

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

ALÜMİNYUM OKSİT TABAKASININ MORFOLOJİK FARKLILIKLARININ
YÜZEY SERTLİĞİNE VE BAKTERİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS

Şevval KAYA

HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

**ALÜMİNYUM OKSİT TABAKASININ MORFOLOJİK FARKLILIKLARININ
YÜZEY SERTLİĞİNE VE BAKTERİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE MORPHOLOGICAL DIFFERENCE OF
ALUMINIUM OXIDE LAYER ON HARDNESS AND THE EFFECT OF THE
BACTERIAL GROWTH ON SURFACE**

YÜKSEK LİSANS

Şevval KAYA

HAZİRAN-2023

GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI**

**ALÜMİNYUM OKSİT TABAKASININ MORFOLOJİK FARKLILIKLARININ
YÜZEY SERTLİĞİNE VE BAKTERİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE MORPHOLOGICAL DIFFERENCE OF
ALUMINIUM OXIDE LAYER ON HARDNESS AND THE EFFECT OF THE
BACTERIAL GROWTH ON SURFACE**

YÜKSEK LİSANS

Şevval KAYA

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz Yunus SARIBIYIK

**HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Alüminyum Oksit Tabakasının Morfolojik Farklılıklarının Yüzey Sertliğine ve Bakteri Gelişimi Üzerine Etkilerinin Araştırılması**” isimli bu tezimi, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmalarını kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

20/06/2023

.....
Şevval KAYA

TEŞEKKÜR

Lisans, Yüksek Lisans çalışmalarım ve sektörde ihtiyaç duyduğum tüm süreçlerde bilgi, akademik birikim ve engin tecrübesiyle eğitimime, akademik çalışmalarına eşsiz katkılar sunan ve her zaman yanımda durarak desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen, zorluklarla karşılaştığımda üstesinden nasıl gelmem gerektiğini bana bütün samimiyetiyle gösteren çok değerli Sayın Dr. Öğr. Üyesi Oğuz Yunus SARIBIYIK hocama en derin saygı, minnet ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Alüminyum sektöründeki Meya Alüminyum ve Arfem Alüminyum'da bulunan sevgili çalışma arkadaşlarıma ve destek veren saygıdeğer yöneticilerime katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım. Lisans hayatımdan beri yanımdan hiç yalnız bırakmayan biricik dostlarım Nuray AKBAYIR ve Sinem BAHADIR'a değerli varlıklarından ve paylaşımlarından dolayı teşekkür ederim. Dünyaya gelişim ve gelişmemin sebebi olan ve her koşulda beni destekleyen eğitimim öğretimimde hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan varlıklarını ve dualarını sürekli hissettiğim anneciğim ve babacığım, ayrıca evin en küçüğü olmanın tadını her zaman çıkarmama vesile olan değerli ablalarım ve abilerime sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Şevval KAYA
GÜMÜŞHANE – 2023

ÖZET

Metal yüzeylerin kaplanması korozyon direnci, hidrofobik yüzeylerin eldesi ve iletkenlik özelliklerinin iyileştirilmesi malzeme kalitesini farklı uygulamalar için artırmaktadır. Bunun yanında kaplama malzemelerinin morfolojik yapılarının ve boyutlarının kontrol edilmesi, işlevselliklerinin tasarlanmasında en önemli faktörlerdendir. Atom seviyesindeki yüzey özelliklerinin bakteri tutunumu üzerindeki etkisine yönelik yeni yaklaşımlar, bu konuda farklı bakış açıları sunmaktadır. Bu çalışmada, akım yoğunluklarının değiştirilmesi ile koruyucu alüminyum oksit tabakasının kristal morfolojisi, mikroyapısı, mikrosertlik gibi özelliklerin değişimi üzerine etkileri ve bu değişimlerin bakteriyel bağlanma davranışı üzerindeki etkisi farklı analitik ve enstrümantal yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Bakteri bağlanma testlerinde model bakteri olarak *Staphylococcus aureus* kullanılmıştır. Mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, uygulanan farklı akım yoğunluğuna bağlı olarak oksit kristal morfolojisi, mikrosertlik ve bakteriyel tutunma özelliklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Akım yoğunluğunun 1,5 A/dm²' den 1,7 A/dm²' ye çıkarılması mikrosertliği 88 HV' den 126 HV' ye yükseltmiş ve yüzey pürüzlülüğünün sırasıyla 56 nm' den, 114 nm ve 124 nm' ye artmasına neden olmuştur. Çalışma sırasında daha pürüzlü yüzeylerde yapışık bakteri sayısının arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum oksit tabakası, Bakteri tutunumu, Yüzey morfolojisi

SUMMARY

Coating of the metal surface for different fields such as corrosion resistance, hydrophobic surface, and conductivity properties enhance the material quality for different application. Furthermore, controlling the morphological structures and the size of the coating materials is one of the most important factors for designing their functionality. The new approaches to the effect of surface properties at the atomic level on bacterial adhesion offer new perspectives on this subject. In this study, the effect of the different current densities on the morphological microstructural features, microhardness properties, and bacterial adhesion behavior of the protective aluminum oxide layer was investigated by using different analytical and instrumental methods. The *Staphylococcus aureus* was used as a model bacteria for attachment tests. The result presented in the current study exhibited that the crystal morphology, microhardness, and bacterial adhesion features have changed depending on the applied current density. Increasing the current density from 1.5 A/dm² to 1.7 A/dm² raises the microhardness from 88 HV to 126 HV and causes higher surface roughness by 56 nm, 114 nm and 124 nm respectively. The high number of the attached bacteria were determined on the more roughness surface during the study.

Keywords: Aluminum oxide layer, Bacterial adhesion, Surface morphology

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	IV
TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLOLAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Alüminyum	2
1.2.1. Alüminyumun Tarihi	3
1.2.2 Alüminyumun Özellikleri.....	4
1.2.3. Alüminyum Korozyonu	5
1.2.4. Alüminyuma Uygulanan Yüzey Kaplama İşlemleri	6
1.2.4.1. Anodik Oksidasyon (Eloksal) Kaplama	7
1.2.5. Alüminyum Oksitin Yüzey Kristalinin Yapısı ve Morfolojisi	9
1.3. <i>Staphylococcus Aureus</i> Bakterisi	10
1.3.1. Bakterinin Yüzey Tutunumu	13
1.3.2. Yüzey Topografyası	14
1.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü ve Bakteri Tutunumu İlişkisi.....	15
1.3.4. Yüzey Sertliği	17
2. MATERYAL-METOT.....	19
2.1. Materyal.....	19
2.2. Metot	19
2.2.1. Eloksal Kaplama İşlemi.....	19
2.2.2. <i>Staphylococcus Aureus</i> Bakterisinin Alüminyum Oksit Tabakası Üzerine Ekimi	21
3. BULGULAR.....	23
3.1. Taramalı Elektron Mikroskop Sonuçları.....	23
3.2. X-Işını Kırınım Ölçüm Sonuçları	24
3.3. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları	26

3.4. Atomik Kuvvet Mikroskop Sonuçları	28
3.5. Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskop Sonuçları.....	29
4. TARTIŞMA.....	33
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	34
KAYNAKÇA	37
ÖZGEÇMİŞ.....	51



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Alüminyum alaşımlarının element içeriği oranı.	3
Tablo 2. Diğer metallerin ve alüminyumun bazı özelliklerinin karşılaştırılması.	5
Tablo 3. 6063 Alüminyum alaşımının element içeriği	20



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Bariyer ve porozlu alüminyum oksit tabakasının gösterimi	8
Şekil 2. Model <i>S. aureus</i> bakterisi ve LTA molekül yapısı	12
Şekil 3. Bakteri kültürünün numuneye ekimi ve incelenmesinin temsili görseli	22
Şekil 4. a (1.5 A/dm^2), b (1.6 A/dm^2) ve c (1.7 A/dm^2) akım yoğunluklarındaki SEM görüntüleri, d sonuçlara bağlı değişim grafiği	23
Şekil 5. 1.5 A/dm^2 , 1.6 A/dm^2 ve 1.7 A/dm^2 akım yoğunluklarındaki XRD sonuçları..	24
Şekil 6. 1.5 A/dm^2 , 1.6 A/dm^2 ve 1.7 A/dm^2 akım yoğunluğunda üretilen alüminyum oksit yüzeyin x-ray kırınımının grafiği.....	25
Şekil 7. a (1.5 A/dm^2), b (1.6 A/dm^2) ve c (1.7 A/dm^2) akım yoğunluklarındaki Mikrosertlik sonuçları, d uygulanan akım mikrosertlik değişim grafiği	26
Şekil 8. a (1.5 A/dm^2), b (1.6 A/dm^2) ve c (1.7 A/dm^2) Atomik Kuvvet Mikroskobu ile yapılan yüzey taramasının görüntüleri, d akım yoğunluğuna bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi	28
Şekil 9. a (1.5 A/dm^2), b (1.6 A/dm^2) ve c (1.7 A/dm^2) farklı akım yoğunluklarındaki ekim yapılan bakterilerin FESEM görüntüleri, d sonuçlara bağlı değişim grafiği.....	29
Şekil 10. Farklı basamaklı atom sayısının bakteri ile etkileşimlerinin temsili gösterimi	31
Şekil 11. İşlem görmemiş Al üzerinde <i>S.aureus</i> bakterisinin tutunumunun farklı magnifikasyonlarda gösterimi.....	32

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
mL	: Mililitre
Mn	: Mangan
MPa	: Megapaskal
nm	: Nanometre
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
Zn	: Çinko
μm	: Mikron
A/dm^2	: Amper/desimetrekare
g/cm^3	: gram/metreküp
AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
FESEM	: Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu
gr	: Gram
HNO_3	: Nitrik Asit
H_2SO_4	: Sülfürik Asit
H_2O	: Su
LTA	: Lipoteikoik asit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
OH^-	: Hidroksit
O_2	: Oksijen
PG	: Peptidoglikan
PEGDMA	: Polietilen Glikol Dimetakrilat
PDMS	: Polidimetilsiloksan
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TA	: Teikoik Asit
WTA	: Teikoik Duvar Asit

XRD : X Işıını Kırınımı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Alüminyum yüksek iletkenlik değerine sahip, yoğunluğu düşük, işlenmesi kolay, korozyon direnci iyi olan üstün özelliklere sahip bir metal olarak tıp, kimya, savunma, inşaat, hava ve otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang, 2006). Alüminyum metalinin yüzeyinde atmosfer koşullarında 1-2 µm kalınlığında kendiliğinden koruyucu bir oksit tabakası oluşmaktadır. Bu tabaka kısmi yüzey koruması sağlasa da kullanım alanına ve zamana bağlı olarak yetersiz kalmaktadır (Chien vd., 2020). Bu durum diğer metallere benzer olarak alüminyumun da korozyona uğramasına sebep olmaktadır. Alüminyum yüzeyini korumak ve aşınma-korozyon gibi etkilerin önüne geçebilmek için alüminyumun alaşımlandırmak, çeşitli yüzey işlemleri ve kaplama işlemleri geliştirilmektedir (Zhou vd., 2010; Bhat vd., 2022).

Alüminyum yüzeyini korumak için kullanılan yöntemlerden biri olan Anodik Oksidasyon, alüminyumun anotlama reaksiyonu sırasında sulu çözeltide devrenin tamamlanması için alüminyum metalinin bir anot gibi davrandığı alüminyumun elektrolitik oksidasyonunun (Eloksal) kısaltması olarak adlandırılmaktadır (De Graeve vd., 2003). Eloksal prosesler, alüminyum yüzeyini koruyucu bir tabaka olan yoğun bir oksit tabakasıyla kaplanmasını sağlayıp ayrıca alüminyum yüzeyinde var olan oksit tabakasının kalınlığını artırarak korozyona karşı direnç kazandırmaktadırlar (Nazari vd., 2022). Oksit tabakasının üretim koşulları oluşan kaplamanın yoğunluğu, kalınlığı, sertliği gibi özelliklerin yanı sıra yüzey kristal morfolojisi ve büyüklüğü gibi oksit tabakasının karakteristik özelliklerinin de farklılık göstermesine sebep olmaktadır (Tao vd., 2022).

Kaplama sırasında oluşan oksit tabakasının farklı kristal yapıda olması onların koordinasyon sayılarının farklılaşmasını sağlamaktadır. Farklı koordinasyon sayısına sahip yüzey atomları diğer moleküllerle farklı şekilde etkileşime sebep olmaktadır (Sarıbiyık vd., 2020). Bu etkileşimler yüzey oksit tabakası ve biyolojik canlılar için bir arayüz görevi görmekte böylece bakteri ve virüs gibi canlıların tutunumu etkilemektedir. Bu etkileşim hayatta kalma süreleri, bulaş miktarı, yüzeydeki bakteri sayısını ve patojenik taşınımı etkilemektedir (Wu vd., 2018).

Yapılan bu çalışmada; kaplama kalitesini etkileyen faktörlerden biri olan akım yoğunluğunun değişimi ile oksit yüzeyinin morfolojisi üzerine etkileri incelenmiştir.

Yüzey morfolojisindeki bu değişimlere bağlı olarak *Staphylococcus aureus* bakterisinin tutunumu üzerine etkisi araştırılmıştır.

1.2. Alüminyum

Alüminyum (Al) periyodik tabloda bulunan 13. elementtir ve 3A grubu bir metaldir. Sir Humphry Davy'nin 1808' de elementinin adını aldığı mineral olan latince alümen (alüm) yani şap anlamına gelen alum mineraline verilen alumen adından türetilerek almıştır. Alüminyum doğada saf halde bulunmayan bir elementtir ve keşfi 1700' lere kadar dayanmakla birlikte 1800' lü yıllarda Avrupa' da keşfi için çalışmalar yapılmıştır. 1885 yılında Hall-Herout prosesi ile alüminyumun ilk kez üretimi gerçekleştirilerek karakterize edilmiştir (Hall-Heroult Centennial, 1986). Demirden sonra en çok kullanılan beyaz, gümüşü görünümde olan alüminyumun ilk üretimi elektroliz yöntemiyle yapılmıştır (Grjotheim ve Kvande, 1993). Genel olarak alüminyum ve alaşımları; ekonomik oluşu, yüzey korozyon direnci, yüksek mukavemet kabiliyeti, kolay şekillendirilebilir olmasından dolayı havacılık, otomotiv, dekoratif alanlarında kullanılmaktadır. Ayrıca canlı hücrelerle etkileşimlerinde sergiledikleri mükemmel performanslardan ötürü implant teknolojileri gibi alanlarda da yoğun olarak kullanılmaktadır (Kaplanoglu vd., 2006).

Fiziksel olarak tel ve levha haline getirilmesi kolay olan alüminyum metalinin atmosferdeki oksijene karşı büyük bir ilgisi vardır bu sebeple hava oksijeni ile reaksiyona girerek yüzeyinde koruyucu ince bir amorf oksit (Al_2O_3) tabakası oluşturabilmektedir (Edoziuno vd., 2021). Yüzeydeki bu oksit tabakası korozyonun metalin daha derin kısımlarına geçmesine engel olsa da bazı fiziksel ve kimyasal etkileşimler bu korumayı yetersiz kılarak zaman içerisinde alüminyum metalinin korozyona uğramasına sebep olmaktadır. Bu gibi etkilerin önüne geçmek ve alüminyumun özelliklerini daha iyi hale getirmek amacıyla alüminyuma yüzey işlemleri ve alaşımlandırma gibi bazı işlemler yapılmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının sergilediği yüksek ve çok yönlü performanslarına bağlı olarak endüstrideki kullanım alanları farklılaşmış ve böylece (Mg, Si, Cu) gibi yeni elementler ilave edilerek yüksek özellikli yeni alüminyum alaşımları üretilmiştir (Özel, 2013). Alüminyum alaşımlarının mekanik ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi, bu alaşımların endüstride uygulama alanını daha da artırmıştır (Toros vd., 2008). Al-Mg hafif yoğunluklu oluşu ve yüksek mukavemet sergilediği için uçak ve uzay araçları gibi alanlarda daha çok tercih edilmektedir. Al-Zn ise daha çok makine ve otomotiv parçaları ve yapısal uygulamalarda tercih edilmiştir (Siren, 2022). Al-Fe inşaat sektöründe çatı kaplamaları, korkuluklar ve diğer yapısal elemanların yapımında

kullanılır. Al-Zr ise tıp alanında çeşitli protez ve diğer tıbbi cihazların yapımında daha çok rağbet görmüştür. Alümiyum alaşımlarının simgeleri ve metal içeriği verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Alümiyum alaşımlarının element içeriği oranı (Zhu vd., 2023).

