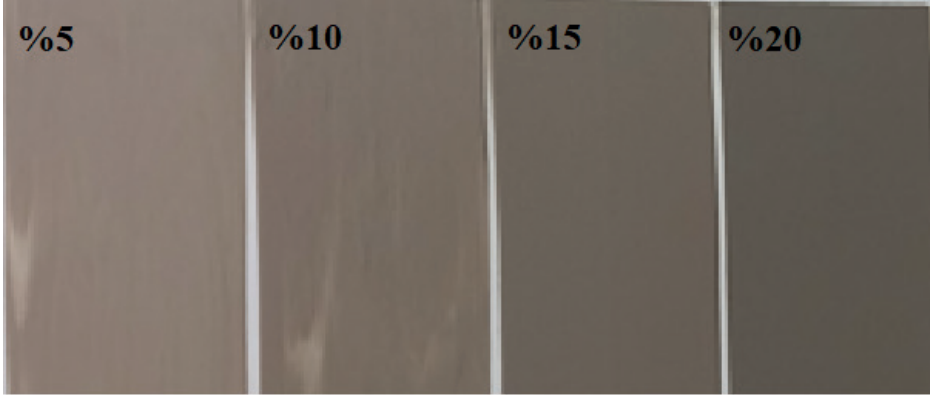
SEM –EDX analizleri

**Tablo 5.** Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-1 sır numunelerine uygulanan (TS EN ISO 10545-13) kimyasal dayanım sonuçları

MAT-1 Sır Kimyasal Dayanıklılık Tayini				
Ni-Co kompozit Oranı (%)	Laktik Asit	Sitrik Asit	Potasyum Hidroksit	Hidroklorik Asit
0	C	C	A	C
5	C	C	C	C
10	C	C	C	C
15	C	C	C	C
20	C	C	C	C

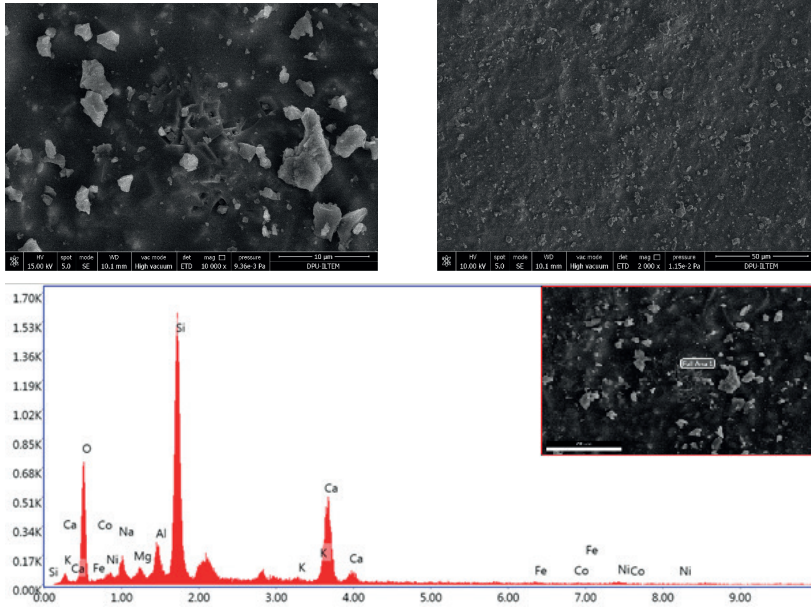
**Ni-Co kompozit eklenmiş duvar karosu MAT-2 Sırındaki Etkileri**

Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-2 sır numunelerinin görseli Şekil 4'te, Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-2 sırlarının L\*a\*b\* analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

**Şekil 4.** Ni-Co kompozitin MAT-2 sıradaki etkileri**Tablo 6.** Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-2 sırlarının L\*a\*b\* analizleri

Ni-Co kompozit (%)	L*	a*	b*
Std.	91,86	0,06	2,08
5	61,74	3,25	13,47
10	57,60	2,94	13,52
15	53,31	2,71	13,73
20	48,87	2,51	14,41

Şekil 3'te Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-2 sır numunelerinin farklı alanlarından elde edilen SEM –EDX analizleri verilmektedir. Tablo 7'de Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-2 sır numunelerine uygulanan (TS EN ISO 10545-13) kimyasal dayanım sonuçları verilmiştir.



Şekil 5. Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-2 numunelerinin farklı alanlarından elde edilen

SEM –EDX analizleri

Tablo 7. Ni-Co kompozit eklenmiş MAT-2 numunelerine uygulanan (TS EN ISO 10545-13) kimyasal dayanım sonuçları

MAT-2 Sır Kimyasal Dayanıklılık Tayini					
Ni-Co kompozit Oranı (%)	Laktik Asit	Sitrik Asit	Potasyum Hidroksit	Hidroklorik Asit	
0	C	C	A	C	
5	C	C	C	C	
10	C	C	C	C	
15	C	C	C	C	
20	C	C	C	C	

## SONUÇ

Bu çalışmada kullanılan Ni-Co kompozit laterittik nikel maden yatağından elde edilmiş olup kimyasal olarak yapısında farklı oksitleri bir arada bulundurmaktadır. Ni-Co kompozit yapısında bulunan oksitler seramik yapısında kullanılan temel oksitler değildir. Ancak Ni-Co kompozit hammaddelerinin yapısı içerisinde bulunan yoğun geçiş elementleri seramik sektöründe

özellikle renk etkileşimi açısından bünye ve sır reçetelerinde değerlendirilebilir olduğu düşünülerek bu çalışmada da özellikle pigment olarak sır reçetesi içerisindeki etkisi incelenmiştir.

Pigmentler sır reçetesi içerisinde homojen dağılım özelliği göstermeli, sır kompozisyonu ile uyum sağlayarak sırdaki camsı yapı içerisinde kendi renk verme etkisini koruyarak bünye, sır yüzey kalitesini etkilemeden sır hatalarının oluşmasına izin vermeden sinterleme sonrasında camsı yapı içerisinde kristal yapısını koruyarak kalabilmelidir. Laboratuvar ya da endüstriyel pişirim sonrasında camsı sır yapısı içerisinde kendi kristal yapısını ve renk etkinliği koruyabilen pigment ve renklendiriciler yapılan renk ölçüm ve gloss değerlerinde bir uyum sağlar. Ayrıca kimyasal dayanım testleri sonrasında da en az çözünme ve bozunmayla deneysel süreçleri tamamlayabilir.

Yapılan bu çalışmada Ni-Co kompozit hammaddesi herhangi bir ön işleme tabi tutulmaksızın seçilen endüstriyel mat sır reçeteleri içerisine farklı oranlarda ilave edilerek endüstriyel pişirim sonrasındaki sır içerisindeki ve sır yüzeyindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde ve en iyi sonuç %10 Ni-Co kompozit içeriğine sahip sırlar olduğu görülmüştür ve analizler uygulanmıştır. Denemelerde elde edilen en düzgün yüzey olan %10 Ni-Co kompozit katkılı sır reçetelerinin SEM analizleri de incelendiğinde Ni-Co kompozit hammaddesinin sırda homojen olarak dağıldığı belirlenmiştir. Sırlara yapılan karakterizasyon analizleri kimyasal dayanımlarıyla sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Ni-Co kompozitinin mat duvar sırlarındaki  $L^*a^*b^*$  renk değişimleri incelendiğinde; reçete içerisindeki artan oranlarıyla farklı iki mat sır içinde benzer şekilde  $L^*$  de ve  $a^*$  değerlerinde düşüş,  $b^*$  değerinde artış gözlemlenmiştir.

Ni-Co kompozitinin duvar karosu mat sırlarına ilavesiyle endüstriyel pişirim ortamında pişirilerek elde edilmiş sırların değişen büyütmelerde elde edilen SEM görüntüleri incelendiğinde şunlar söylenebilir;

Ni-Co kompozitin sırda kullanım miktarındaki artış sır içerisindeki kristallenme oranı artmıştır. Sır içerisinde tabakalar şeklinde oluşan kristal fazların dendritik bir yapıda olduğu söylenebilir ve SEM görüntüsündeki büyütmelerin arttırılmasıyla dendritik yapı daha net görülebilmektedir..

%10 Ni-Co kompozit katkılı mat duvar sırlarında yapılan EDX analizlerinde yapıların ağırlıklı oranda Al, Si, Ca, Na, ve K elementlerinin bulunduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada mat duvar karosu sırlarında renklendirici pigment yerine alternatif olarak %10 oranında Ni-Co kompozitinin uygun bir şekilde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

## KAYNAKÇA

- Ağaçayak, T., (2008). Karaçam (Eskişehir) Lateritik nikel cevherinin fiziksel ve kimyasal yöntemlerle zenginleştirilmesi (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Arcasoy, A. (1983). Seramik Teknolojisi. Marmara Üniversitesi Yayın No:457, Güzel Sanatlar Fakültesi Yayın No:2, Eskişehir.
- Balbağ Y. 2023, Endüstriyel atıkların duvar karosu mat sır reçetelerinde renklendirici pigment olarak kullanımı, (Yüksek lisans tezi), Kütahya Dumlupınar üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya.
- DPT-ÖİK- 640, (2022, 12 Ağustos). Erişim Adresi: <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Sekizinci-Bes-Yillik-Kalkinma-Plani-Madencilik-OIK-Raporu-MetalMadenlerAltKomisyon-Diger-Metal-Madenler-Calisma-Grubu-Raporu.pdf>
- MTA Nikel (2023, Eylül 27). Erişim Adresi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/metalik-madenler/nikel>.
- Taçyıldız, E. (2018). Seramik sırrının sırrı (1. Basım). İstanbul: Hayalperest Yayınevi.
- Yıldızay H, & Aydoğdu F, (2022). Preparation of Black Colorantsfor Stoneware Glazes with Using Ni-Co Composite, Chromite And Iron OxideMixtures. Journal of scientific reports-A, 1(48), 87-97.
- Yıldızay H. & Taşçı E., 2021, Ni-Co Kompozitinin Borlu Sırlarda Etkilerinin İncelenmesi, Mühendislik Alanında akademik araştırma ve değerlendirmeler, Editör: Doç.Dr. Selahattin Bardak, Bölüm 8, Serüven Yayınevi.





# BÖLÜM 9

## YAPAY ZEKÂNIN TIBBİ CİHAZ TEKNOLOJİLERİNDEKİ UYGULAMALARI

*Betül Karabudak<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Öğr. Gör., Karabük Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Karabük/Türkiye. ORCID: 0000-0002-8266-4737, e-posta: betulkarabudak@karabuk.edu.tr

Sağlık hizmetleri, bireylerin fiziksel, zihinsel ve sosyal iyilik halini korunması, hastalıkların önlenmesi, tanınması, teşhisi, tedavi edilmesi ve rehabilitasyon süreçlerinin desteklenmesini hedeflemektedir. Bu süreçlerde geliştirilen araçlara, makinelere ve yazılımlara tıbbi cihaz teknolojileri denilmektedir. Tıbbi cihaz teknolojilerinin gelişimi, sağlık hizmetleri kalitesinin artırılmasında ve hasta sonuçlarını iyileştirilmesinde büyük bir önem taşımaktadır. Yapay zekâ entegrasyonu, modern sağlık hizmetlerinin verimliliğini artırmakta ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarını mümkün kılmaktadır. Bu bölümde tıbbi cihaz teknolojileri ve yapay zekânın alanlara göre kullanımına ve güncel yaklaşımlara yer verilmiştir.

## 1. TIBBİ GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ

Tıbbi görüntüleme sistemleri, teşhis ve tedavi süreçlerinde kritik bir öneme sahiptir. Bu sistemlerin gelişimi, tıp alanında tanınal doğruluğun artırılması ve daha etkili tedavilerin uygulanabilmesi açısından önemli bir gelişme sunmuştur. Tıbbi görüntüleme sistemlerinden beklenen ana özellikler arasında hızlı, ekonomik ve non-invaziv (vücut dışı) olmaları, yüksek çözünürlük sunmaları ve iyi doku kontrastı sağlamalarıdır. Bununla birlikte, birçok görüntüleme cihazı iyonize radyasyon kullanmakta olup bu durum sistemlerin kontrollü bir şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Görüntüleme cihazları, uyguladıkları teknikler ya da inceledikleri organların anatomik veya fizyolojik özelliklerine dayalı olarak kategorilere ayrılmaktadır.

X-ray görüntüleme sistemlerinin en önemli bileşeni röntgen tüpüdür. Bu tüp, elektronların bir filaman aracılığıyla üretilip anot yüzeyine yönlendirilmesi ile işlevini yerine getirir. Bu aşamada çıkan enerji ısıya ve %1 olarak X-ışınına dönüşür. X-ray, iyonize radyasyon üretir ve yayar. Bilgisayarlı Tomografi (BT), X-ray görüntüleme yönteminin bir alt türü olarak, transvers düzlemde (kesit) görüntüler sunarak organ ve dokuların daha detaylı bir şekilde incelenmesine olanak tanımaktadır (Maier vd., 2018; Bankman, 2008; Prince & Links, 2006).

Manyetik rezonans görüntüleme (MR), yüksek teknolojiye sahip görüntüleme sistemleridir. MR teknolojisinin temelini, dokulardaki hidrojen atomlarının protonlarının güçlü manyetik alan altında aynı hareketi gerçekleştirerek rezonansa girmesine dayanır. Bu süreçte, radyo frekansı (RF) darbeleri uygulanır ve rezonansa giren protonlar tarafından emilen RF enerjisi daha sonra geri yayılır. Cihaz, bu geri yansıyan sinyalleri algılayarak dokuların hidrojen yoğunluğunu belirler ve detaylı görüntüler oluşturur. (Maier vd., 2018; Bankman, 2008; Prince & Links, 2006).

Nükleer tıp görüntüleme, gamma ışınları ile gerçekleştirir. Bu sistemlerde röntgen tüpleri yer almamaktadır; gamma radyasyonu, hastaya enjekte edilen radyoaktif maddelerden elde edilir. Bu maddelere radyofarmasötik

denir ve dokulara dağılarak gamma dedektörleri tarafından izlenir. Nükleer tıp cihazları, organların fizyolojik özelliklerini ortaya koyarak diğer görüntüleme yöntemlerinden ayrılmaktadır (Maier vd., 2018; Bankman, 2008; Prince & Links, 2006).

Ultrason cihazları, insan kulağının duyamadığı 1-10 MHz frekans aralığındaki ses dalgalarını kullanır. Bu ses dalgaları, dokuların yüzeylerinden yansyarak geri döner ve cihazın probu tarafından algılanır. Probda yer alan piezoelektrik kristaller, bu yansıyan ses dalgalarını elektriksel sinyallere dönüştürerek görüntü oluşturur. Cihazların sınıflandırılmasında, prob özellikleri ve kullanılan yazılımlar önemli bir rol oynamaktadır (Maier vd., 2018; Bankman, 2008; Prince & Links, 2006).