Al ve Al alaşımı															
Al	Al-Cu	Al-Mn	Al-Si	Al-Mg	Al-Mg-Si	Al-Zn	Al-Fe	Al-Li	Al-Sn						
Al1xx.x	Al1xxx	Al2xx.x (H)	Al2xxx (H)	Al3xxx (W)	Al3xxx.x (W)	Al4xxx.x (H)	Al4xxx (W/H)	Al5xx.x (W)	Al5xxx (W)	Al6xxx (H)	Al7xx.x (H)	Al7xxx (H)	Al8xxx (W)	Al8xxx (H)	Al8xxx.x (W)

xx.x: döküm tekniğine uygun, xxx: dövme tekniğine uygun, H: Isıl işlem olur, W:İşlenebilir

1.2.1. Alümiyumun Tarihi

Alümiyum elementi yer kabuğunun yaklaşık %8.2' sini oluşturmasıyla doğada en çok bulunan elementler arasında ilk sıralarda yerini almaktadır. Alümiyum üretimi şap minerali olan kimyasal adıyla potasyum alümiyum disülfattan ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) gerçekleştirilmektedir. Bu mineral, ıslak volkanik topraklardan gelen sülfürik asidin diğer kükürt bazlı minerallerle temas ettiği yerlerde oluşur ve alümiyuma ek olarak silikon, magnezyum, kalsiyum ve demir gibi diğer metalleri içerebilir (Altan vd., 2002). Doğada farklı elementlerle bir arada bulunan alümiyumun diğer maddelerden ayrıştırılması ve keşfi zaman almıştır. Bunun sebebi, alümiyumun erimesi ve ayrışması için yüksek sıcaklık gerektiğinden sanayileşmenin ilk başladığı süreçlerde yeterli ekipmanın olmamasından dolayıdır. Örneğin Amerika Birleşik Devleti (ABD)' deki Washington abidesinin zirvesinin yapımında kullanılması kararlaştırılan 30 gr alümiyumun maliyeti bu projede çalışan bir işçinin yevmiyesinin yaklaşık 2 katına tekabül ettiği belirtilmiştir (Binczewski, 1995). Alümiyum üretiminin ilk dönemlerinde altın gibi madenlerden daha değerli olarak görülse de elektroliz yönteminin keşfi ve gelişmesiyle üretim maliyetinde ciddi bir düşme olduğu gözlemlenmiştir. Sanayi üretiminin diğer madenlerden daha geç gerçekleştirilmesine karşın günümüz teknolojileri ve kullanım alanları ile diğer madenlerden daha fazla üretim ve kullanım alanına sahiptir (Lee, 2010). Alümiyum keşfinden günümüze kadar üretim aşamasında birçok önemli süreçten geçmiştir. 1754 yılında J. H. Pott ve Andreas Sigismund Marggraf (Almanya), bir şap çözeltilisine alkali bir çözelti döküldüğünde bir çökelti

oluşturduğunu göstererek alumun alüminaya ayrıştırılmasını sağlamıştır. 1808’ de Avrupa’nın geri kalanı da alüminyum mineral halinden indirgeme sürecini keşfetmeye çalışırken, Berzelius ilgili florürlerinden bor ve silikon ile birlikte potasyum amalgamı kullanarak alüminyum metali alüminyum florürden ayrıştırmaya çalışmıştır. 1821’ de Pierre Berthier, boksit cevherini keşfetmiş ve bunun alümina içerdiğini belirten ilk kişi olmuştur. 1821 yılında P. Berthier, %52 oranında alüminyum oksit içeren mineral bulup boksit adını vermiştir (Berthier, 1821). 1825 yılında Hans Christian Oerstedt, metalürjik anlamda ilk alüminyum üretimini gerçekleştirmiştir. 1845 yılında ise Wöhler, Alüminyum klorürü indirgeyerek az miktarda alüminyum üretmiştir. 1854 yılında Saint-Claire Deville, bilye büyüklüğünde alüminyum elde etmiştir. Elektroliz yöntemi ile ilk alüminyum üretimi ise 1854 yılında Bunsen ve Deville, tarafından gerçekleştirilmiştir (Klein, 1985). 1855 yılında Paris’ te bir sergide alüminyum çubuklar sergilenmiştir. 1856 yılında Deville, endüstriyel anlamda ilk alüminyum üretimini gerçekleştirmiştir. Alüminyumun endüstriyel olarak 15 ton üretimi ise 1885 yılında Hamilton Y. Cassner, Deville’ nin prosesinin geliştirilmesi ile gerçekleştirilebilmiştir (Rostoker ve Bronson, 1990). 1886 yılında Charles Martin Hall ve Paul Louis Toussaint Héroult, bugün Hall-Héroult yöntemi olarak bilinen elektroliz yöntemini birbirlerinden habersiz olarak geliştirmişlerdir. Bu yöntem günümüzde de en çok kullanılan yöntemlerden biridir. 1888 yılında ise Karl Joseph Bayer, Bayer prosesi olarak bilinen prosesi geliştirmiştir ve bu proses günümüzde de kullanılmaya devam edilmektedir (The Aluminum Association, 2017). 1888 yılında ise İsviçre ve ABD’ de alüminyum üretimi için elektrolizhaneler kurulmuş ve endüstriyel olarak üretimi yapılmıştır.

Bu gibi gelişmeler alüminyumun en çok kullanılan ve en ekonomik olan metaller arasında hızlıca yer almasını sağlamıştır. Alüminyumun özellikleri keşfedildikçe onun ne kadar değerli olduğu anlaşılmış ve günümüze kadar kullanımı yaygın bir şekilde devam etmektedir.

1.2.2 Alüminyumun Özellikleri

Alüminyumun sahip olduğu bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri şu şekildedir;

Kimyasal özellikler; alüminyum oksijen ile temasında yüzey metalleri yükseltgenerek koruyucu bir oksit tabakası oluşturmaktadır. Alüminyum diğer metallerle belirli oranlarda karıştırılarak istenen fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip alaşımları elde edilmektedir (Siren, 2022). Alüminyum metalinin bazik şartlardaki yüksek reaktifliğinden dolayı hidroksitlere karşı dayanıksızdır bu sebeple hidroksitlerle muamelesinde farklı yüzey işlemleri uygulanarak mukavemeti artırılmaktadır (Mutlu,

2011; Melchers, 2018). Alüminyum doğal ortamlarında yüksek kimyasal aktivite göstermesi sebebiyle saf halde bulunamamaktadır (Yang vd., 2021). Alüminyumun doğal ortamlarında bileşik halde bulunması, saflaştırılma işlemlerinin birden fazla basamakta gerçekleşmesine sebep olmaktadır.

Fiziksel özellikler; alüminyum genel olarak yeryüzünde bulunma bolluğu fazla ve üretim maliyeti ise düşük bir metaldir. Yoğunluğu 2.7 g/cm^3 olup, 7.87 g/cm^3 yoğunluğa sahip demir gibi metallere oranla daha düşüktür. Düşük yoğunluklu, yüksek mukavemetli, elektrik ve ısısal iletkenliği yüksek bir metaldir (Toraman, 2021). Elektrik iletkenliği birim ağırlığa göre en iyi metal olmasına rağmen gerilme mukavemeti düşüktür (Li vd., 2019). Alüminyum da diğer metaller gibi birleşik oluşturmaz fakat diğer metallerle alaşımı elde edilmektedir. Böylece daha üstün özelliklerde yüksek performanslı alüminyum alaşım eldesi sağlanmaktadır.

Tablo 2. Diğer metallerin ve alüminyumun bazı özelliklerinin karşılaştırılması (Deschams vd., 2001).

ÖZELLİK	Al	Fe	Cu	Zn	Mg
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2.70	7.87	8.94	4.1	1.74
Elektrik Direnci ($\text{Ohm.mm}^2 / 2$)	2.66	9.8	1.68	6.00	4.46
Isı İletkenliği (W/m.K)	0.52	0.19	0.92	0.27	0.37
Isıl Gen. Katsayısı ($\text{mm/mm } ^\circ\text{C}$)	24	11.9	16.7	33	25.7
Ergime Sıcaklığı $^\circ\text{C}$	660	1535	1083	420	651
Yanma Isısı (kcal/kg)	6970	1600	-	1270	6000
Uzama (%)	43	48	50	-	-
Sertlik (BHN)	19	70	25	-	-

Bu özellikler alüminyumun endüstride kullanımını arttırmış ve özelliklerine bağlı olarak çeşitli alanlarda kullanımı daha da yaygınlaştırmıştır. Örneğin havacılık-uzay sanayii, dekoratif, sağlık sektörü, telefon-bilgisayar üretiminde, içecek kutularının %80' inde, ulaşım gibi birçok alanda etkin olarak kullanılmaktadır (Sertçelik, 1999). Alüminyum ve diğer metallerin farklı özellikleri tabloda belirtilmiştir (Tablo 2).

1.2.3. Alüminyum Korozyonu

Alüminyum metalik özelliklerine bağlı olarak hava oksijeni ile temas ettiğinde anodik karakter ortaya koyarak yükseltgenen bir metaldir. Bu yükseltgenme sonucunda, alüminyum yüzeyinde ince 1-2 μm bir oksit tabakası oluşur (Sato, 2011). Bu tabaka normal şartlarda korozyona karşı koruyucu özellik gösterir fakat alüminyumun endüstriyel kullanımındaki ağır şartlar bu oksit tabakasının korozyon direncine karşı yetersiz kalmaktadır. Bu sebepten dolayı faydalı kullanım ömrü kısalarak kullanım

süresinin azalmasına sebep olur. Metal yüzeyinde kendiliğinden oluşan bu oksit tabaka yüzeyi bazik olmayan ve yüksek asidik özellik göstermeyen ortamlarda hava oksijenine karşı koruma eğilimi gösterse de yüksek sıcaklık, yüksek nem seviyeleri, tuzlu suya ve reaktif kimyasallara maruz kaldığında, özellikle yüzey sürtünmeleri ve çiziklerle, galvanik şartlar gibi bazı koşullar altında alüminyum korozyonu hızlanabilir ve oksit tabakası zarar görerek korozyon miktarı artmaktadır (El Mouden vd., 2015; Erbil, 2012).

Yüzey oksidasyonuna önlem alınmaması durumunda bu yükseltgenme işlemi devam ederek metalin iç kısımlarına kadar yayılmakta ve zamanla bu durum metalik alüminyumun iç kısımlarında da korozyon yaratarak fiziksel ve kimyasal yapısının değişmesine sebep olmaktadır (Hua vd., 2019). Bu durum sonucunda, ilgili parçanın kullanım ömrünü kısaltarak maddi kayıp ve bakım onarım maliyetinin artması gibi daha farklı problemlerin yaşanmasına sebep olmaktadır (Koçyiğit, 2022). Bu nedenle alüminyumun kullanıldığı uygulamalarda, korozyona karşı koruyucu önlemler alınması önemli ve gerekli olmaktadır. Bu önlemler ile yüzey işlemleri ve kaplamalar yapılarak oksit tabakasının kalınlığının artırılması amaçlanmaktadır. Böylece yüzey daha kararlı hale getirilerek alüminyumun kullanım ömrü uzatılmaktadır (Sieber vd., 2018; Ren ve Zuo, 2004).

1.2.4. Alüminyuma Uygulanan Yüzey Kaplama İşlemleri

Alüminyum ve alaşımları gösterdiği yüksek performans bakımından birçok avantaja sahiptir ancak zayıf korozyon direnci gibi bazı özelliklerinden dolayı mühendislik uygulamalarında dezavantajlı konumda bulunduğu için hizmet ömrünün uzatılması gerekmektedir (Pawlik vd., 2020). Kaplamalar, korozyon/aşınma direnci, gelişmiş yüzey sertliği, değiştirilmiş yüzey dokusu, termal/elektrik yalıtımı, düzenlenebilir ıslanabilirlik, hidrofobiklik vb. gibi farklı özelliklerin kısmi olarak gelişimine katkı sağlamaktadır (Sieber vd., 2018). Bu özelliklere ek olarak kaplamalar korozyon ve aşınmaya karşı istenen işlevselliğe göre özel uygulamalarda da kullanılabilir (Dehghanghadikolaei vd., 2018).

Kaplama işlemlerinde genel olarak elektroliz yöntemi, organik/inorganik kaplayıcılar ile yüzey boyaması, diğer metaller ile metalik yüzey kaplaması yapılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu kaplama türleri, alüminyumun korunması, estetik iyileştirme, yüzey işlevselliği veya dekoratif amaçlar için uygulanmaktadır. Elektrolitik anodizasyon ile yüzeyde uygun kalınlıkta koruyucu bir oksit tabaka oluşturma sağlanarak yüzey korunması gerçekleştirilmektedir. Boyama işleminde yüzeyin bulunduğu

şartlara karşı dirençli organik/inorganik maddelerin yüzeyi bulunduğu ortamdan izole etmesidir ve aynı zamanda uygun renklendirme sağladığı için estetik bir görünüm oluşturmaktadır (Toraman, 2021). Metalik kaplama yönteminde ise alüminyumun yüzeyinde farklı metaller belirli oranlarda kullanılır ve yüzey korumasının yanında estetik bir görüntü de elde edilmektedir. Bu yöntemler alüminyumun kullanım alanına göre değişiklik gösterebilmektedir.

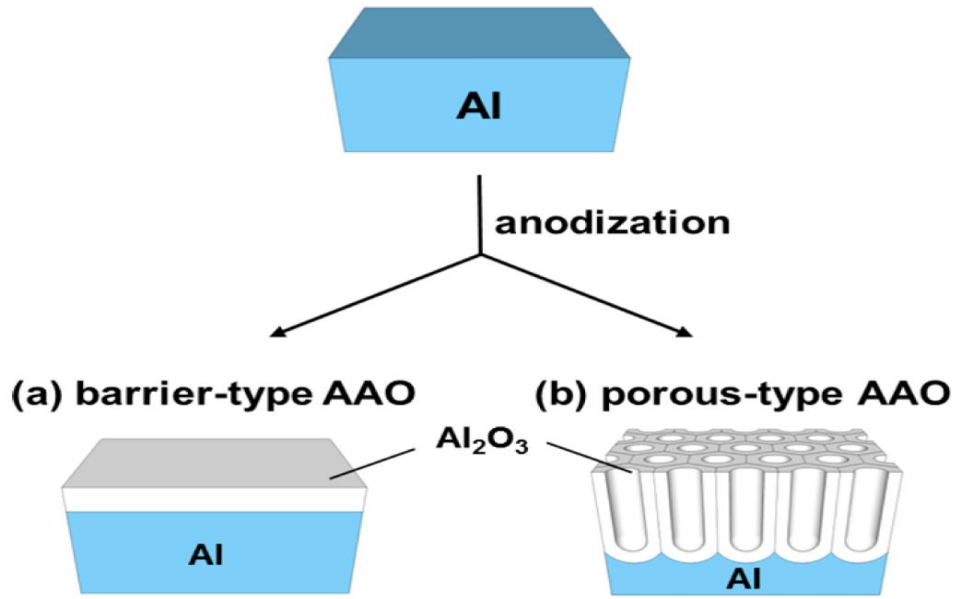
Yukarıda belirtilen yöntemlerden birisi de elektrolitik anodik oksidasyon (Eloksal) yöntemi en çok kullanılan elektrokimyasal bir yöntemdir (Wang vd., 2018). Bu yöntemin kontrolü belirli parametrelere bağlı olup alüminyum yüzeyinde koruyucu bir oksit tabakasının uygun şartlarda büyütülmesi esasına dayanmaktadır. Alüminyum anodizasyon prosesinde endüstriyel olarak ekstrüzyon ile şekillendirilmiş yüzeylerde yapılmaktadır. Bu işlemde, yüzeyde oluşturulan tabakanın kaliteli olması gerekmektedir çünkü dekoratif amaçlı yüzeylerde de kullanılacağından dolayı makro yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple, ön yüzey hazırlama işlemi son derece önemlidir (Dan vd., 2018). Yüzey hazırlama işlemleri kısaca belirtildiği gibi gerçekleştirilmektedir; yüzeyde üretim esnasında oluşan yüzey kimyasalların (yağların) uzaklaştırılması işlemi (yağ alma), istenilen durumlarda matlaştırma, parlatma ve bütün işlemlerin ardından durulama gibi basamaklardan oluşmaktadır (Mozalev vd., 2001).

1.2.4.1. Anodik Oksidasyon (Eloksal) Kaplama

“Eloksal Kaplama”; olarak bilinen endüstride de sıkça kullanılan bir yöntem olan (**Elektrolytic Oxidation Aluminum**) **ELOKSAL** yani alüminyumun elektrolitik oksidasyonu kelimelerinin baş harfleri birleştirilerek türetilmiştir. Uluslararası terminolojide de "Anodic Oxidation veya "Anodising" olarak da tanımlanmaktadır. Türkçe’de anodik oksidasyon olarak bilinmektedir.

Alüminyum alaşımının yüzeyinde bir anodik oksit filmi oluşturarak çeşitli koşulların mekanik özellikleri, kimyasal bileşimi ve yüzey oksit morfolojisini etkilediği elektrokimyasal bir işlemdir (Florenca vd., 2021; Viademonte, vd., 2020). Eloksal işleminin en önemli özellikleri korozyon ve aşınma direncini artırmak, boya yapışmasını iyileştirmek ve dielektrik bir tabaka oluşturmaktır. Yüzey kaplama işlemi ile oluşan oksit tabakasının en belirgin özellikleri oksit kalınlığının artması, sertliğinin gelişmesi, aşınma direncinin artması olarak bilinmektedir (Jalal, vd. 2019; Lee, 2010). Günümüzde yaygın olarak koruyucu ve dekoratif amaçlı anodik oksidasyon işlemi için sülfürik asidin kullanıldığı ticari yöntem tercih edilmektedir (Kwolek, 2017; Schwirn

vd., 2008). Oksalik asit ve fosforik asit gibi diğerelektrolitler ise sadece özel uygulamalar için tercih edilmektedir (Sun vd., 2010; Dubey vd., 2023; Stepniowski ve Bojar, 2011). Anodik oksidasyon işleminin sonrasında, alüminyum yüzeyinde iki farklı oksit tabakası meydana gelmektedir, bunlardan ilki tüm yüzeyi kaplayan bariyer oksit tabakası olarak adlandırılan yüzey oksit tabakasıdır. İkincisi ise porozlu oksit tabaka olarak adlandırılan, bariyer tabakanın üzerinde oluşan ve gözenekli altıgen şekillerde de görülebilen oksit tabakadır (Yavuz, 2018). Bariyer ve Porozlu oksit tabakası görülmektedir (Şekil 1).

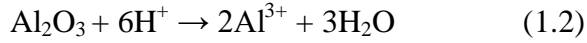
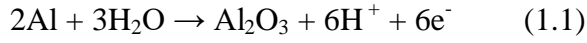


Şekil 1. Bariyer ve porozlu alüminyum oksit tabakasının gösterimi (Lee ve Park, 2014).

Elektrolit ve elektrokimyasal parametrelerin seçimi (örn. sıcaklık, anodik reaksiyon süresi, elektrolit tipi/konsantrasyonu, voltaj ve akım), alüminyum alaşımının türü, sızdırmazlık işlemi vb. gibi çeşitli faktörler alüminyum anodik oksidasyon sonucu üretilen oksit tabakasının morfolojik özelliklerinin değişimini etkiler ve böylece amaçlanan uygulamaya bağlı olarak gerekli morfolojik özellikleri sağlamaktadır (Dervishi vd., 2022).

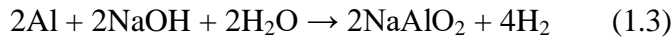
Gözenekli tabakanın oluşmasının nedeni olan mekanizma, uygulanan elektrik alanının etkisi altında oksijen iyonu ve Al³⁺ iyonlarının difüzyonu ile alakalıdır (Runge ve Pomis, 2002). Oksit büyümesi, uygulanan akım yoğunluğu ile alüminyum bariyer (üst yüzey kısmından) başlayıp onu tükettiğinden, metal parçacığın iç kısımlarına doğru büyüme cephesi dengesiz ve dinamiktir. Metal yüzeyi ile oksit arasındaki ara yüz sürekli değişmektedir (Poinern vd., 2011). Bariyerden yüzeye doğru gelişen gözenekli oksidin büyümesi şartlara bağlı olarak değişim göstermektedir. Öncelikle elektrolit

arayüzünde küçük çatlaklar belirir ve gözeneklere doğru genişler (Lee vd., 2010). İşlem, harici bir elektrik alanı tarafından yönlendirilen oksit film büyümesini ve çözünmesini içerir; bu içerikler kimyasal eşitlik (1.1) ve (1.2)' de görüldüğü gibi ifade edilmektedir (Xu vd., 2016).



Sonuç olarak gözenek yoğunluğu, oksit tabakasının kalınlığı ve morfolojisi gibi anodik alüminanın karakteristik parametreleri; elektrolit tipi, anotlama potansiyeli, akım yoğunluğu gibi anotlama koşullarının ayarlanmasıyla kontrol edilebilmektedir (Arurault, 2008; Jingui vd., 2020; Sulka, 2008).

Eloksal işlemi üç başlıkta gerçekleşmektedir, bunlar kısaca özetlenirse; ön işlemler, elektroliz işlemi, elektroliz işlemi sonrası işlemlerdir. Yüzey temizleme işlemi için genellikle yüzey aktif moleküller içeren sulu faz çözeltileri kullanılmaktadır. Bu işlem özellikle üretim sırasında kullanılan uzun zincirli yağimsı özellik gösteren karbon bileşiklerinin yüzeyden uzaklaştırılmasını kapsamaktadır (Turhan, 2002). Yüzey temizliği gerçekleştirildikten sonra metal yüzeyi sodyum hidroksit içerikli kimyasal ajanlarla matlaştırma (1.3) adı verilen işlem gerçekleştirilmektedir.



Matlaştırma işleminden sonra yüzeydeki sodyum içerikli bazik kimyasalın uzaklaştırılması için düşük molariteye sahip asidik çözeltiler (sülfürik, nitrik vb.) ile nötralizasyon işlemi uygulanmaktadır (Jorge vd., 2005). Eloksal her ne kadar kaplama işlemi olsa da alüminyum yüzeyini olduğu gibi yansıttığı için ön işlemlerde yüzey temizliği çok önemli bir aşamadır. Söz konusu parametreler kaplama kalitesini etkilemektedir (Coelho, 2007).

1.2.5. Alüminyum Oksitin Yüzey Kristalinin Yapısı ve Morfolojisi

Tarihte yapılan çalışmalar ile katı fazdaki atomların optik çalışmalarındaki kırınımların farklılık içerdiği belirlenmiştir (Bressan, 2016). 1690 yılında ise Christian Huygens, yaptığı çalışmayla malzemelerin görünmeyen eşit parçacıklardan oluştuğunu savunmuş ve bununla ilgili bir takım çizimler sunmuştur (Huygens, 1962). Kristal kelimesi "Krystallos" kelimesinden türeyen buz veya cam anlamında, Latince "crystallus" kelimesi ile aynı anlamı taşımaktadır. Bu terimler, "krystallos" kelimesinden türetilmiştir, donmuş veya sertleşmiş madde anlamına gelir ve özellikle buz veya kuvars kristallerini ifade etmek için kullanılmaktadır. Kristallerin düzgün geometrik yapıları ve sertlikleri, bu terimin bu anlamda kullanılmasını sağlamıştır.

Günümüz teknolojisinde ise katı fazdaki bütün özellikleri üzerinde barındıran en küçük birim hücrelerin belirli bir doğrultuda düzgün şekilde sıralanması ile oluşan yapılar kristal olarak tanımlanmaktadır (Owens vd., 2022).

Alüminyum oksit yüzey kristalinin yapısını anlamak için öncelikle metalik alüminyumun kristal yapılarına değinmek gerekmektedir. Alüminyumun kristal yapısı genellikle en yaygın olan Alfa-Alüminyum (α -Alüminyum) olarak bilinen atomların düzenli bir şekilde bulunduğu bir kristal yapıdır (Runge, 2013). Yüzey kristalinin yapısı, atomların düzenlenme şekli, yüzeyin düzlüğü, atomların koordinasyon sayısı ve yüzeydeki bağlar gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir (Ellard, 2010; Sarıbiyık vd., 2020; Sarıbiyık, 2022). Bu değişiklikler atomların yüzeydeki düzenlenme şekline ve yüzeyin hazırlanma yöntemlerine bağlı olarak meydana gelmektedir. Metal atomlarının belirli bir düzlemde aynı koordinata düzenli mesafelerle sıralanması sonucu oluşan (111), (100), (110) gibi farklı morfolojik düzenlenmelere sahip kristal yapıları bulunmaktadır. Al kristal yapısında en sık rastlanan (111) tipi düzenlenme, en yaygın olarak karşımıza çıkan morfolojik yapıdır (Runge, 2016). Fakat, (110) gibi farklı morfolojik kristal formları da bulunmaktadır (Chesterfield ve Runge, 2010).

Anodizasyon sonucu elde edilen yüzey oksit tabakasının kristal yapısı uygulanan yöntemle ilgili olarak yüzeyin sertlik, yüzey pürüzlülüğü, yüzey renklenmesi ve korozyon direnci gibi özelliklerine etki eder. Bu farklılıkların temelinde ise oksit tabakasının atomik düzeydeki kristal yapısının düzenlenmesinde meydana gelen farklılıklar yatmaktadır. Örneğin, (111) morfolojiye sahip bir kristalin yer değiştirme enerjisi (dislocation energy) (100), (110) gibi diğer morfolojik yapılarınkine göre daha yüksektir. Bunun temel nedeni atomlar arası oluşan yüksek koordinasyon sayısı şeklinde ifade edilmektedir (Birbilis ve Buchheit, 2005; Kaya ve Sarıbiyık, 2023). Bu sebeple farklı kristal morfolojilerine sahip yüzeylerin mikro sertlikleri farklılık göstermektedir (Kaya ve Sarıbiyık, 2023). Endüstride oksit Al kristal yapıları genel olarak, α -Alüminyum Oksit, θ -Alüminyum Oksit, γ -Alüminyum Oksit ve δ -Alüminyum Oksit olarak incelenmektedir (Alvarez vd., 2019).

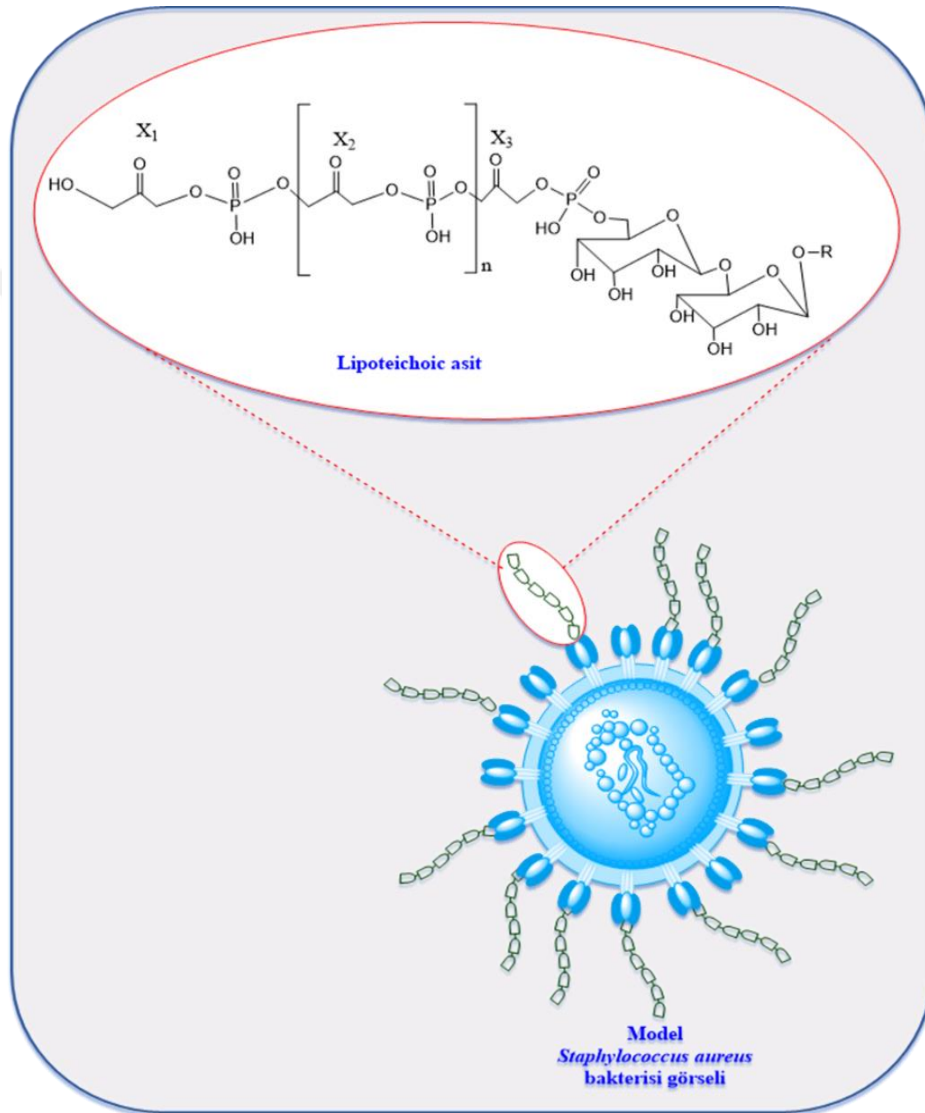
1.3. *Staphylococcus Aureus* Bakterisi

Enfeksiyona sebep olan virüs, bakteri, mantar gibi birçok canlı türünden birisi olan bakterilerin yararlı ve zararlı olarak kabul edilen farklı türleri mevcuttur. *Staphylococcus* cinsi de doğada yaygın olarak bulunan genellikle kuşların ve memelilerin deri-mukoza zarlarında bulunan farklı tür ve alt türleri içeren bir bakteri türüdür (Bhattacharjee vd., 2017). Bunlar aynı zamanda hareketsiz, fakültatif anaerobik,

mezofilik, sporsuz, gram pozitif ve genellikle görünümüleri üzüm salkımı şeklinde olan bakterilerdir. Bu mikroorganizmalar, hastane içi kolay yayılmaları ve muazzam adaptasyon ve antibiyotik direnci kapasiteleri nedeniyle hem bağışıklığı baskılamakta hem de sağlıklı bireylerde hastalıklara neden olmaktadır (Feng vd., 2015). Gram (+) bakterilerde hücre duvarının önemli bir bileşeni olan kalın bir tabakadan oluşmaktadır ve bu tabaka peptidoglikan (PG) tabakası olarak adlandırılır. Glikan zincirlerden oluşarak hücreye şeklini verip hücre bütünlüğünü koruyan temel hücre duvarı bileşenidir. (Delcour vd., 1999). Gram (+) bakterilerin hücre duvarında bulunan bir diğer yapı polisakkarit yapıda bulunan Teikoik asittir (TA). TA, hücre duvar yapısını ve özelliklerini etkiler. TA, hücre duvarına bağlı Teikoik duvar asiti (WTA) ya da membrana bağlı Lipoteikoik asit (LTA) olarak bulunabilmektedir (Neuhaus ve Baddiley, 2003). Bu yapılar bakterinin hücre dışı ile etkileşiminde önemli bir yere sahiptir ayrıca bağışıklık yanıtlarda da rol oynayabilmektedir (Neuhaus ve Baddiley, 2003; Feng vd., 2015). LTA' nın işlevleri, bakterinin türüne ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebilir (Euzéby, 2016). Bu nedenle, farklı bakteri türlerinde LTA' nın etkileri ve işlevleri farklılık gösterebilir.