Endoskopik görüntüleme sistemleri, endoskop adı verilen cihazlar kullanarak, vücudun iç yapılarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesini sağlayan, kamera ve ışık teknolojilerini içeren sistemlerdir. Bu cihazlar, vücuda doğal açıklıklar (örneğin ağız veya anüs) ya da cerrahi bir kesi yardımıyla yerleştirilerek kullanılır. Endoskopların isimlendirilmesi, incelenen organ veya bölgeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Karın boşluğunun incelenmesi için laparoskopi, midenin değerlendirilmesinde gastroskopi, akciğerlerin incelenmesinde bronkoskopi, kalın bağırsakların görüntülenmesi ise kolonoskopi kullanılmaktadır. Endoskopların ışık iletimi ve görüntü aktarımı, fiber optik kablolar ile gerçekleşir. Bu kablolar, dokulardan geri yansıyan görüntülerin dışarı iletilmesini mümkün kılarken, aynı zamanda ışığı da taşıma işlevi görür (Maier vd., 2018; Bankman, 2008; Prince & Links, 2006).

### 1.1. Tıbbi Görüntüleme Sistemleri ve Yapay Zekâ Uygulamaları

Tıbbi görüntüleme sistemleri, modern tıbbın teşhis ve tedavi süreçlerinde hayati bir öneme sahiptir. X-ray görüntüleme yapay zekâ kullanımı, elde edilen verilerinin otomatik analizi ve klinik tanı süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle göğüs röntgenlerinde, akciğer kanseri, tüberküloz, pnömoni ve COVID-19 gibi hastalıkların tespitinde önemli bir rol oynamaktadır (Becker vd., 2022; Cellina vd., 2023; Chumbita vd., 2020; Colquitt vd., 2024; Ghuse & Monga, 2024; Liu vd., 2023; Mathew vd., 2020; Wang vd., 2021). Bunun yanı sıra, kırıkların otomatik olarak belirlenmesi ve sınıflandırılmasında da kullanılmaktadır. El, ayak, omurga veya kalça gibi anatomik bölgelerdeki kırıkların belirlenmesinde yapay zekâ sistemleri kullanımı ile ortopedi alanında önemli ölçüde gelişmeler sağlamaktadır (Guermazi vd., 2022; Sharma, 2023; Tieu vd., 2024; Umadevi & Geethalakshmi, 2012; Xie vd., 2024). BT sistemlerinde yapay zekâ kullanımı, tümör tespiti ve evrelemede büyük bir katkı sağlamaktadır. Algoritmalar kanser alanında kullanıldığında, küçük nodülleri ve doku değişikliklerini gözden kaçırmadan analiz ederek, kanserin erken evrede teşhis edilmesine yardımcı olur (Cellina vd.,

2023; Geppert vd., 2024; Ma, Wang & Ye, 2023; Paudyal vd., 2023). Ayrıca, travmatik beyin yaralanmalarında kanama noktaları ve damar tıkanıklıklarının otomatik olarak tespit edilmesi mümkündür (Agrawal vd., 2023; Amukotuwa vd., 2019; Fletcher-Sandersjöo vd., 2022; Gudigar vd., 2021; MacIntosh vd., 2023). Koroner BT anjiyografi görüntüleri üzerinden yapay zekâ destekli analizler ile damarların daralma oranları belirlenerek kardiyovasküler risk faktörleri tespit edilebilmektedir (Han vd., 2020; Infante vd., 2021). Manyetik rezonans görüntüleme yapay zekâ kullanımı, vücut dokularının detaylı incelenmesinde yüksek doğruluk sağlayan ileri bir görüntüleme teknolojisidir ve özellikle nörolojik, kardiyolojik ve onkolojik alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Beyin MR görüntülerinde, Alzheimer hastalığına dair erken belirtiler veya beyin tümörlerinin sınırları otomatik olarak tespit edilebilmektedir. Ayrıca, onkoloji alanındaki uygulamalarda, yapay zekâ tümör boyutlarının ölçülmesi ve tedaviye yanıtın değerlendirilmesi konusunda önemli bir destek sunmaktadır (Baker vd., 2024; Odusami vd., 2022; Wolz vd., 2011; Zegers vd., 2021). Kardiyak MR görüntülerinde ise, yapay zekâ algoritmaları kalp kası fonksiyonlarını analiz ederek miyokardiyal infarktüs ve kardiyomiopati gibi rahatsızlıkların tanısında kullanılmaktadır (Cau vd., 2021; Fotaki vd., 2022; Sheth & Giger, 2020). Nükleer tıp görüntüleme yapay zekâ kullanımı, radyofarmasötiklerin dokulardaki dağılımını ve tutulumunu daha hassas bir şekilde analiz etme imkânı sunmaktadır. PET-CT görüntülerinde, tümör metastazlarının erken evrede ön tanılmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, gama kameralarla elde edilen görüntülerde yapay zekâ algoritmaları, kalp perfüzyon testlerinde iskemi bölgelerini belirleyebilmektedir. Bunun yanı sıra, nörolojik hastalıklarda dopamin reseptör aktivitesinin ölçülmesi, Parkinson hastalığının erken teşhisine katkı sağlamaktadır (Cheng vd., 2021; Currie & Rohren, 2021; Laudicella vd., 2021; Palumbo vd., 2021; Panagiotidis vd., 2024; Seifert vd., 2021). Ultrason görüntüleme yapay zekâ kullanımı, elde edilen verileri otomatik olarak analiz eder ve ölçümleri rapor haline getirir. Obstetrik, kardiyolojik ve hepatolojik alanlarda teşhis doğruluğunu artırabilir ve böylelikle hekimlere önemli bir klinik destek sağlamaktadır. Fetal ultrason görüntülerinde, yapay zekâ algoritmaları fetal gelişim anomaliklerini otomatik olarak tespit edilmesine ve anne ve fetus sağlığına yönelik riskleri minimize edilmesine yardımcı olur (Drukker, 2022; Sakai vd., 2022). Kardiyak ultrason (EKO) görüntülerinde, kalp kapakçıklarının işlevlerini analiz ederek hekimlere destek sağlamaktadır ve kardiyak anomalilerin erken teşhisini sağlayarak tedavi süreçlerini hızlandırır (Mor-Avi vd., 2023). Hepatolojik ultrasonu açısından kullanımında, yağlanma ve fibroz derecelendirilmesi gibi karaciğer hastalıklarını sınıflandırmak için kullanılabilir (Alshagathrh & Househ, 2022; Cao vd., 2022; Song vd., 2022). Endoskopik görüntüleme yapay zekâ kullanımı, özellikle gastrointestinal sistem kanserlerinin erken teşhisi ve poliplerin tespitinde kullanılmaktadır. Kolonoskopi uygulamaları sırasında, yapay zekâ poliplerin konumunu ve boyutunu

belirleyerek kanser öncesi lezyonların çıkarılmasına yardımcı olur. Gastroskopi sırasında kullanılan yapay zekâ algoritmaları mide ülseri, gastrit veya mide kanseri belirtilerini değerlendirerek hızlı ve doğru teşhis imkânı sağlar. Bronkoskopi sırasında, yapay zekâ destekli sistemler akciğer dokusunda gözlemlenen anormallikleri işaret ederek biyopsi için uygun alanların belirlenmesini mümkün kılar (Barua vd., 2021; Bhadra, 2019; Hsiao vd., 2021; Suzuki vd., 2021; Tan vd., 2018).

## 2. FİZYOLOJİK SİNYAL İZLEYİCİLERİ

Fizyolojik sinyal izleyicileri, hastadan alınan değişkenleri (elektrik, sıcaklık, basınç vb.) ölçen ve hastanın temel yaşam bulgularını değerlendiren cihazlardır. Sağlık uzmanlarına anlık bilgi vererek teşhis süreçlerinde kullanılır.