Staphylococcus cinsi bakterisinin *aureus* türü, patojenik özellikleri ve bağışıklık sistemiyle olan etkileşimleri nedeniyle tıbbi açıdan önemli bir bakteridir. Bu nedenle, *Staphylococcus aureus* LTA' sının özellikleri ve etkileri, bakterinin enfeksiyon ve hastalık oluşumundaki rolünü anlamak için araştırılmaktadır (Feng vd., 2015). *S. aureus*' un LTA' sı, immünolojik etkileri nedeniyle bağışıklık sistemi tepkilerini etkileyebilmektedir. LTA, bağışıklık hücrelerini aktive ederek proinflamatuvar sitokinlerin salınımını artırabilmektedir (Maccallum vd., 2015). Bu da inflamasyonu arttırarak enfeksiyon bölgesinde bağışıklık hücrelerinin toplanmasına yol açabilmektedir. *S. aureus*' un LTA' sının diğer bir etkisi de toksisiteye katkıda bulunabilmesidir. *S. aureus*' un LTA' sı, bazı hücre yüzey reseptörleriyle etkileşime girerek hücre sinyalleşmesini etkileyebilmekte ve farklı zincir kombinasyonları oluşturan bu yapılar çeşitli bakteri suşlarına spesifik özellik sağlamaktadır (Bhattacharjee vd., 2017; Song vd., 2015). Bu sinyalleşme yolları, bakterinin hücre içine girmesini, enfeksiyon bölgesinde yayılmasını ve bağışıklık sistemi ile etkileşimini düzenlemesine yardımcı olabilmektedir (Truong vd., 2017). LTA' nın moleküler yapısı, teikoik asit polimerlerinin uzunluğu, şeker fosfat bileşimi ve lipit yapısı gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Blodkamp vd., 2015). Bu yapısal farklılıklar, bakteri türüne ve hatta aynı tür içindeki suşlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. LTA, bakteriyel hücre duvarının bir bileşeni olarak, hücrenin mekanik dayanıklılığını

sağlamakta ve bakteriyel hücre duvarının sertliğini artırarak hücrenin şeklini ve bütünlüğünü korumaktadır (Bhadra vd., 2015; Pajerski vd., 2019). Bu etkileşimlerde de yüzey atomların pozisyonu, koordinasyon sayısı ve yüzey atomlarının ortaklanmamış elektron çifti sayısı gibi faktörler rol oynamaktadır. Sonuçta, arayüz etkileşimlerinde hem LTA polimerik zincirinin moleküler içeriği hem de yüzey atomlarının özellikleri etkin rol oynamaktadır (Bhadra vd., 2015).



Şekil 2. Model *S. aureus* bakterisi ve LTA molekül yapısı

Staphylococcus aureus bakterisi hücre duvarı yapısında teikoik duvar asidi (WTA) ve lipoteikoik asit (LTA) içermektedir (Şekil 2) (Xia vd., 2010; Pajerski vd., 2019). Bu yapıya sahip hücre duvarı, hücrenin kimyasal, fiziksel ve biyolojik tehditlerden korunmasından ve diğer yüzeylerle etkileşiminden sorumludur (Granato vd., 1999). Bunlara ek olarak, LTA hücrenin ara yüzündeki adeziv görevini de sağlamaktadır (Wickham ve Rice 2008; Hussain vd., 2001). Teikoik asit polimeri

kombinasyonu poli fosfodiester ile birlikte, 40-50 tekrar birimi, D alanil, glukozamin ve hidroksil grupları içermektedir (Wickham ve Rice, 2008; Neuhaus ve Baddiley, 2003). Polimerik yapıdaki pozitif yüklü D alanil molekülünün oksit tabakasındaki yüzey oksijeni ile etkileşime girebildiği daha önceki çalışmalarda belirlenmiştir (Neuhaus ve Baddiley, 2003).

WTA ise *S. aureus* bakterisinin hücre duvarı yapısında teikoik asit adı verilen polimerik yapıların bakteriyel hücre duvarına bağlanmasıyla oluşmaktadır. Polimerik yapıda glikozamin (N-asetilglukozamin), glikoz, fosfat, gliserol birimlerinden oluşmaktadır (Schwibbert vd., 2019). WTA' nın polimerik yapısı, bakteri türüne ve hatta aynı tür içindeki suşlara göre değiştiği için WTA' nın içeriği ve bileşimi bakteri türüne bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. WTA, bakteri hücre duvarının bir bileşeni olduğundan, bakterinin yapısını ve bütünlüğünü koruyan önemli bir faktördür (Li vd., 2019; Chien vd., 2020; Yang vd., 2015). WTA' nın antijenik özellikleri ise bakteri türüne ve WTA' nın yapısal özelliklerine bağlı olarak değişebilir (Helbig vd., 2016). Bu tür bakteri yapıları genel olarak bakterinin yüzey tutunumundan, enfeksiyonel etkisinden, başka moleküler veya maddelerle etkileşiminden sorumlu olmaktadır.

1.3.1. Bakterinin Yüzey Tutunumu

Görüntüleme teknikleri ve bilimsel gelişmeler ışığında bakterilerle ilgili elde edilen bilgilerin ulaştığı seviyeye rağmen, bakterilerin farklı yüzey topografyasını nasıl algıladıkları, yüzeye nasıl bağlandıkları ve bağlanmanın nasıl etkilendiği henüz tam olarak açıklanamamıştır. Yapılan araştırmalarda bir bakteri hücrelerinin biyotik veya abiyotik bir yüzeye yolculuğu, yüzeyin yerini belirlemeyi, yaklaşmayı ve yakınlığını algılamayı içeren karmaşık, çok aşamalı bir süreç olduğu belirtilmektedir (Vasudevan, vd., 2014). Bakteri hücrelerinin bir arayüze taşınması, difüzyon (Brown hareketi), konvektif akış gibi fiziksel yasaların bir sonucu olarak gerçekleşebilir (Loosdrecht vd., 1990). Bakterilerin yüzeye ilişkili kimyasal gradyanlar veya kemotaksis kullanarak katı yüzeylerin varlığını tespit ettikleri belirlenmiş ve bu mekanizmanın zamanla geliştiği anlaşılmıştır. Bu gradyanlar, bir yüzeyin sulu ortamda çeşitli kimyasal türlerin varlığından meydana gelmekte veya belirli yüzey bileşenlerinin bozularak ortamda kimyasalların sentezlenmesi ile oluşmaktadır. Bu tür gradyanlar, elektrostatik etkileşimler, yüzey enerjisi veya LTA ve WTA gibi bakteriye ait yapıların yüzey ile özel koordine kompleks etkileşimleri yoluyla oluşmaktadır. Böylece bu oluşumlar

bakteri hücreleri ve malzeme yüzeyleri arasında etkileşime yol açabilmektedir (Meibom vd., 2004).

Mikroorganizmanın yüzeyi algılaması, yüzeylere ilk etkileşimi sonrasında kolonileşmesi ve hücre dışı bir polisakkarit matrisinin üretilmesi sonucunda oluşan üç boyutlu bir yapıdır (Flemming vd., 2016). Biyofilmin gelişimi, mikroorganizmaların bir yüzeye gevşek bir şekilde birleşmesi ile başlayan ve daha sonra güçlü bir yapışmaya dönüşen sıralı bir süreçtir. Tutunmanın son aşamasında, bakteri hücre duvarı yapısını kaybeder ve bu da sitoplazmik bakteri moleküllerini yüzeye daha yakın konumlandırarak bakterinin yüzeye yapışmasını güçlendirir. Bu, bakterilerin, Lifshitz-van der Waals çekici kuvvetleri biçimindeki bakteriyel yüzey moleküllerini kullanarak yüzeylerle etkileşime girmesini sağlar (Carniello vd., 2018).

1.3.2. Yüzey Topografyası

Yüzey topografyası, yüzeye yakın mikro ortamı şekillendirebildiğinden bakteriyel bağlanmanın sonucunu tanımlamada merkezi bir rol oynar. Genel olarak, yüzey topografyasının mikroskopik boyutları bakterilerin bağlanmalarını hidrodinamik olarak etkilemektedir. Nano boyutlardaki etkileşimler ise daha çok yüzey elementleri, elektron/atom transferleri, yüzey atomlarının dizilinimi, fizikokimyasal etkileşimler ve hücre zarı yapısının bozulmasıyla gerçekleşmektedir (Cheng vd., 2019).

Kısaca, bir bakteri boyutundan daha büyük yüzey pürüzlülüğüne sahip yüzeyler ile bakteri en fazla temas ve barınma alanı oluşturacağı için bakteri tutunumunda yüksek performans sağlanmış olur ve bu olay gelişmiş bir bakteri tutunması ile sonuçlanmaktadır (Scardino vd., 2008; Helbig vd., 2016). Bu etki, iyi tanımlanmış özelliklere ve yüzey boşluklarına sahip olarak tasarlanmış yüzeylerde daha belirgindir. Bakterilerin, bağlanma alanını en üst düzeye çıkarmak için tercihen vadi ve sütun şekillerine benzer yapılara hizalanma eğiliminde oldukları gözlemlenmiştir (Perera vd., 2014; Kaya ve Sarıbyık, 2023). Buna karşılık, yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre bir bakteri boyutundan daha küçük yüzey pürüzlülüğüne sahip bakterilerin yüzey tutunumunun daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Yang vd., 2015; Xu ve Siedlecki, 2017; Schwibbert vd., 2019; Tang vd., 2021).

Yüzey pürüzlülüğün bakterilerin tutunmasını ve bunun sonucu biyofilm oluşumunu etkilediği bilinmektedir. Genel anlamda mikro ölçekten (bakteri boyutuna yakın) nano ölçeğe doğru boyutsal küçülme gerçekleştiğinde daha farklı faktörlerin olaya müdahil olduğu görülmektedir (Whitehead ve Verran, 2006; Friedlander vd., 2013; Hsu, vd., 2013; Feng vd., 2015; Feng vd., 2014). Pürüzlülük yüzey özelliklerinin

belirlenmesinde kullanılan bir yöntem olup bakteri bağlanmasının nasıl gerçekleştiği ve bağlanmada hangi faktörlerin rol aldığı yüzeyin topografyasının özelliklerini yansıtan parametredir (Bollen vd., 1997; Arnold ve Bailey, 2000; Medilanski vd., 2002). Bu bağlamda yüzey topografyasının tanımında pürüzlülük terimi tanım olarak çokça kullanılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, Ra (aritmetik ortalama yükseklik), Rq (yükseklik değerlerinin ortalama karekökü) ve Rz (en yüksek beş tepe ile en düşük beş vadinin ortalaması arasındaki yükseklik farkı) dahil olmak üzere farklı nicel parametrelerle temsil edilmektedir (Whitehead ve Verran, 2006; Crawford vd., 2012).

Yukarıdaki açıklamalara bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün bakteri tutunumu ile ilişkisi sebebiyle bakteri bağlanması açısından çok önemli bir parametre olduğu görülmektedir. Bu sebeple yüzey pürüzlülüğünün karakterizasyonu doğal olarak önemli hale gelmektedir. Yüzey bakteri tutunmasına sebep olan bir takım deneysel varyasyonlar, farklı bakteri türleri, türler arasındaki fizyolojik farklılıklar, yüzey özellikleri, yüzey atomlarının kristal yapıları, kristal yapılarıdaki morfolojik farklılıklar yüzey tutunmalarında farklılık sebebi olabilecek ana sebepler olarak görülmektedir (McConnell vd., 2010). Bu sebeplerden dolayı, bakterilerin yüzeye tutunumunda, yüzey pürüzlülüğünün en küçük detaylarının bile rol oynayabildiği ve böylece büyük farklılıkların ortaya çıkabileceği görülmektedir.

1.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü ve Bakteri Tutunumu İlişkisi

Tutunma, bakteri hücre duvarı veya hücre duvarı dışındaki farklı organellerin yüzey teması gerçekleştikten sonra uygulanan yıkama işlemleri ve yüzey açısından bağımsız olarak konumunu koruması olarak tanımlanabilmektedir (Yao vd., 2020). Yapışma ise daha çok yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak gerçekleşen bakterinin tavrından bağımsız gerçekleşen bir olaydır ancak bu her durum için geçerli olmayabilmektedir. Pürüzlülük birim yüzey alanını artırdığı için yapışma işleminin kısmen de olsa artmasıyla tutunmaya katkı sağlayabilmektedir (Bos vd., 1999).

Katıların temas noktaları için mekaniksel olarak birçok teorik yaklaşım bulunmaktadır. Herzt tarafından temas yüzeylerini ve etkileşimlerini belirlemek için küresel cam (bilye) kullanılarak optik mikroskop ile 1896 yılında yapılan araştırma sonuçlarına göre kontak noktalarında yeniden düzenlenme gerçekleşmektedir. Ancak daha sonra Kendall (1968) ve Roberts (1969) tarafından küresel elastik kağıt modellerle yapılan çalışmalarda kontak noktalarının daha fazla ve güçlü tutunma kuvvetlerine sahip olduğu ve Herzt tarafından yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre daha fazla etkileşimin olduğunu göstermişlerdir (Johnson vd., 1971).

Yapılan modellemeler tutunma kuvvetleri göz önünde bulundurularak yapılmaktadır ve bu yaklaşım bakterilerin lipit tabakası, peptidoglikanlar ve hücrel uzantıların da matematiksel hesaba dahil edilmesine olanak sağlamaktadır (Front, 2021). Bu konudaki en yaygın fizikokimyasal yaklaşım olan genişletilmiş Derjaguin, Landau, Verwey and Overbeek (DLVO) modellemesidir. Bu yaklaşıma göre 20-50 nm mesafelerdeki itme ve çekme kuvvetleri (van der Waals, Lewis asit-baz ve Coulomb kuvvetleri) göz önünde bulundurulmaktadır (Wu vd., 2018). Yapılan çalışmalarda çoklu bağların oluşumu ve kırınımı, bakterinin makro hareketlerine bağlı olarak meydana gelen nano boyutlardaki kımıldamalar bu hareketlenmeye bağlı oluşan yeni kuvvetlerin yanı sıra farklı bakteri türlerinde bulunan özel hücre dışı organeller gibi çok farklı ve matematiksel hesaplamaları belirsiz olan durumlar ortaya çıkmaktadır (Westen vd., 2018; Boks vd., 2008).

Yapılan önceki çalışmalarda yüzey pürüzlülüğünün bakteri tutunumu üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Buna göre yüzey pürüzlülüğü, bakteri tutunması için mevcut yüzey alanını artırarak yapışma için uygun bir yapı iskelesi sağladığı görülmüştür (Yoda vd., 2014). Bu bilgilere ek olarak pürüzlü yüzeyler fiziksel kaymaya karşı mukavemet oluşturarak bakterinin yüzeyden uzaklaşmasını engelleyen kuvvetleri oluşturmaktadır (Bollen vd., 1996). Bu olay, yüzeye bağlı bakterilerin yüzeyden ayrılmasına direnç göstermesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, birçok çalışmada yüzey pürüzlülüğü arttıkça bakteri tutunması ve biyofilm oluşumunun arttığı görülmektedir (Xing vd., 2015; Yu vd., 2016; Yao vd., 2020). Önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre, *Staphylococcus epidermidis*, *P. aeruginosa* ve *Ralstonia pickettii*'nin daha geniş yüzey alanına ve pürüzlü yüzeylere yapışması, pürüzsüz yüzeylere göre daha yüksek düzeyde olduğu görülmüştür (James vd., 2019). Bir diğer çalışmada oral bakterilerin yüzey materyallerinden bağımsız olarak daha pürüzlü yüzeylere bakteriyel tutunmaya katkı sağlayarak arttırdığı gözlemlenmiştir (Yu vd., 2016). Yapılan bir diğer çalışmada ağız için disk numuneleri üzerinde (29 ila 214 nm arasında değişen) yapılan testlerde nano ölçekli yüzey pürüzlülüğü ile orantılı olarak bakteri tutunumunun arttığı belirlenmiştir (Feng vd., 2015).

Bugüne kadar yapılan araştırmaların çoğu çoklu yüzey parametrelerinin, bakteriyel mobilite veya çevreleyen hidrodinamik koşulların, yüzeylerdeki bakteriyel algılama ve bağlanma davranışı üzerindeki etkileri dikkate alınmamıştır. Fakat bakterilerin pürüzlü yüzeylere bağlanmadan önce yüzeydeki organik ve inorganik maddelerin etkileşimi sonucunda oluşan bakteriyel bağlanma davranışları önemli ölçüde etkilenmektedir (Abdalla vd., 2020). Bu nedenle, tek bir yüzey parametresine ve bunun

bağlanma üzerindeki etkisine odaklanmak yerine çoklu yüzey parametrelerinin bakteriyel bağlanma üzerindeki etkilerinin tamamını değerlendirmeye dahil etmek gerekmektedir (Nogueira vd., 2017). Sonuç olarak, bakterinin yüzeye tutunmasında yapılan çalışmalarda mikro boyutlardaki yüzey özellikleri incelenmiştir ancak yüzey tutunumu için LTA ve WTA gibi hücre dışı polimerik yapıların atomik boyutta yüzey ilişkileri detaylı olarak araştırılmamıştır. Bu sebeple, LTA ve WTA gibi moleküllerin koordine bağlarla yüzey atomları ile yaptığı/yapabileceği etkileşimler ve bu kompleks yapıların bakteride oluşturduğu etkilerin incelenmesi önem arz etmektedir.

1.3.4. Yüzey Sertliği

Yüzey sertliği, bakteri adezyonunu ve biyofilm oluşumunu etkileyen bir diğer önemli faktördür. Gerilmenin gerinime oranı ile tanımlanan Young modülü, sertliği temsil etmek için kullanılan yaygın bir parametredir. Düşük bir Young modülü, malzemenin daha yumuşak ve daha elastik olduğunu göstermektedir. *E. coli* ve *S. aureus* gibi bakterilere ilişkin polietilen glikol dimetakrilat (PEGDMA) ve agar hidrojel gibi substrat yüzeyi olarak kullanılan çalışmalarda, bakterilerin hidrojel kimyası veya yapışma mekanizmasından bağımsız olarak artan malzeme sertliği ile bakteriyel yapışmanın arttığı bulunmuştur (Kolewe vd., 2015). Benzer olarak poli(etilen glikol) hidrojel ve agaroz hidrojel gibi substrat kullanılan çalışmaların tümü, tutunma ve sertlik arasında pozitif bir korelasyon göstermiştir (Guegan vd., 2013). Fakat yapılan diğer birçok çalışmada zıt bir eğilimin olduğu görülmektedir. Örneğin, polidimetilsiloksan (PDMS) substrat olarak çalışmalarda çoğunlukla sertlik ile tutunma arasında negatif bir ilişki gösterilmiştir (Song ve Ren 2014; Song vd., 2017; Song vd., 2018; Straub vd., 2019; Peng vd., 2019). Yapılan bir çalışmada 0,1 ile 2,6 MPa aralığında bir Young modülüne sahip olan yüzeyde bakteri yapışmasına ek olarak, bakteri hücresinin yüzey kimyası, yüzey pürüzlülüğü ve elektrostatik kuvvetten bağımsız olarak sertlik ile negatif ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Song ve Ren, 2014; Siddiqui vd., 2019). Önceki çalışmaların çoğu, malzeme sertliğinin bakteri yapışması üzerindeki rolünü incelemeye çalışırken, test edilen substratların atomik düzeyde, kristal yapısı, kristal morfolojisi, kristal büyüklüğü gibi yüzey özelliklerini göz önünde bulundurmamıştır (Song vd., 2017).

Genel olarak bakterinin substrat yüzeyi ile etkileşiminde malzemenin yapısı, yüzey pürüzlülüğü, topografyası ve yüzey sertliği ile ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Bakteri hücre duvarının ara yüzeye temas ettiği bölgelerin moleküler yapısı yüzeye yapışmada etkili olan parametrelerden biri olduğu yapılan çalışmalarda ortaya

konmuştur. Sonuçta, bakterinin yüzeyle etkileşerek patojenik etki göstermesinde hem substrat yüzey özelliklerinin hem de bakterinin moleküler yapısının önemli rol oynadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle bakterinin yüzeye tutunmasında yukarıda belirtilen parametlerin yanısıra bakteriyel algılamayı da nasıl etkilediğinin mekanizması hakkında çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir (Kolewe vd., 2015).

2. MATERYAL-METOT

2.1. Materyal

6063 metalik Alüminyum alaşımı: Alaşım yüzeyinin Alüminyum oksit kaplamasında Eti Alüminyum'un 6063 kodlu alüminyum alaşımı kullanılmıştır.

Sülfürik asit: Eloksal işleminde elektrolit içerisinde %98 saflıkta sülfürik asit (H_2SO_4) kullanılmıştır.

Redresör Kaplama işleminin gerçekleştirildiği Elektrolit havuzunda gerekli akımın verilmesi için kullanılmıştır.

Fischer Isoscope marka Mikron Ölçüm Cihazı: Eloksal sonrası oluşan oksit tabakanın kalınlığını ölçmek için kullanılmıştır.

Quanta Feg 25 marka SEM Mikroskobu (Dicle Üniversitesi): Yüzey morfolojilerinin incelenmesi için taramalı elektron mikroskobu, yüzey element içeriği enerji dağılım x-ray (EDX) ile belirlenmiştir.

Bruker D8 Discover marka XRD Cihazı (Bayburt Üniversitesi): Kristal morfolojisinin özelliklerinin incelenmesi için kullanılmıştır.

Qness Q10 marka Mikrosertlik Ölçüm Cihazı (Karabük Üniversitesi): 1 kg'lık yük altında yapılan mikro sertlik ölçümü TS EN ISO 6506 standartından yararlanarak yapılmıştır.

Park System XE-100 ve NX10 marka AFM testi (Dicle Üniversitesi - Çukurova Üniversitesi): Yüzey topolojisinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

FE-SEM testi (Bozok Üniversitesi): Alüminyum oksit kaplama yapılmış alüminyum yüzeyine ekilen bakterilerin altın kaplama yaparak incelenmesinde kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Eloksal Kaplama İşlemi

Alüminyumun kaplanmasında yüzeyi yağdan ve kirden arındırılarak eloksal prosesine hazır hale getirilmesinde önemli olan ilk etap ön yüzey işlemleridir. Bu işlemde alüminyumun temizlenmesi gerekir çünkü alüminyum dekoratif amaçla kaplama yapıldığında yüzey nasıl ise kaplama sonrasında da yüzey aynı görünecektir. Bu sebeple, yüzeyde bulunan kirliliğin ve eloksal işleminin sağlıklı şekilde yürütülmesine engel olan maddelerin yüzeyden uzaklaştırılması önemlidir. Eloksal

prosesini kısaca 3 ana başlıkta sınıflandırabiliriz. Bunlar, ön işlemler, sonra eloksal uygulaması ve bunun akabinde son işlemler olarak belirtebiliriz. Proses akışı aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Kullanılan 6063 alaşımının element içeriği aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. 6063 alüminyum alaşımı element içeriği (Eti Alüminyum)

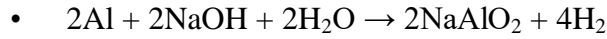
Element	Al	Si	Mg	Fe	Cu	Cr	Zn	Mn	Ti
%(w)oranı	98.87	0.42	0.50	0.2	0.02	0.009	0.02	0.05	0.01

Proses akışı aşağıdaki gibidir:

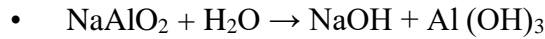
Yağ giderme- durulama- dağlaştırma- durulama- durulama- nitrik asit- durulama- eloksal- durulama- soğuk tespit- durulama- yaşlandırma

Alüminyum yüzeyinde ekstrüzyona bağlı oluşan yağ ve kirleri uzaklaştırmak için yağ alma denilen sodyum karbonat ve deterjan içerikli 60 °C' lik havuzda 8 dk bekletilmiştir. Yapılan bu işlemden sonra yüzeyde kalan kalıntıları uzaklaştırmak için oda sıcaklığında saf su ile durulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Durulama işleminden sonra % 30' luk NaOH içerisinde 60 °C' lik dağlaştırma havuzunda 8 dk bekletilmiştir. Bu işlem sırasında aşağıdaki basamaklı reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir.

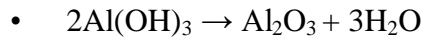
Aşındırma reaksiyonu;



Alüminatın çözünmesi;



Katı hidroksitin dehidrasyonu;



Reaksiyon sonucu yüzeydeki kalıntıları uzaklaştırmak için 45 °C' lik iki ayrı durulama daha yapılmıştır. Bu işlemden sonra yüzeyde oluşan sodyum alüminatın uzaklaştırılması için %10' luk nitrik asit içerikli ortam sıcaklığına sahip havuzda 3 dk bekletildikten sonra durulama saf su ile durulama yapılarak yüzey temizlik işlemi tamamlanmıştır. Yüzey hazırlığı yapıldıktan sonra alüminyum numuneleri için üç farklı akım yoğunluğu uygulanmıştır. Bu işlemler 1. Alüminyum numunesi için 1.5 A/dm² akım yoğunluğu, 2. Alüminyum numunesi için 1.6 A/dm² akım yoğunluğu, 3. alüminyum için 1.7 A/dm² akım yoğunluğunda yüzey kaplama işlemi yapılmıştır. Akım yoğunluğuna bağlı olarak sırasıyla süreler sırasıyla 32, 30, 28 dk olacak şekilde alüminyum yüzeylerinin oksit tabakası ile kaplanması tamamlanmıştır parçalar tespit işleminden geçirildikten sonra parçalar durularak yüzey görüntüleme işlemlerine geçilmiştir. Son kısımda ise plakalar 65 °C' lik saf su içerikli havuzdan geçirilip

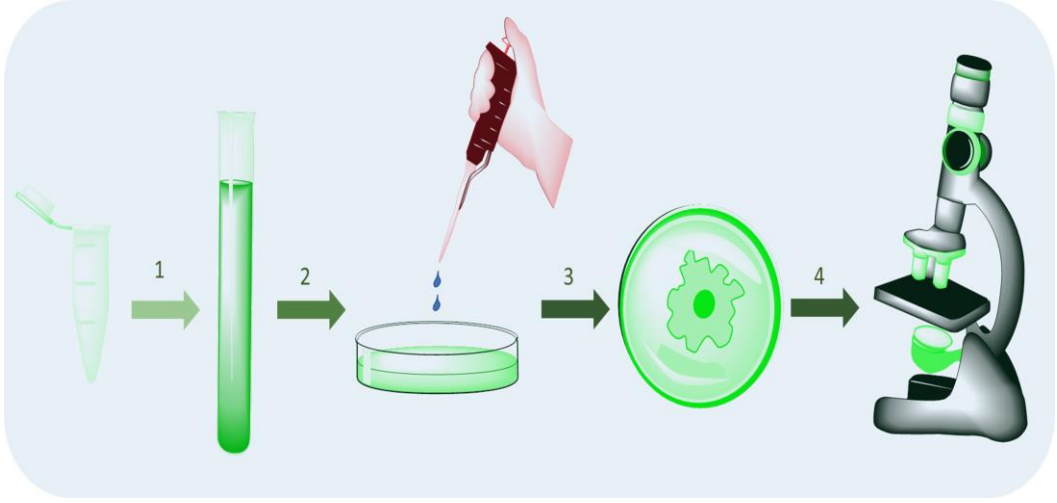
yıkandıktan sonra yüzeyleri kurutulmuştur. Kurutulan parçaların SEM, EDX, AFM, Mikrosertlik, XRD ölçümleri yapılmıştır.

2.2.2. *Staphylococcus Aureus* Bakterisinin Alüminyum Oksit Tabakası Üzerine Ekimi

Staphylococcus aureus ATCC gliserol stoğundan steril öze yardımıyla Tryptic Soy Agar besiyeri içeren Petri kabına yayılarak 37 °C’de 18 saat inkübe edilmiştir. Petri kabında büyüyen izole bir koloni steril özeye 3 mililitre (mL) Tryptic Soy Broth (TSB) içeren kültür tüpüne aktarılarak 37 °C ve 200 rpm’ de 18 saat boyunca inkübe edildikten sonra 1/100 oranında yeni bir kültür tüpünde TSB ile seyreltilip aynı koşullarda 4 saat boyunca inkübasyona devam edilmiştir. Bakteri kültürü, 3000 rpm’ de 5 dakika boyunca santrifüjlenerek süpernatant kısmı uzaklaştırılmıştır. Bakteri peleti, aynı santrifüjasyon parametreleri kullanılarak steril Phosphate-Buffered-Saline (PBS) ile 3 defa yıkandıktan sonra yine PBS içerisinde süspanse edilmiştir.

Bakteri konsantrasyonu, 600 nm’ deki optik yoğunluk 0.5 olacak şekilde ayarlanarak ve alüminyum oksit (Al_2O_3) numuneleri üzerine eklenip 25 °C’ de 18 saat inkübe edilmiştir. Yüzeye tutunmayan bakteriler 3 mL PBS ile yıkanarak uzaklaştırıldıktan sonra, Al_2O_3 tabakasına tutunan bakteriler PBS içerisinde hazırlanan % 3’ lük glutaraldehit çözeltisi ile 4 °C’ de 24 saat boyunca fikse edilmiştir.