Elektrokardiyografi (EKG), kalbin elektriksel aktivitesini yüzey elektrotlar ile ölçen fizyolojik sinyal izleyici cihazlardır. Kalp krizleri, aritmiler ve diğer kardiyovasküler hastalıkların teşhisinde ve takibinde kullanılmaktadır.

Elektronörogram (ENG), sinir sistemi iletimi sırasında meydana gelen aksiyon potansiyellerinin elektriksel işaretleri ölçer, çoğunlukla Elektromiyografi (EMG) cihazı ile aynı cihaz içinde yer alır. ENG cihazı, nöropatiler, sinir sıkışmaları ve periferik sinir hasarlarının teşhisine dair ayrıntılı bilgiler sağlar. EMG, kasların kasılması sırasında meydana gelen elektriksel aktivitesini ölçerek kas-iskelet sistemi ve sinir sistemi arasındaki iletişimi değerlendirir. Sinir ve kas fonksiyonlarının bütüncül bir analizini sunarak nörolojik ve kas hastalıklarının tanısında ve teşhisinde tamamlayıcı rol oynamaktadır.

Elektroensefalografi (EEG), beynin elektriksel aktivitesini yüzey elektrotları aracılığıyla ölçer ve bu sinyalleri kaydeder. EEG, özellikle epilepsi, beyin hasarı, uyku bozuklukları ve nörolojik hastalıkların teşhis ve takibinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlar, beyin aktivitesindeki anormalliklerin tespitinde hassas ve etkili bir çözüm sunarak nörolojik hastalıkların erken teşhisi ve izlenmesine katkı sağlamaktadır.

Elektroretinografi (ERG) ve Elektrookülografi (EOG) Gözün elektrofizyolojisini ölçmek için kullanılan sistemlerdir. ERG, retina üzerine düşen ışığın oluşturduğu elektriksel potansiyel yüzey elektrodu ve özel bir kontak lens sistemi ile ölçer. Kontak lens ile göz önü ve arkası arasındaki retina potansiyeli ölçülebilir. EOG, göz kornea ile retina arasındaki elektriksel potansiyeli kaydeder. ERG ve EOG, retinanın farklı bölümlerinin fonksiyonlarını değerlendiren önemli testlerdir. ERG, hızlı ışık yanıtlarını ölçerken, EOG, karanlık ve aydınlık koşullardaki yavaş potansiyel değişikliklerini değerlendirir. Her iki test de retinal hastalıkların teşhisinde ve izlenmesinde kritik rol oynar.

Tansiyon aleti kan basıncı ölçmek için kullanılır. İnvaziv ve non-invaziv yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. İnvaziv tansiyon ölçüm aleti, doğrudan

damar içine yerleştirilen bir kateter aracılığıyla kan basıncını algılayarak ölçüm yapar. Özellikle cerrahi müdahaleler sırasında veya yoğun bakım birimlerinde kullanılan, yüksek doğruluğa sahip bir tekniktir. Damar içi kan basıncını anlık olarak izleme imkânı sunar. Non-invaziv tansiyon ölçüm aleti, genellikle kol ve ayak bileği üzerine manşet (manşon) bağlanır. Manşet şişirilerek damara uygulanan basınç ile kan basıncını algılayarak ölçüm yapar. Günlük kullanımda ve klinik uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Otomatik ve manuel olmak üzere farklı türleri bulunmaktadır.

Holterler, hastanın mobil olarak taşıyabildiği, EKG işaretini ölçer ve kaydederek kalp ritmini uzun süreli (24-48 saat) izler. Aritmi ve geçici kalp ritmi bozukluklarının tespitinde kullanılmaktadır.

Hastabaşı monitörler, yoğun bakım ünitelerinde hastanın temel yaşam bulgularına ait parametreleri takip eden cihaz sistemidir. EKG, kan basıncı, vücut sıcaklığı, SpO<sub>2</sub>, sCO<sub>2</sub>, solunum döngüsü takip edilen standart parametrelerdir.

Spirometreler akciğer fonksiyonlarının değerlendirilmesi için kullanılan cihazlardır. Solunum sistemindeki hava akışı ve volümleri değerlendirerek hastanın hava alma ve verme hacim grafi eksen üzerine çizdirilir. Obstrüktif ve restriktif akciğer hastalıklarının teşhisinde kritik bir rol oynar.

Fotopletismografi (PPG), doku yoğunluğu grafi haline getirilmesi ile ölçülen fizyoloji parametredir. Kan hacmi değişikliklerini belirlemek için kullanılan yöntemdir. Bu ölçme yöntemin ölçümü hastabaşı monitörler SpO<sub>2</sub> parmak elektrotları ile gerçekleşir.

### **2.1. Fizyolojik Sinyal İzleyiciler ve Yapay Zekâ Uygulamaları**

İnsan vücudunda oluşan biyolojik sinyaller hastalıkların ön-tanılanmasında, prognoz sürecinin izlenmesinde hayati önem taşımaktadır. Bu yüzden fizyolojik sinyal izleyici cihazlar, kalp, beyin, kas, solunum ve diğer fizyolojik sistemlerin aktivitelerini izleme cihazları kullanılmaktadır. Son yıllarda bu cihazlardan elde edilen sinyal verilerinin analizi, yapay zekâ teknolojileri ile birleştirilerek daha hızlı, hassas ve etkili hale gelmiştir. Fizyolojik sinyal izleyici cihazlar, sürekli ve anlık veri toplamaya yardımcı olur. Biyolojik olaylardaki anormallikleri tespiti ile erken tanılamayı sağlar. Farklı klinik durumların izlenmesi ve tanısında kullanılmaktadır. Yapay zekâ teknolojileri, bu fizyolojik sinyalden elde ederek sağlık hizmetlerini iyileştirmektedir. Yapay zekâ özellikle büyük verileri daha hızlı analizi ile sağlık uzmanlarının yükünü hafifleterek daha doğru teşhislerin konulmasına katkıda bulunmaktadır. EKG sinyallerindeki EKG sinyallerindeki aritmileri, miyokard enfarktüsü ve diğer kardiyak anormallikleri sınıflandırmada yapay zekâ kullanılmaktadır. Derin öğrenme algoritmaları ile EKG sinyalleri tespit edilerek hastalığın erken teşhisine olanak sağlar (Ansari vd., 2023; Lih vd., 2020; Mathews vd.,

2018). EEG verilerinde yapay zekâ uygulamaları ile epilepsi, uyku bozuklukları ve nörolojik hastalıkların tespiti için kullanılmaktadır. Sinyal dalgalarını analiz ederek beyin aktivitesindeki anormalinin ön tanılanmasına yardımcı olur (Abbasi & Goldenholz, 2019; Miltiadous vd., 2022; Rasheed vd., 2020; Ullah vd., 2018). PPG sinyalleri, oksijen satürasyonu, nabız ve periferik kan akışını değerlendirmek için kullanılır (Nasir vd., 2024; Qin vd., 2022).

### 3. TEDAVİ VE TERAPİ SİSTEMLERİ

Tedavi ve terapi sistemleri, sağlık hizmetlerinde hastalıkların tedavisini ve rehabilitasyon süreçlerini desteklenmesi için kullanılan çeşitli cihaz ve yöntemleri kapsamaktadır. Bu sistemler genellikle fizik tedavi ve rehabilitasyon alanlarında kullanılmasına rağmen, radyoterapi gibi diğer alanlarda da sıklıkla kullanılmaktadır.

Fizik tedavi ve rehabilitasyon alanlarında, hastaların hareket kabiliyetlerini geliştirmek, kas-iskelet sistemi ile ilgili sorunlarını çözmek ve yaşam standartlarını yükseltmek için kullanılan yöntemlerden oluşmaktadır.