Al_2O_3 tabakaları 3 mL PBS ile tekrar yıkandıktan sonra, %30, %50, %70, %80, %90 seri etanol çözeltileriyle her biri için 15 dakika olacak şekilde, %96’ lık etanol çözeltisi ve sonunda %100 saf etanol ile 30’ ar dakika boyunca dehidrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Plakalar, 25 °C’ de kurutularak alan emisyonlu-çevresel taramalı elektron mikroskobu (FESEM) analizi öncesinde vakumlu plazma püskürtme yöntemiyle altınla kaplanmıştır. Al_2O_3 tabakası görüntüleri FESEM parametreleri 5-10 kV ve 20000x ve 100000x magnifikasyona ayarlanarak alınmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Bakteri kültürünün numuneye ekimi ve incelenmesinin temsili görseli

1-(-80 °C)' de muhafaza edilen bakteri oda şartlarına alınmıştır,

2-bakteri uygun besi ortamına bırakılmıştır,

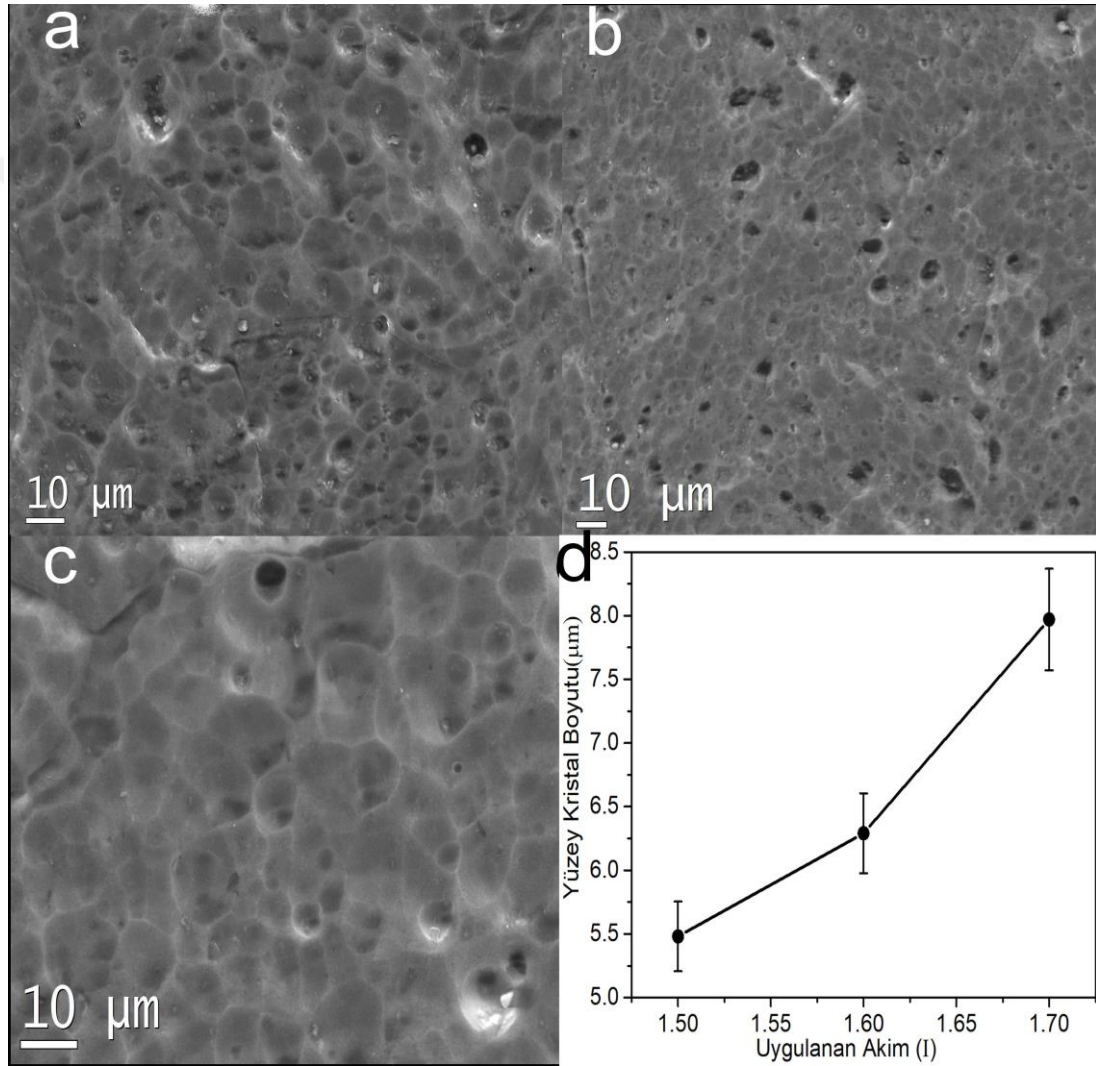
3-besi ortamındaki bakterilerin alüminyum oksit yüzeye alınmış ve bakteri yüzey sabitleme işlemi yapılmıştır,

4-oksit tabakasındaki bakterilerin alan emisyonlu çevresel taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ile incelenmiştir.

3. BULGULAR

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarda öncelikle yüzey yapısı elektron mikroskobu yardımıyla detaylı olarak incelenmiştir. Bu inceleme ile elde edilen yüzey kristal boyut büyüklüğüne bağlı olarak model bakteri seçimi gerçekleştirilmiştir.

3.1. Taramalı Elektron Mikroskop Sonuçları



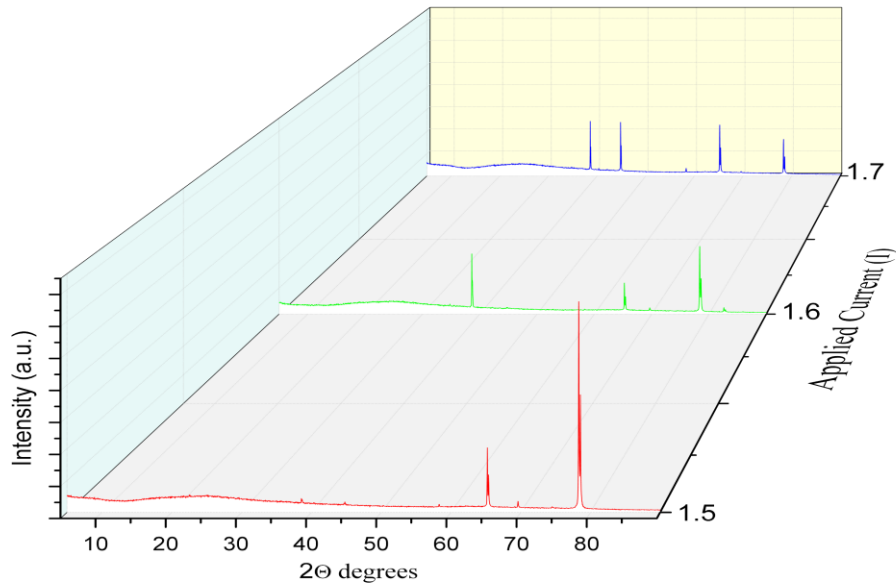
Şekil 4. a (1.5 A/dm²), b (1.6 A/dm²) ve c (1.7 A/dm²) akım yoğunluklarındaki SEM görüntüleri, d sonuçlara bağlı değişim grafiği

Alüminyum oksit yüzeyi yüzey Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında, alüminyum yüzeyine kaplanan oksit tabakasının yüzey özellikleri farklı magnifikasyonlarda ölçümler alınarak yüzeyde oluşturulan oksit tabakasının boyutları ve şekilsel yapıları detaylı olarak incelenmiştir (Şekil 4. a, b, c).

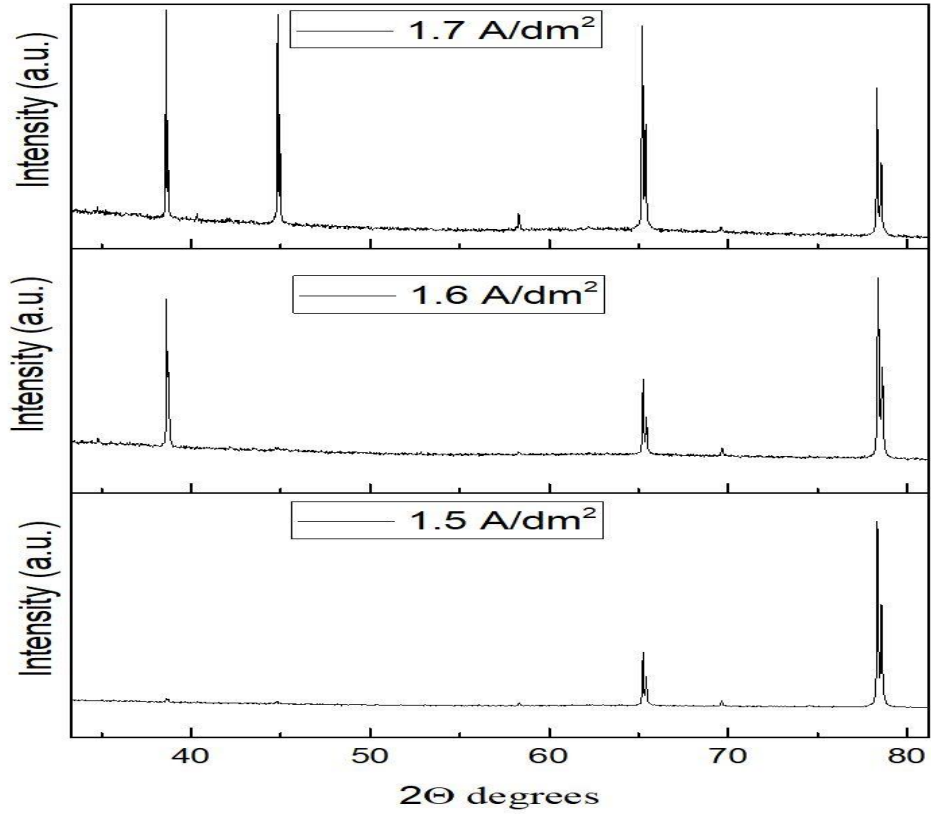
Elde edilen sonuçlara göre, akım yoğunluklarının artışına bağlı olarak kristal boyutunun da arttığı gözlenmiştir. Yüzeyde oluşan oksit tabakasının kristal boyutlarının belirlenebilmesi için 200' den fazla kristal tek tek ölçümlenmiştir. Kristal boyutları, elde edilen değerlerin aritmetik ortamları alınarak bulunmuştur (Şekil 4-d). Bu hesaplamalar ile akım yoğunluklarının artışıyla yüzey kristal boyutunun büyüdüğü gözlemlenmiştir (Şekil 4-d) (Bruera vd., 2021; Sulka ve Parkola, 2007; Bai vd., 2008). Bu sonuçlar, yüzeyin pürüzlülüğü ve kristal boyutunun yakından ilişkili olduğunu ve şekilsel olarak bozuk hegzagonal yapıya benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, oksit yüzeyindeki kristallerin farklı yönlere doğru büyüme gösterebildiği görülmüştür (Zhang vd., 2020).

Yapılan diğer çalışmalarda da yüzey morfolojisinin değişimi kaplama parametrelerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada alüminyumun anodik oksidasyon kaplama işleminde farklı sıcaklık ve farklı akım yoğunluklarında yüzeyin sertliğinde ve pürüzlülüğünde değişim olduğu gözlemlenmiştir (Yavuz ve Küçükömeroğlu, 2022). Buna göre kaplama şartlarında yapılan değişiklikler yüzey özellikleri üzerinde değişime neden olmaktadır.

3.2. X-Işını Kırınım Ölçüm Sonuçları



Şekil 5. 1.5 A/dm², 1.6 A/dm² ve 1.7 A/dm² akım yoğunluklarındaki XRD sonuçları

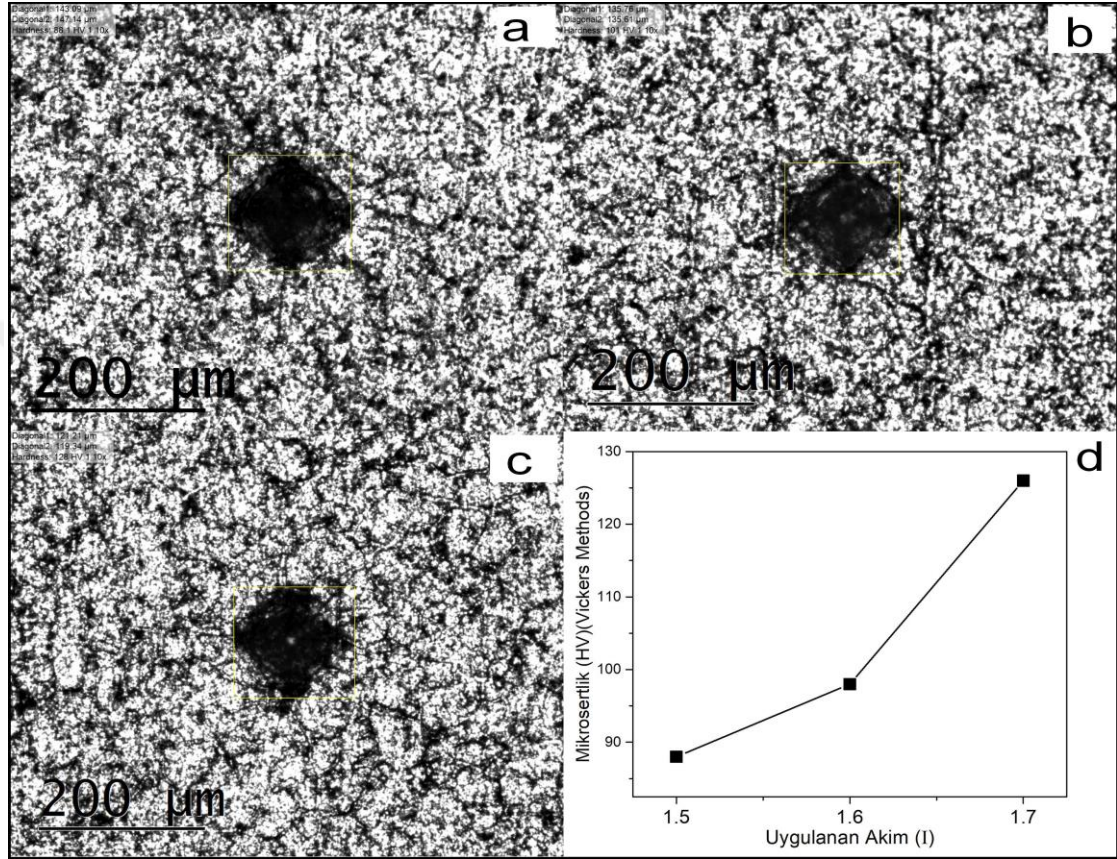


Şekil 6. 1.5 A/dm², 1.6 A/dm² ve 1.7 A/dm² akım yoğunluğunda üretilen alüminyum oksit yüzeyin x-ray kırınımının grafiği

1.5 A/dm², 1.6 A/dm², 1.7 A/dm² akım yoğunluklarına sahip 3 farklı alüminyum oksit tabakasının X-Işını Kırınım (XRD) yansıması görülmektedir (Şekil 5, Şekil 6). Elde edilen sonuçlara göre dört farklı derecede 38.45°, 44.51°, 65.06° ve 78.15° pik gözlemlenmiş ve bu piklerin sırasıyla (111), (200), (220) ve (311) koordinatlarına denk gelen kristal yapıların düzlemleri olduğu belirlenmiştir. Alüminumun kristal aralıklarındaki mesafenin (d) γ ve θ kristal yapıları için birbirine çok yakın olduğundan XRD analizinde alümina için net bir bilgi verebilmenin oldukça zor olduğu görülmektedir (Stuart ve Sohlberg, 2021; Yatsenko vd., 2021). Ayrıca, alümina pikleri incelendiğinde bu piklerin kesinlikle birbirleriyle örtüşmediği ve küçük kaymaların olduğu gözlemlenmiştir. 38.62°, 44.94°, 65.24° ve 78.38° de görülen pikler, γ -Al₂O₃ ile örtüşmekte olup önceki çalışmalar ve referans çalışmalar ile benzerlik göstermektedir (Juyana ve Derman, 2011; Mohammed vd., 2020). XRD sonuçlarına göre 44.82° ve 44.94° de sadece 1.7 A/dm² akım yoğunluğunda pik oluşumu görülürken 1.5 A/dm² ve 1.6 A/dm²'daki diğer akım yoğunluklarında bu açılarda herhangi bir yansıma piki gözlemlenmemiştir (López vd., 2018; Li vd., 2020; Kaviti ve Akkala, 2023). Elde edilen bu sonuçlara göre akım yoğunluğunun değişimine bağlı

olarak kristal morfolojisinin değiştiği ve buna bağlı olarak farklı yeni piklerin oluştuğu böylece oluşturulan oksit tabakasının yüzey kristal morfolojisinin farklılaştığı gözlemlenmiştir.