Radyoterapi ve brakiterapi ekipmanları, iyonize radyasyon kullanılarak kanserli dokuların yok edilmesi için tasarlanmıştır. Radyoterapi cihazlarında radyoaktif kaynak, hastanın vücudunun dışında bir kurşun koruyucu kılıf içinde bulunur ve tedavi süresince dışarıdan uygulanır. Brakiterapi cihazlarında, radyoaktif çekirdek minimal invaziv olarak tümörün içine yerleştirilir. Bu teknik, tedavi etkinliğini artırırken çevre dokulara verilen hasarı en aza indirmeyi hedefler.

Fototerapi ise, UV ışınlarının cilt üzerine uygulanarak hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır. Fototerapi, iyonize edici olmayan ve genellikle cilt hastalıklarının tedavisinde tercih edilmektedir.

Hiperbarik oksijen terapi sistemleri, yüksek basınçlı oksijen uygulayarak yara iyileşmesini hızlandırır ve bazı kanser türlerinin tedavisinde kullanılır. Yüksek basınçlı oksijen, yara iyileşmesini hızlandırır, enfeksiyon riskini azaltır ve dokuların oksijenasyonunu artırır.

#### 3.1. Tedavi ve Terapi Sistemleri ve Yapay Zekâ Uygulamaları

Tedavi ve terapi sistemlerinde yapay zekâ kullanımı sağlık hizmetlerinin daha hızlı ve kişiselleştirilmiş olarak yürütülmesine katkı sağlamaktadır. Radyoterapi yapay zekâ kullanımı sürecinin planlamasını ve brakiterapi de doz optimizasyonu sağlayabilir (Akhavanallaf vd., 2021; Fan vd., 2019; Wang vd., 2020). Fototerapide ise, cilt hastalıklarının tedavisinde kullanılan UV ışınlarının yoğunluğunu ve süresini optimize edebilir. Algoritmalar, cilt yüzeyindeki lezyonları analiz ederek kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarının planlanmasını sağlayabilir (Mancha & Filipe, 2023).

#### 4. YAŞAM DESTEK CİHAZLARI

Yaşam destek cihazları, hastaların temel yaşam fonksiyonlarını sürdürebilmesi için kullanılan kritik öneme sahip medikal cihazlardır. Bu cihazlar, bazen tedavi edici cihazlar kategorisinde de değerlendirilebilmektedir ve her iki grup arasında geçişkenlik bulunmaktadır.

Defibrilatörler, kalbin ritmini kaybetmesi durumunda elektriksel şok uygulayarak ritmi normale döndürmek için tasarlanmış cihazlardır. Bu durum, atriyal fibrilasyon ve ventriküler fibrilasyon olmak üzere iki ana türe ayrılır. Defibrilatörler, kullanım alanlarına göre manuel ve otomatik harici defibrilatörler sınıflandırılabilir. Manuel defibrilatörler, sağlık kuruluşlarında uzmanlar tarafından kullanılırken, otomatik harici defibrilatörler kamuya açık yerlerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir (Altural Özkan, 2023; Devocioğlu, 2022).

Ventilatörler, hastaların kendi başlarına solunum yapamadığı durumlarda mekanik solunum desteği sağlayan cihazlardır. Bu cihazlar, akciğerleri mekanik yöntemle doldurup boşaltarak yapay solunum işlemi gerçekleştirir. Ventilatorler, uygulanan hava basıncına göre basınç kontrollü ve hacim kontrollü olarak ikiye ayrılır (Altural Özkan, 2023; Devocioğlu, 2022).

Diyaliz cihazları, böbreklerin yeterince işlev göremediği durumlarda kanı toksinlerden arındırmak için kullanılır. Kanı süzmek amacıyla özel bir zar (membran) barındırır ve bu zar, üre ve ürik asit gibi küçük moleküllerin geçişine izin verirken, kan hücrelerini geçirgen olmayan bir bariyerle ayırır. Diyaliz sıvısı (diyalizat) ise distile su kullanılarak hazırlanır ve filtrasyon işlemi tamamlanır (Altural Özkan, 2023; Devocioğlu, 2022).

İnfüzyon pompaları, intravenöz (damar içi) ilaç uygulamalarını otomatik hale getiren cihazlardır. İnfüzyon pompaları, oto enjektörler ve volümetrik infüzyon pompaları olarak bulunmaktadır. Bu cihazlar, özellikle kemoterapi gibi hassas dozaj gerektiren tedavi süreçlerinde kullanılmaktadır ve verilen ilaç miktarı genellikle mililitre/saat cinsinden ölçülmektedir (Altural Özkan, 2023; Devocioğlu, 2022).

Ekstrakorporal membran oksijenasyonu (ECMO) cihazları, kanı vücut dışında dolaştırarak oksijenlendiren ve karbondioksitten arındıran yaşam destek cihazlarıdır. Cihazın ana işlevi, kanı bir membran aracılığıyla oksijenle zenginleştirip vücuda geri kazandırmaktır. Bu cihazlar, özellikle solunum yetmezliği durumlarında tercih edilmektedir (Altural Özkan, 2023; Devocioğlu, 2022).

##### 4.1. Yaşam Destek Sistemleri ve Yapay Zekâ Uygulamaları

Yaşam destek sistemleri, hastaların hayati fonksiyonlarını sürdürebilmesi amacıyla kullanılan tıbbi cihazlar, teknolojiler ve süreçlerin toplamıdır.



Bu sistemler, özellikle acil durumdaki hastalarda organların işlevlerini geçici olarak desteklemek veya yerine getirmek için tasarlanmıştır. Yaşam destek sistemleri, modern tıbbın ayrılmaz bir unsuru olup, insan hayatını kurtarma ve uzatma konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ uygulamaları yaşam destek cihazlarının etkinliğini ve kullanım kolaylığını artırmıştır. Yapay zekâ, cihazların kullanımını optimize ederken, daha doğru ve hızlı sonuçlar edilmesine olanak tanımaktadır. Otomatik harici defibrilatörlerde (AED) yapay zekâ kullanımı, kalbin aritmi durumunu hızlıca analiz ederek gerekli müdahalenin türünü otomatik olarak belirlemektedir (Brown vd., 2022). Ventilatörlerin yapay zekâ destekli olması, hastanın solunum verilerini sürekli izleyerek basınç ve hacim ayarlarını gerçek zamanlı olarak optimize edebilir. Bu, hastanın konforunu artırırken ventilatör kaynaklı yaralanma riskini azaltabilir (Liu vd., 2022). Diyaliz cihazlarında yapay zekâ kullanımı ile böbrek hastalarının tedavi süreçlerinin bireysel olarak uygulanmasını ve sürecin iyileştirilmesini hatta giyilebilir teknolojiler ile entegrasyonu sağlamıştır (Hammouda & Neyra, 2022; Hueso vd., 2019; Moghaddam, 2022). İnfüzyon pompalarında ise, ilaç dozlarının hastanın bireysel ihtiyaçlarına göre ayarlanmasına yardımcı olur (Babu vd., 2021; Hrvat vd., 2020; Nair vd., 2023; Ohashi vd., 2014). ECMO cihazlarında yapay zekâ algoritmaları ile kan oksijen seviyelerini sürekli olarak analiz ederek cihazın performansını optimize eder ve sağlık personeline erken uyarılar sağlar (Özşahin vd., 2023).

## 5. AMELİYATHANE CİHAZLARI

Ameliyathanelerde yalnızca kullanılan cihazlar değildir, aynı zamanda fiziksel çevre koşulları da büyük bir rol oynar. Sterilizasyon, sıcaklık kontrolü ve hava kalitesi gibi etmenlerin titizlikle izlenmesi ve ameliyathane ortamının enfeksiyon riskinden korunması gerekir. Ameliyathaneler, bu nitelikleri sayesinde sadece cerrahi işlemler için değil, aynı zamanda steril bir tedavi ortamı oluşturmak için de tasarlanmıştır. Elektrokoter cihazları, elektrocerrahi işlemler için tasarlanmış sistemlerdir. Elektrik akımının vücuda girişi sırasında, temas noktalarında yüksek ısıya sebep olur. Bu ısının etkisiyle hücrelerdeki suyun buharlaşmasına yol açar, hücrelerin hacimlerini kaybetmelerine neden olur. ve kesme işlemi gerçekleştirilir. Bu cihazlar, kesi işlemlerinin daha az çaba ile yapılmasına olanak tanırken, kanama ve enfeksiyon riskini de azaltır. Ancak, dezavantaj olarak hem hastalar hem de sağlık profesyonelleri için olası elektrik tehlikeleri bulunabilmektedir. Hastabaşı monitörler, cerrahinin gerçekleştirilmesi sırasında anestezi derinliğini izleyebilen modüllere sahiptir. Anestezi cihazları temelde ventilatör cihazlarıdır. Hava ile anestezik gazların karışımını hastaya solutma işlevini yerine getirirler. Günümüzde azotprotoksit, yaygın kullanılan bir anestezik gazdır, ancak tek başına yeterli olmadığından ek anestezik ajanlar da buharlaştırıcı üniteler (vaporizer) aracılığıyla hastaya verilmektedir. Cerrahi aspiratörler, ameliyat sırasında cerra-

hi alanlardaki sıvıları emerek uzaklaştırmak ve toplamak amacıyla kullanılır. Ameliyathane lambaları, cerrahi alanı gölgesiz bir şekilde aydınlatır. Bu lambalar, soğuk ışık yayarak ameliyat sırasında ısınmayı önler ve dokuların doğal renklerinin net bir şekilde görünmesini sağlar. Genellikle tavan askıları üzerinde konumlandırılır. Ameliyathane masaları ise hareket kabiliyeti sağlayan mekanizmalara göre sınıflandırılabilir. Ameliyathaneler, uzmanlık alanına göre düzenlenir ve cihaz ve malzeme içeriklerinde farklılıklar olabilir. Kardiyoloji ameliyathanesinde by-pass operasyonları sırasında hastanın perfüzyonunu sağlamak için kalp-akciğer pompası kullanılmaktadır. Göz ameliyathanesinde fakoemülsifikasyon (FAKO) cihazı da yer almaktadır. Çoğu ameliyathanede cerrahi testereler ve kesiciler bulunmaktadır (Altural Özkan, 2023; Devocioğlu, 2022).

### 5.1. Ameliyathane Cihazları ve Yapay Zekâ Uygulamaları

Ameliyathane cihazlarının yapay zekâ destekli olması, cihazların performansını artırmak ve cerrahi süreçleri iyileştirmek için kullanılabilir. Elektrokoter cihazları yapay zekâ uygulamaları ile ısı dağılımını gerçek zamanlı olarak değerlendirerek çevre dokuların zarar görmesini engelleyebilir. Cerrahın kesme derinliğini ve genişliğini optimize ederek daha hassas ve kontrollü müdahaleler gerçekleştirme şansına sahip olur (El-Kebir vd., 2022). Hastabası monitörler ve anestezi cihazlarında yapay zekâ kullanımı, hastanın hayati verilerini inceleyerek anestezi dozajını otomatik olarak ayarlayabilir. Hayati bulguları tahmin eden yapay zekâ sistemleri, kalp durması veya oksijen saturasyonu düşüşü gibi durumları önceden tespit ederek cerrah ve anestezi uzmanlarını uyarabilir (Garg & Kapoor, 2024; Gupta vd., 2023; Hashimoto vd., 2020; Shaik vd., 2023; Singhal vd., 2023). Da Vinci robotik cerrahi sistemi, CorPath GRX robotik vasküler sistemi gibi sistemler cerrahın kontrolündeki hareketlerin hassasiyetini artırır ve uzun süren ameliyatlarda kullanılır. Robotik destekli cerrahide yapay zekâ kullanımı, ameliyat konforunu ve hareketlerin hassasiyetini artırabilmektedir. Akıllı Doku Otonom Robotu (STAR) gibi yapay zekâ destekli sistemlerin gelişimi ile otonom cerrahi gerçekleştirebilmektedir (Moglia vd., 2021; Panesar vd., 2019; Rasouli vd., 2021). Ameliyathane içinde yapay zekâ destekli uygulama henüz sınırlı olmakla beraber cerrahi hassasiyetini artırabilir (Birkhoff vd., 2021; Ward vd., 2021). Cerrahi ve tıp eğitimde simülasyon kullanımı, süreci daha etkili hale getirir (Barteit vd., 2021; Ryu vd., 2017; Theodoulou vd., 2018)

## KAYNAK

- Agrawal, D., Poonamallee, L., & Joshi, S. (2023). Automated detection of intracranial hemorrhage from head CT scans applying deep learning techniques in traumatic brain injuries: A comparative review. *Indian Journal of Neurotrauma*.
- Akhavanallaf, A., Mohammadi, R., Shiri, I., Salimi, Y., Arabi, H., & Zaidi, H. (2021). Personalized brachytherapy dose reconstruction using deep learning. *Computers in Biology and Medicine*, 136, 104755.
- Altural Özkan, H. (Ed.). (2023). *Biyomedikal mühendisliğine giriş*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Amukotuwa, S. A., Straka, M., Smith, H., Chandra, R. V., Dehkharghani, S., Fischbein, N. J., & Bammer, R. (2019). Automated detection of intracranial large vessel occlusions on computed tomography angiography: A single center experience. *Stroke*, 50(10), 2790–2798.
- Ansari, Y., Mourad, O., Qaraqe, K., & Serpedin, E. (2023). Deep learning for ECG arrhythmia detection and classification: An overview of progress for the period 2017–2023. *Frontiers in Physiology*, 14, 1246746.
- Babu, C. G., Kumar, J. D., Balaji, V. R., Priyadharsini, K., & Karthi, S. P. (2021). Performance analysis of smart intravenous infusion systems using machine learning. *2021 Smart Technologies, Communication and Robotics (STCR)*, 1–7. IEEE.
- Baker, D., Chen, W. B., & Gao, H. (2024, August). Early Alzheimer's detection: The promise of AI-powered MRI analysis. *2024 IEEE 7th International Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR)*, 638–641. IEEE.
- Bankman, I. (Ed.). (2008). *Handbook of medical image processing and analysis*. Elsevier.
- Barteit, S., Lanfermann, L., Bärnighausen, T., Neuhann, F., & Beiersmann, C. (2021). Augmented, mixed, and virtual reality-based head-mounted devices for medical education: Systematic review. *JMIR Serious Games*, 9(3), e29080.
- Barua, I., Vinsard, D. G., Jodal, H. C., Løberg, M., Kalager, M., Holme, Ø., & Mori, Y. (2021). Artificial intelligence for polyp detection during colonoscopy: A systematic review and meta-analysis. *Endoscopy*, 53(03), 277–284.
- Becker, J., Decker, J. A., Römmele, C., Kahn, M., Messmann, H., Wehler, M., & Scheurig-Muenkler, C. (2022). Artificial intelligence-based detection of pneumonia in chest radiographs. *Diagnostics*, 12(6), 1465.
- Bhadra, K. (2019). Artificial intelligence improves patient outcomes for diagnostics of pulmonary nodules during navigational bronchoscopy. *A72. Advances in Interventional Pulmonary*, A2360.
- Birkhoff, D. C., van Dalen, A. S. H., & Schijven, M. P. (2021). A review on the current applications of artificial intelligence in the operating room. *Surgical Innovation*, 28(5), 611–619.