3.3. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları



şekil 7. a (1.5 A/dm^2), b (1.6 A/dm^2) ve c (1.7 A/dm^2) akım yoğunluklarındaki Mikrosertlik sonuçları, d uygulanan akım mikrosertlik değişim grafiği

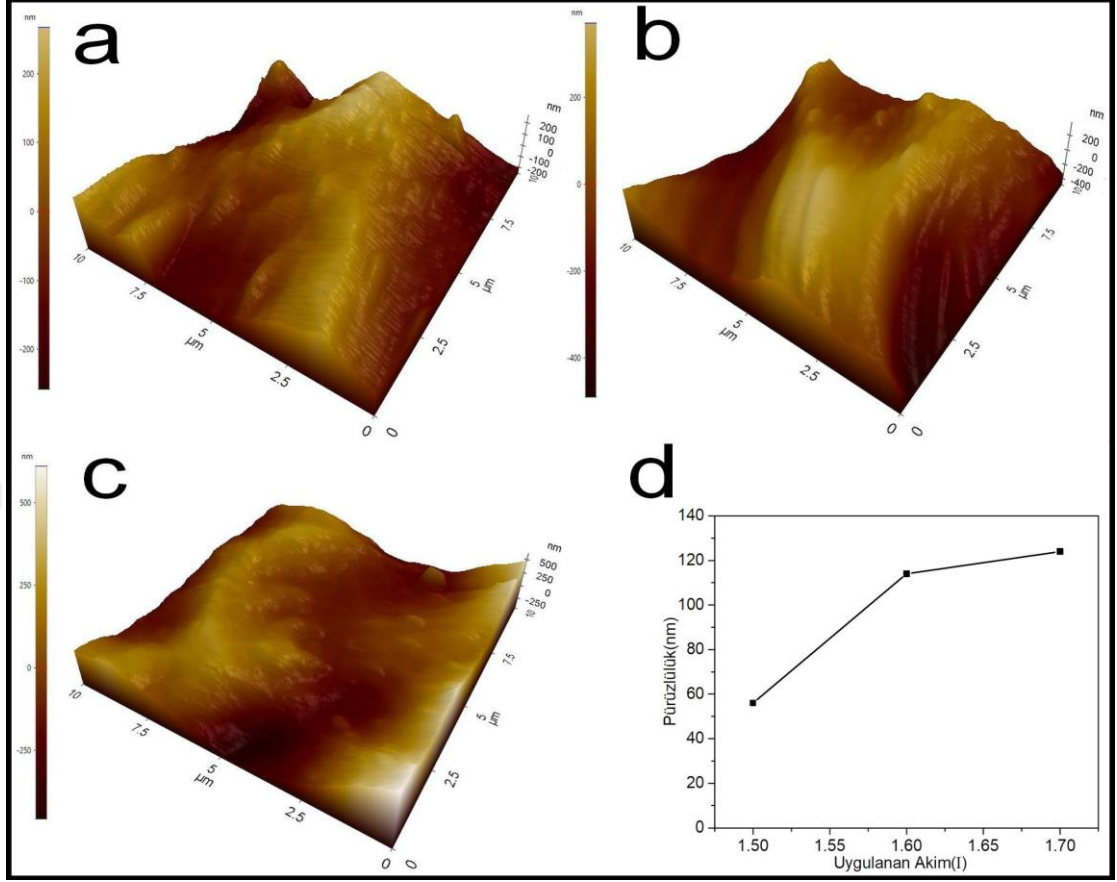
1.5 A/dm^2 , 1.6 A/dm^2 , 1.7 A/dm^2 akım yoğunluklarına sahip 3 farklı alüminyum oksit tabakasının mikrosertlik ölçümleri görölmektedir (şekil 7). Mikrosertlik, yüzey morfolojik yapısına ve morfolojinin değişimlerine bağlı olarak değişmektedir (Ahmed vd., 2022; Ditenberg vd., 2020). Yapılan bir çalışmada sık istiflenmiş yapıların (111) dislokasyon enerjisi yoğunluğunun yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Kumaraguru ve Mohan, 2018). Ayrıca farklı akım yoğunluklarının, kristal büyümesi sırasında açıkça morfolojik değişimler sergilediği görölmüştür bu değişim de mikrosertliğin farklılaşmasına sebep olmuştur (Alvarez vd., 2019; Ijaz vd., 2021).

Belirli bir akım yoğunluğu ile uzatılan eloksal süresinin oksit tabakasının kalınlığını ve gözenekli yapısına katkı sağladığı deneysel çalışmalarımızda zaman ve kalınlık ilişkisi bakımından uyumlu olduğu belirlenmiştir (Ahmed vd., 2022;

Kumaraguru ve Mohan, 2018). Ayrıca belirli bir süre ile daha yüksek akım yoğunluğu yine hem reaksiyon sıcaklığını hem de oksit tabakasının kalınlığını arttırmıştır. Bu durumda elektrolitik çözeltide daha yüksek enerjiye sahip daha fazla iyon yüzey reaksiyonuna katılmış ve bu da zamanla kalınlığın artmasına neden olmuştur (Alvarez vd., 2019). Ek olarak, daha küçük ve daha yakın oksit çekirdekleri daha düşük akım yoğunluğu sırasında meydana gelmiş ve aynı zamanda daha yüksek akım yoğunluğu sırasında daha büyük ve daha uzak oksit çekirdekleri oluşmuştur (Opini vd., 2016). Yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde, sabit akım yoğunluğunda anodizasyon süresinin artması oksit tabakasının kalınlığını arttırmış ve daha yüksek akım yoğunluğu, yüzey oksit tabakasının da daha büyük gözenek boyutuna ulaşmasına sebep olmuştur (Kumaraguru, vd. 2018).

XRD deseninde görülebilen farklı alüminyum oksit tabakalarındaki kristal yapıların morfolojik değişimleri sonuçlarına göre; bütün oksit tabakası morfolojisinde (220) ve (311) yansımaları gözlemlenmiştir. Fakat 1.6 A/dm^2 akım yoğunluğu yalnızca (111) yansımalarını ve 1.7 A/dm^2 akım yoğunluğu fazı, hem (111) hem de (200) yansımaları ortaya çıkarmıştır. Bu sonuçlara göre uygulanan akım yoğunluklarına bağlı olarak oksit tabakasının morfolojik faz farklılıkları içerdiği ispatlanmıştır. Önceki çalışmalarda en düşük yüzey yoğunluğu (220) morfolojisine sahip kristallerde gözlemlenirken, (111) kristalin morfolojide en yüksek yüzey enerjili kristal yönelimine karşılık geldiği bulunmuştur (Lee vd., 2011; Alvarez vd., 2019). Bu çalışmalara bağlı olarak değerlendirildiğinde, farklı akım yoğunluklarının (111) kristal morfolojisine sahip oksit tabakasının sertliğinin en yüksek çıktığı doğrulanmıştır. Sonuçta, mikrosertlik yüzey morfolojisine bağlı olarak değişiklik göstermektedir ve yapılan çalışmada farklı yüzey morfolojisine sahip yüzey kristallerinin mikrosertliklerinin değişiklik gösterdiği bulunmuştur (Şekil 7) (Opini vd., 2016; Tabrizi vd., 2023).

3.4 Atomik Kuvvet Mikroskop Sonuçları

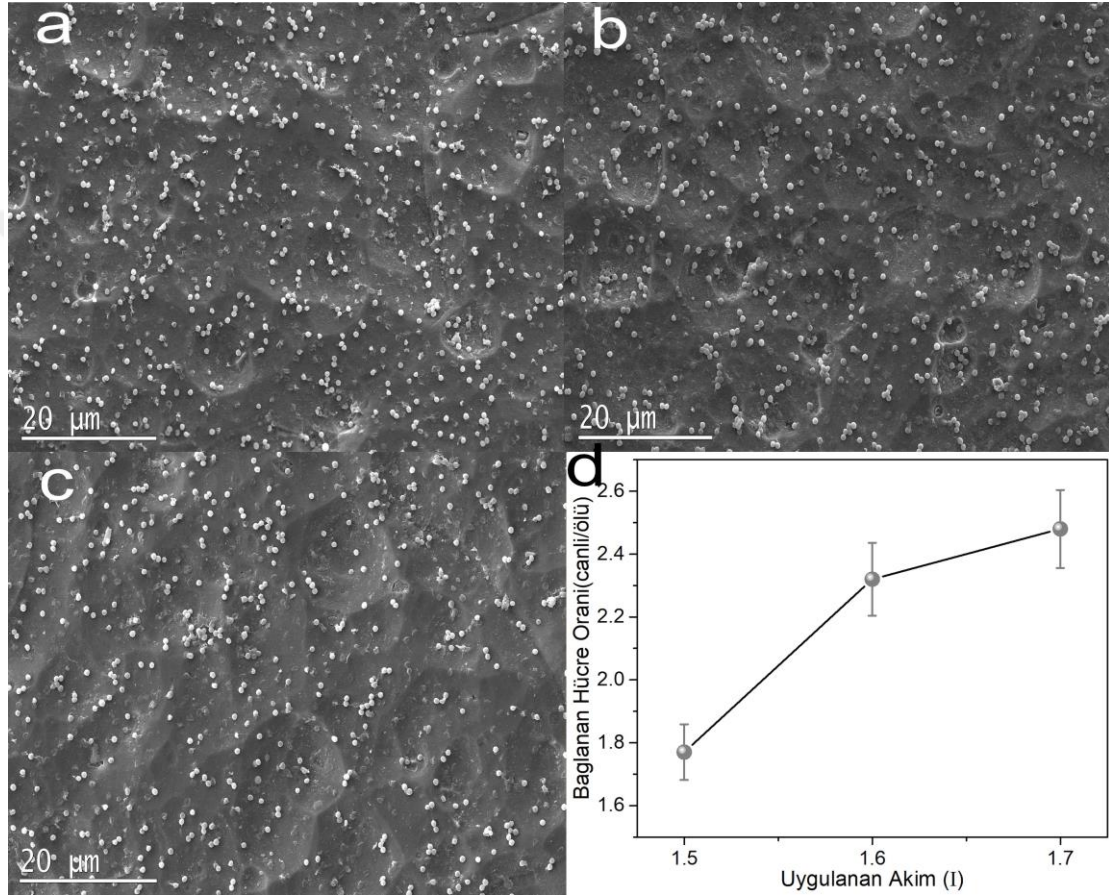


Şekil 8. a (1.5 A/dm^2), b (1.6 A/dm^2) ve c (1.7 A/dm^2) Atomik Kuvvet Mikroskobu ile yapılan yüzey taramasının görüntüleri, d akım yoğunluğuna bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi

Maddelerin yüzey kısımları etkileşim noktaları olarak diğer cisim ve canlılarla temas yüzeyi oluşturduğu için diğer canlıların buraları yaşam alanı olarak belirlemesinde önem arz etmektedir. Özellikle mikroskobik boyutlarda olan farklı bakteri türlerinin bu yüzeyde tutunabilmesi ve burada çoğalabilmesi yüzey özellikleri ve kristal morfolojisi ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle yüzeyin 3 boyutlu (3D) yapıları (Şekil 8)' de aynı çözünürlükte rastgele seçilen $100 \mu\text{m}^2$ alanlarda tapping modu ile Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) vasıtasıyla taranmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), üç farklı yükseklik profili taramasının aritmetik ortalamasından hesaplanmıştır. 1.5 A/dm^2 , 1.6 A/dm^2 , 1.7 A/dm^2 akım yoğunluklarında pürüzlülüğün sırasıyla 56 nm, 114 nm ve 124 nm olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 8) (Sulka ve Parkola, 2007). Yüzey taraması işlemlerinde gösterilen grafikte derinlikler koyu kahverengi ile belirtilirken; yükselteler açık renk ile belirtilen yerler ifade edilerek yükselti farklılıklarını ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, 1.5 A/dm^2 ve 1.6 A/dm^2

akım yoğunluklarında (Şekil 8-a) ve (Şekil 8-b) derinlik ölçümleri 200 nm olarak yapılırken 1.7 A/dm² akım yoğunluğunda (Şekil 8-c) ise yükselti farklılıklarının ölçümlerinde derinliklerin yaklaşık 500 nm de olduğu belirlenmiştir. Yapılan yüzey taramaları sonucunda akım yoğunluğu artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün de arttığı tespit edilmiştir (Şekil 8-d).

3.5 Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskop Sonuçları



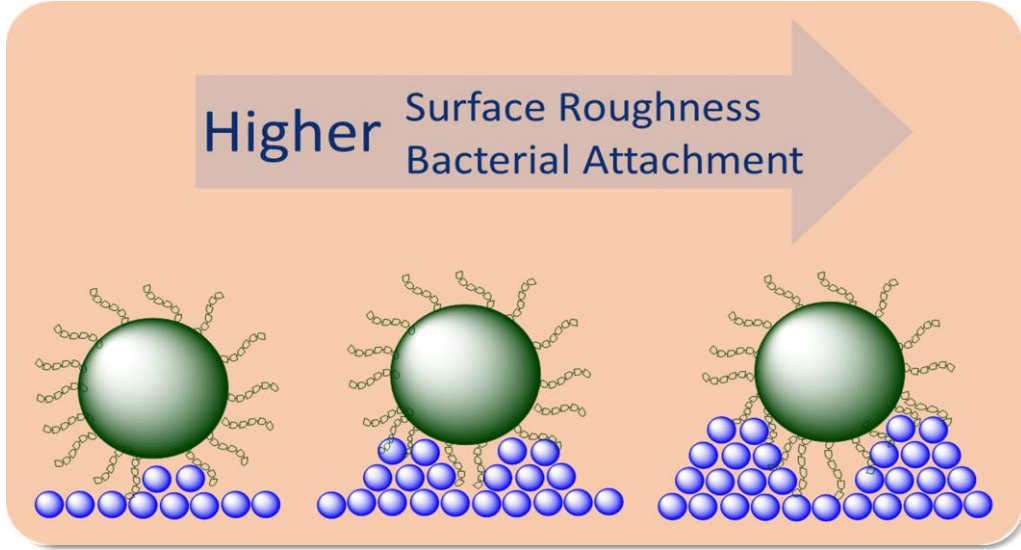
Şekil 9. a (1.5 A/dm²), b (1.6 A/dm²) ve c (1.7 A/dm²) farklı akım yoğunluklarındaki ekim yapılan bakterilerin FESEM görüntüleri, d sonuçlara bağlı değişim grafiği

Bakterinin oksit kaplı yüzeydeki gelişimleri ve buna bağlı olarak tutunma özelliklerinin değişimi Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) ile incelenmiştir. Buna yönelik olarak yüzeylerden rastgele alınan fotoğraflar tek tek incelenerek bakteriler rengine ve şekillerine göre değerlendirilip hesaplanmıştır. Hücre membranı hasarından dolayı ölen bakterilerin hücre içeriğinin dışarıya doğru sızdığı ve buna bağlı olarak hücrenin yaşamsal faaliyetlerinin sonlandığı görülmüştür. Oksit yüzeylerden alınan 5x (83.25x59.78) µm² boyutlarından elde edilen veriler neticesinde her bir oksit tabakası üzerinde ayrı ayrı 2000' in üzerinde bakteri tek tek incelenmiştir.