- Bronzino, J. D., & Peterson, D. R. (2014). *Biomedical engineering fundamentals*. CRC Press.
- Cao, L. L., Peng, M., Xie, X., Chen, G. Q., Huang, S. Y., Wang, J. Y., & Dietrich, C. F. (2022). Artificial intelligence in liver ultrasound. *World Journal of Gastroenterology*, 28(27), 3398.
- Cellina, M., Cacioppa, L. M., Cè, M., Chiarpenello, V., Costa, M., Vincenzo, Z., & Floridi, C. (2023). Artificial intelligence in lung cancer screening: The future is now. *Cancers*, 15(17), 4344.
- Cheng, Z., Wen, J., Huang, G., & Yan, J. (2021). Applications of artificial intelligence in nuclear medicine image generation. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 11(6), 2792.
- Chumbita, M., Cillóniz, C., Puerta-Alcalde, P., Moreno-García, E., Sanjuan, G., Garcia-Pouton, N., & Garcia-Vidal, C. (2020). Can artificial intelligence improve the management of pneumonia? *Journal of Clinical Medicine*, 9(1), 248.
- Colquitt, J., Jordan, M., Court, R., Loveman, E., Parr, J., Ghosh, I., & Stinton, C. (2024). Artificial intelligence software for analyzing chest X-ray images to identify suspected lung cancer: An evidence synthesis early value assessment. *Health Technology Assessment*, 28(50), 1.
- Currie, G., & Rohren, E. (2021). Intelligent imaging in nuclear medicine: The principles of artificial intelligence, machine learning, and deep learning. *Seminars in Nuclear Medicine*, 51(2), 102–111.
- Devocioğlu, İ. (Ed.). (2022). *Biyomedikal mühendisliğinin temelleri*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Drukker, L. (2022). Real-time identification of fetal anomalies on ultrasound using artificial intelligence: What's next? *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, 59(3), 285–287.
- El-Kebir, H., Ran, J., Lee, Y., Chamorro, L. P., Ostoja-Starzewski, M., Berlin, R., & Bentsman, J. (2022). Minimally invasive live tissue high-fidelity thermophysical modeling using real-time thermography. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 70(6), 1849–1857.
- Enderle, J., & Bronzino, J. (Eds.). (2012). *Introduction to biomedical engineering*. Academic Press.
- Fan, J., Wang, J., Chen, Z., Hu, C., Zhang, Z., & Hu, W. (2019). Automatic treatment planning based on three-dimensional dose distribution predicted from deep learning technique. *Medical Physics*, 46(1), 370–381.
- Fletcher-Sandersjö, A., Tatter, C., Tjerkaski, J., Bartek Jr, J., Svensson, M., Thelin, E. P., & Bellander, B. M. (2022). Clinical significance of vascular occlusive events following moderate-to-severe traumatic brain injury: An observational cohort study. *Seminars in Thrombosis and Hemostasis*, 48(3), 301–308.
- Fotaki, A., Puyol-Antón, E., Chiribiri, A., Botnar, R., Pushparajah, K., & Prieto, C. (2022). Artificial intelligence in cardiac MRI: Is clinical adoption forthcoming?

*Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 8, 818765.

- Garg, S., & Kapoor, M. C. (2024). Role of artificial intelligence in perioperative monitoring in anesthesia. *Indian Journal of Anaesthesia*, 68(1), 87–92.
- Geppert, J., Asgharzadeh, A., Brown, A., Stinton, C., Helm, E. J., Jayakody, S., & Taylor-Phillips, S. (2024). Software using artificial intelligence for nodule and cancer detection in CT lung cancer screening: Systematic review of test accuracy studies. *Thorax*, 79(11), 1040–1049.
- Gudigar, A., Raghavendra, U., Hegde, A., Menon, G. R., Molinari, F., Ciaccio, E. J., & Acharya, U. R. (2021). Automated detection and screening of traumatic brain injury (TBI) using computed tomography images: A comprehensive review and future perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6499.
- Gupta, B., Sahay, N., Vinod, K., Sandhu, K., Basireddy, H. R., & Mudiganti, R. K. R. (2023). Recent advances in system management, decision support systems, artificial intelligence, and computing in anesthesia. *Indian Journal of Anaesthesia*, 67(1), 146–151.
- Han, D., Liu, J., Sun, Z., Cui, Y., He, Y., & Yang, Z. (2020). Deep learning analysis in coronary computed tomographic angiography imaging for the assessment of patients with coronary artery stenosis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 196, 105651.
- Hashimoto, D. A., Witkowski, E., Gao, L., Meireles, O., & Rosman, G. (2020). Artificial intelligence in anesthesiology: Current techniques, clinical applications, and limitations. *Anesthesiology*, 132(2), 379–394.
- Hueso, M., Navarro, E., Sandoval, D., & Cruzado, J. M. (2019). Progress in the development and challenges for the use of artificial kidneys and wearable dialysis devices. *Kidney Diseases*, 5(1), 3–10.
- Hsiao, Y. J., Wen, Y. C., Lai, W. Y., Lin, Y. Y., Yang, Y. P., Chien, Y., & Jheng, Y. C. (2021). Application of artificial intelligence-driven endoscopic screening and diagnosis of gastric cancer. *World Journal of Gastroenterology*, 27(22), 2979.
- Infante, T., Cavaliere, C., Punzo, B., Grimaldi, V., Salvatore, M., & Napoli, C. (2021). Radiogenomics and artificial intelligence approaches applied to cardiac computed tomography angiography and cardiac magnetic resonance for precision medicine in coronary heart disease: A systematic review. *Circulation: Cardiovascular Imaging*, 14(12), 1133–1146.
- Lih, O. S., Jahmunah, V., San, T. R., Ciaccio, E. J., Yamakawa, T., Tanabe, M., & Acharya, U. R. (2020). Comprehensive electrocardiographic diagnosis based on deep learning. *Artificial Intelligence in Medicine*, 103, 101789.
- Liu, C. F., Hung, C. M., Ko, S. C., Cheng, K. C., Chao, C. M., Sung, M. I., & Chiu, C. C. (2022). An artificial intelligence system to predict the optimal timing for mechanical ventilation weaning for intensive care unit patients: A two-stage prediction approach. *Frontiers in Medicine*, 9, 935366.

- MacIntosh, B. J., Liu, Q., Schellhorn, T., Beyer, M. K., Groote, I. R., Morberg, P. C., & Bjørnerud, A. (2023). Radiological features of brain hemorrhage through automated segmentation from computed tomography in stroke and traumatic brain injury. *Frontiers in Neurology*, *14*, 1244672.
- Ma, T., Wang, H., & Ye, Z. (2023). Artificial intelligence applications in computed tomography in gastric cancer: A narrative review. *Translational Cancer Research*, *12*(9), 2379.
- Maier, A., Steidl, S., Christlein, V., & Hornegger, J. (Eds.). (2018). *Medical imaging systems: An introductory guide*.
- Mancha, D., & Filipe, P. (2023). Phototherapy in the artificial intelligence era. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, *39*(5).
- Mathew, C. J., David, A. M., & Mathew, C. M. J. (2020). Artificial intelligence and its future potential in lung cancer screening. *EXCLI Journal*, *19*, 1552.
- Mathews, S. M., Kambhamettu, C., & Barner, K. E. (2018). A novel application of deep learning for single-lead ECG classification. *Computers in Biology and Medicine*, *99*, 53–62.
- Moghaddam, M. (2022, October). Design and implementation of wearable artificial kidney telemonitoring system. *2022 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)*, 1–5. IEEE.
- Moglia, A., Georgiou, K., Georgiou, E., Satava, R. M., & Cuschieri, A. (2021). A systematic review on artificial intelligence in robot-assisted surgery. *International Journal of Surgery*, *95*, 106151.
- Mor-Avi, V., Khandheria, B., Klempfner, R., Cotella, J. I., Moreno, M., Ignatowski, D., & Lang, R. M. (2023). Real-time artificial intelligence–based guidance of echocardiographic imaging by novices: Image quality and suitability for diagnostic interpretation and quantitative analysis. *Circulation: Cardiovascular Imaging*, *16*(11), e015569.
- Nasir, N., Sameer, M., Barneih, F., Alshaltone, O., & Ahmed, M. (2024). Deep learning classification of photoplethysmogram signals for hypertension levels. *arXiv preprint arXiv:2405.14556*.
- Nair, V. S., Pathinarupothi, R. K., Rekha, P., & Madathil, T. (2023, April). Personalized algorithms and techniques for development of a smart infusion pump for ICU. *2023 IEEE 8th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 1–7. IEEE.
- Odusami, M., Maskeliūnas, R., & Damaševičius, R. (2022). An intelligent system for early recognition of Alzheimer's disease using neuroimaging. *Sensors*, *22*(3), 740.
- Ohashi, K., Dalleur, O., Dykes, P. C., & Bates, D. W. (2014). Benefits and risks of using smart pumps to reduce medication error rates: A systematic review. *Drug Safety*, *37*, 1011–1020.
- Palumbo, B., Bianconi, F., Nuvoli, S., Spanu, A., & Fravolini, M. L. (2021). Artificial

intelligence techniques support nuclear medicine modalities to improve the diagnosis of Parkinson's disease and Parkinsonian syndromes. *Clinical and Translational Imaging*, 9, 19–35.

- Panagiotidis, E., Papachristou, K., Makridou, A., Zoglopitou, L. A., Paschali, A., Kalathas, T., & Chatzipavlidou, V. (2024). Review of artificial intelligence clinical applications in nuclear medicine. *Nuclear Medicine Communications*, 45(1), 24–34.
- Panesar, S., Cagle, Y., Chander, D., Morey, J., Fernandez-Miranda, J., & Kliot, M. (2019). Artificial intelligence and the future of surgical robotics. *Annals of Surgery*, 270(2), 223–226.
- Paudyal, R., Shah, A. D., Akin, O., Do, R. K., Konar, A. S., Hatzoglou, V., & Shukla-Dave, A. (2023). Artificial intelligence in CT and MR imaging for oncological applications. *Cancers*, 15(9), 2573.
- Prince, J. L., & Links, J. M. (2006). *Medical imaging signals and systems* (Vol. 37). Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Qin, C., Wang, X., Xu, G., & Ma, X. (2022). Advances in cuffless continuous blood pressure monitoring technology based on PPG signals. *BioMed Research International*, 2022(1), 8094351.
- Rasheed, K., Qayyum, A., Qadir, J., Sivathamboo, S., Kwan, P., Kuhlmann, L., & Razi, A. (2020). Machine learning for predicting epileptic seizures using EEG signals: A review. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 14, 139–155.
- Ryu, W. H. A., Dharampal, N., Mostafa, A. E., Sharlin, E., Kopp, G., Jacobs, W. B., & Sutherland, G. R. (2017). Systematic review of patient-specific surgical simulation: Toward advancing medical education. *Journal of Surgical Education*, 74(6), 1028–1038.
- Saltzman, W. M. (2009). *Biomedical engineering: Bridging medicine and technology*. Cambridge University Press.
- Seifert, R., Weber, M., Kocakavuk, E., Rischpler, C., & Kersting, D. (2021). Artificial intelligence and machine learning in nuclear medicine: Future perspectives. *Seminars in Nuclear Medicine*, 51(2), 170–177.
- Shaik, T., Tao, X., Higgins, N., Li, L., Gururajan, R., Zhou, X., & Acharya, U. R. (2023). Remote patient monitoring using artificial intelligence: Current state, applications, and challenges. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 13(2), e1485.
- Sharma, S. (2023). Artificial intelligence for fracture diagnosis in orthopedic X-rays: Current developments and future potential. *SICOT-J*, 9.
- Sheth, D., & Giger, M. L. (2020). Artificial intelligence in the interpretation of breast cancer on MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 51(5), 1310–1324.
- Singhal, M., Gupta, L., & Hirani, K. (2023). A comprehensive analysis and review of artificial intelligence in anaesthesia. *Cureus*, 15(9).
- Song, J., Zhang, Y., Cheng, J., Wang, S., Liu, Z., & Sun, D. (2022). Non-invasive qu-

- antitative diagnosis of liver fibrosis with an artificial neural network. *Neural Computing and Applications*, 1–12.
- Suzuki, H., Yoshitaka, T., Yoshio, T., & Tada, T. (2021). Artificial intelligence for cancer detection of the upper gastrointestinal tract. *Digestive Endoscopy*, 33(2), 254–262.
- Tan, T., Li, Z., Liu, H., Zanjani, F. G., Ouyang, Q., Tang, Y., & Li, Q. (2018). Optimize transfer learning for lung diseases in bronchoscopy using a new concept: Sequential fine-tuning. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 6, 1–8.
- Theodoulou, I., Nicolaides, M., Athanasiou, T., Papalois, A., & Sideris, M. (2018). Simulation-based learning strategies to teach undergraduate students basic surgical skills: A systematic review. *Journal of Surgical Education*, 75(5), 1374–1388.
- Tieu, A., Kroen, E., Kadish, Y., Liu, Z., Patel, N., Zhou, A., & Deyer, T. (2024). The role of artificial intelligence in the identification and evaluation of bone fractures. *Bioengineering*, 11(4), 338.
- Ullah, I., Hussain, M., & Aboalsamh, H. (2018). An automated system for epilepsy detection using EEG brain signals based on deep learning approach. *Expert Systems with Applications*, 107, 61–71.
- Umadevi, N., & Geethalakshmi, S. N. (2012). Multiple classification system for fracture detection in human bone X-ray images. *2012 Third International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (IC3-CNT'12)*, 1–8. IEEE.
- Wang, L., Zhang, Y., Wang, D., Tong, X., Liu, T., Zhang, S., & Clarke, M. (2021). Artificial intelligence for COVID-19: A systematic review. *Frontiers in Medicine*, 8, 704256.
- Wang, M., Zhang, Q., Lam, S., Cai, J., & Yang, R. (2020). A review on application of deep learning algorithms in external beam radiotherapy automated treatment planning. *Frontiers in Oncology*, 10, 580919.
- Ward, T. M., Mascagni, P., Ban, Y., Rosman, G., Padoy, N., Meireles, O., & Hashimoto, D. A. (2021). Computer vision in surgery. *Surgery*, 169(5), 1253–1256.
- Wolz, R., Julkunen, V., Koikkalainen, J., Niskanen, E., Zhang, D. P., Rueckert, D., & Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2011). Multi-method analysis of MRI images in early diagnostics of Alzheimer's disease. *PLOS ONE*, 6(10), e25446.
- Xie, Y., Li, X., Chen, F., Wen, R., Jing, Y., Liu, C., & Wang, J. (2024). Artificial intelligence diagnostic model for multi-site fracture X-ray images of extremities based on deep convolutional neural networks. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 14(2), 1930.
- Zegers, C. M. L., Posch, J., Traverso, A., Eekers, D., Postma, A. A., Backes, W., & van Elmpt, W. (2021). Current applications of deep-learning in neuro-oncological MRI. *Physica Medica*, 83, 161–173.