Nano-mikro ölçekli incelemelerden elde edilen sonuçlara göre bakteriler tutunma işlemi için en iyi geometrik alanlarla birlikte oyuk ve köşeli gibi yüzey temas alanının arttığı pozisyonları tercih ettiği görülmüştür. Bakterinin yüzey oksit tabakası etkileşiminde yüzey pürüzlülüğü ve bakteri artışında doğrusal bir bağlantı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu sonuç, XRD' den elde edilen data ile tutunum oranının doğrusal ilişki sergilediğini göstermiştir. Akım yoğunlukları değişimine bağlı $I_{1.5} > I_{1.6} > I_{1.7}$ bakteri tutunumu gösterilmiştir (Şekil 9-a, b, c). Ayrıca değişen akım yoğunluklarında bakterilerin (canlı/ölü) oranı sırasıyla 1.77, 2.32, ve 2.48 olarak bulunmuştur (Şekil 9-d). Elde edilen sonuçların birbiriyle örtüştüğü görülmektedir çünkü daha pürüzlü oksit tabakası yüzey etkileşimi hücreye toksik madde alımını arttırmaktadır. Hücreye alımı gerçekleştirilen bu toksik maddeler ise hücre içi elektron transferine, oksidatif DNA hasarına ve lipid membran oksidasyonuna neden olarak hücrenin yaşamsal faaliyetinin sonlanmasına sebep olmaktadır (Ansari vd., 2013; Gudkov vd., 2022; Von vd., 2014).

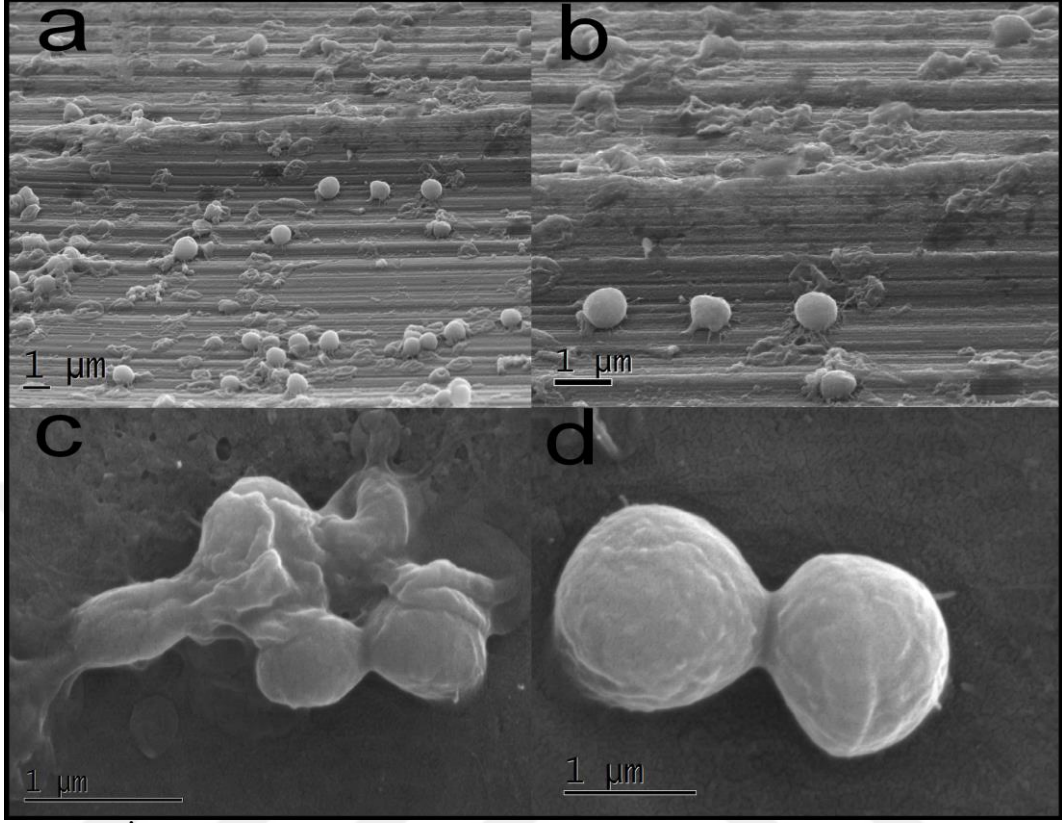
Ayrıca yapılan önceki çalışmalarda yüzey metal katyonu ile polifosfodiester grubu arasında başka bir kompleks koordinasyon yapının daha olduğu belirtilmiştir (Wickham ve Rice, 2008). Önceki çalışmalara bağlı olarak, yüzey ve bakteri arasındaki etkileşimler incelendiğinde LTA polimerlerinin kimyasal yapısını ve teikoik asit molekülü üzerindeki fosfat gruplarına bağlı etkileşimlerin olabileceğini belirtmektedir (Hussain vd., 2001). Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda genel olarak teikoik asit ve onun yapısı hakkında araştırmalar yapılmış ancak yüzey morfolojisine bağlı olarak bakterilerin tutunmalarını ve yaşamsal faaliyetlerini nasıl etkilediği üzerinde pek durulmamıştır. Bu sebeple mevcut oksit tabakasının kristal morfolojisinin tutunma üzerine etkilerine bakıldığında yüzey oksit tabakasının morfolojisinin tutunmayı etkileyebileceği görülmektedir (Kaya ve Sarıbiyık, 2023).



Şekil 10. Farklı basamaklı atom sayısının bakteri ile etkileşimlerinin temsili gösterimi

Sonuçta elde edilen bilgilere göre farklı akım yoğunlukları altında üretilen oksit tabakaları yüzey morfolojisinde farklılıklar oluşturarak yüzey topografyasının değişmesine sebep olmaktadır (Şekil 9). Bu değişim, LTA ile oksit tabakası arasındaki etkileşimi artıracak ve böylece daha fazla tutunum gerçekleştirmesine sebep olabilecektir. Daha detaylı olarak incelendiğinde oksit tabakasının morfolojik yapısına bağlı olarak koordinasyon sayılarının değişebileceği öngörülmektedir. Yüzey morfolojisine bağlı olarak (111), (100) ve (110) gibi morfolojiler için koordinasyon numarasının sırasıyla 9, 8 ve 7 olduğu görülmektedir (Sarıbyık vd., 2020). Bununla alakalı olarak 1.7 A/dm^2 akım yoğunluğunda oluşan kristalde XRD sonucuna göre (111) kristal düzeninin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca 38.62° , de görülen pik sadece 1.6 A/dm^2 akım yoğunluğunda ortaya çıkmıştır ve 1.5 A/dm^2 akım yoğunluğunda düşük şiddette bir pik olarak gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kristal morfolojisine bağlı olarak 1.7 A/dm^2 akım yoğunluğunda atomik düzeyde yüksek koordinasyondan dolayı en az bakteri tutunumu beklenmektedir ancak en fazla tutunum 1.7 A/dm^2 akım yoğunluğunda gerçekleşmiştir. Bu sonuç AFM ile elde edilen değerler ile örtüşmektedir. Bu bulgulara göre pürüzlülüğe bağlı basamaklı atom sayısının fazlalaştığı görülmüştür. Basamaklı atomlar daha düşük koordinasyon numarasına sahiptir bu sebeple teikoik asit zinciriyle daha fazla etkileşime girdiği düşünülmektedir (Şekil 10). Atomik düzeyde incelendiğinde daha pürüzsüz yüzeyler için kristal içi koordinasyon numarasının arttığı, bu durumun da yüzey atomlarının daha fazla kompleks oluşturmasını engellediği belirtilmektedir. Ancak daha pürüzlü yüzeylerde (basamaklı yapı içeren yüzey atomları) yüzey atomları daha düşük koordinasyon sayısına sahip olduğu için teikoik asit gibi ligand karakterli moleküllerle oluşturacağı

poli-kompleks yapıların sayısı artacak ve koordinasyon şekli değişecektir (Şekil 10) (Sarıbyık vd., 2020; Sarıbyık, 2022).



Şekil 11. İşlem görmemiş Al üzerinde *S.aureus* bakterisinin tutunumunun farklı magnifikasyonlarda gösterimi

Bakteri ekimi yapılan plakalarda dikine kesit alınarak yüzeyinde oksit tabaka olmayan metalik alüminyum üzerine de ekim gerçekleştirilmiş ve incelenmiştir. Kontrol grubu olarak oksit kaplama yapılmamış alüminyum yüzeyin kesiti incelendiğinde ekim yapılmış bakterilerin daha çok oyuklu ve çizgili yapı üzerinde tutunum sergilediği gözlemlenmiştir (Şekil 11-a, b).

Ayrıca metalik yüzey oksit tabakasına göre kıyaslandığında ölü bakteri sayısının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bakterilerin oyuklu yapıdaki tutunumunu daha yakından göstermektedir (Şekil 11-b). Metalik yüzeylerin oksit tabakaya kıyasla daha pürüzlü olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise kaplama prosesinden geçmeden tutunma testlerinin gerçekleştirildiğinden kaynaklanmıştır. Sonuç olarak, metal yüzeyinde pürüzlü yüzey bakteri tutunumunun yakından ilişkili olduğu tespit edilmiş ve yüksek oranda tutunum gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Bu durumda kaplama yapılmayan yüzeylerde metalik alüminyumun toksikolojik etkisi ve yüzeyin şekli bakteri tutunumunda yaşamsal faaliyetlerinin sonlanmasında etkili olabileceği anlaşılmıştır. FESEM görüntüleri daha detaylı incelendiğinde yaşamsal faaliyeti sonlanmış bir

bakterinin hücre zarı içi yaşam sıvısı materyallerinin dışarı çıktığı görülmektedir (Şekil 11-c). Canlı bir bakteri ve yüzeye tutunmuş formu görülmektedir (Şekil 11-d)



4. TARTIŞMA

Yapılan çalışmada farklı akım yoğunlukları altında üretilen alüminyum oksit tabakalarının kristal morfolojilerinin birbirinden farklı olduğu X-ray kırınım yöntemi ile olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak kristal boyutu büyüklüklerinin arttığı elektron mikroskobu ile belirlenmiştir. İlaveten, atomik kuvvet mikroskobu ile detaylı yüzey topografyası alınmış ve akım yoğunluğu artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğün arttığı grlmştir. Model bakteri ile yapılan tutunma deneylerinde bakteriyel tutunumun yüzey pürüzlülüğüne bağlı arttığı grlmştir. Daha detaylı bilimsel tartışmalar ilgili bölümlerde verilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Alüminyum üstün özellikleri sayesinde bir çok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv sanayii, gemi yapımı, inşaat ve dekorasyon alanlarında, sağlık alanında implant üretimi, telefon şasisi yapımı gibi hemen hemen her sektörde farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu farklı sektörlerde ticari faaliyet amaçlı kullanıldığı için faydalı kullanım sürelerinin maksimum olması hedeflenmektedir. Fakat korozyon alüminyumun uzun ömürlü kullanımını kısıtlayan ve çözülmesi gereken en önemli bir problemlerden birisidir. Alüminyumun korozyona bağlı kullanımını kısıtlayan ve ömrün azaltan korozyonun negatif etkilerini bertaraf etmek için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanlardan birisi de metalik alüminyumun yüzeyinin anodik şartlarda oksit tabakası ile kaplanmasıdır. Bu işlem kısaca Eloksal olarak tanımlanmaktadır. Eloksal kaplama yapılırken kaplama kalitesini etkileyen ve kaplama yüzeyinin morfolojisinde etkili olan parametreler arasında sıcaklık, akım yoğunluğu, süre, alüminyum alaşım çeşidi, elektrolit tipi gibi diğer unsurlar yer alır. Kaplama prosesinde uygulanan yöntemin parametrelerinden birinin veya bir kaçının değişimi kaplamanın morfolojik yapısını ve bu değişim de mikro ve nano boyutta yüzey özelliklerinin farklılaşmasına sebep olmaktadır. Nano ve mikro boyutlardaki bu değişimin farklı canlı grupları ile etkileşiminde ara yüz olarak bulunması bu canlıların bu yüzeylerdeki yaşamsal faaliyetlerini etkilemektedir. Bu canlılardan, *S. aureus* gibi enfeksiyona sebep olabilecek bakterilerin hayatımızın birçok alanında yaşam kalitemizin düşmesine sebep olabilmektedir. Bu sebeple günlük hayatta yoğun şekilde kullandığımız kapı ve dolap kulpları, telefon, korkuluklar, pencere çerçeveleri, implant gibi vücutla temas eden alüminyum yüzeylerin morfolojik farklılıkları önemlidir. Çünkü bakteri ve virüs gibi patojenik etki gösteren canlıların yüzeye tutunumu ve bu yüzeylerde hayatta kalma süreleri enfeksiyon oluşumunda rol oynamaktadır. Enfeksiyona sebep olan bu canlılar malzeme yüzeyine tutunurken etkili olan parametrelerin düzenlenebilmesi böylece doğal ortamlarda meydana gelen bulaş miktarının azaltılabilmesi ve kontrol edilebilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada 6063 serisi olan Alüminyum parçaların eloksal yöntemiyle kaplaması yapılmıştır. 1.5 A/dm^2 , 1.6 A/dm^2 ve 1.7 A/dm^2 akım yoğunlukları ile kaplama yapılan alüminyum parçaların yüzey özellikleri ve yüzeye ekimi yapılan *S. aureus* bakterisinin yüzeye tutunumu incelenmiştir. Farklı akım yoğunlukları ile üretilen alüminyum parçaların yüzey kalınlıkları, yüzey parametreleri, yüzey elementel

dağılımları, yüzey topografyası gibi yüzey özelliklerinin yanı sıra yüzey oksit tabakasının kristal morfolojisi Mikron, SEM, EDX, XRD, Mikrosertlik, AFM, ve FESEM gibi analitik ve enstrümental yöntemler kullanılarak detaylı olarak analiz edilmiştir. Bu incelemeler sonucunda kaplama kalınlığı her üç numunede de 15-16 mikron kalınlıklarında ölçülmüştür. Akım yoğunluğu değiştirilen parçaların kaplama süresi akım yoğunluğu arttıkça düşmüş böylece kaplama kalınlığı aynı kalmıştır. SEM ile yapılan yüzey incelenmesinde kaplamanın gözenek şekli ve gözenek boyutu detaylı olarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda akım yoğunluğu arttıkça gözenek şeklinin değiştiği ve gözenek boyutunun arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum akım yoğunluğuna bağlı olarak üretilen kaplamanın morfolojik olarak farklı yüzeyler oluşturabileceğini göstermektedir. EDX ölçümlerinde ise alüminyum yüzey içerisinde alüminyum ve diğer element içeriği oranları tespit edilmiştir. Her 3 numunede de yaklaşık %40-45 oranında Al, %50-55 oranında ise O ve kalan diğer oranlarda S tespit edilmiştir. Yüzey oksit tabakasının kristal özelliklerinin XRD sonuçlarında göre kristal morfolojilerinin farklı yönelimlere sahip kristaller barındırdığı gözlemlenmiştir. XRD sonuçlarına göre 44.82° ve 44.94° de sadece 1.7 A/dm² akım yoğunluğunda pik oluşumu görülürken 1.5 A/dm² ve 1.6 A/dm² daki diğer akım yoğunluklarında bu açılarda herhangi bir yansıma piki gözlemlenmemiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre akım yoğunluğunun değişimine bağlı olarak yeni piklerin oluştuğu böylece oksit olarak oluşturulan yüzey kristal morfolojisinin farklılaştığı belirlenmiştir. Akım yoğunluğunun değişimine bağlı olarak kristal morfolojilerinin değiştiği ve yeni piklerin oluştuğu bu piklerin de yüzeyde oluşan oksit tabakaları için farklı kristal yapılar oluşturduğu görülmüştür. Böylece oksit kaplama yapılan alüminyum yüzeyinde kristal morfolojisinin farklılaştığı sonucuna varılmıştır.

Yapılan önceki çalışmalarda morfoloji değişimlerinin malzemede sertliğin, dayanımın ve porozite gibi yüzey özelliklerine bağlı değerlerin değiştiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise mikrosertlik yöntemi ile oksit tabakalarının sertlik değerleri incelendiğinde akım yoğunluğu arttıkça sertliğin arttığı ve malzemenin kaplamasının daha kırılğan hale geldiği görülmüştür. Ayrıca akım yoğunluğuna bağlı olarak değişen morfolojilerin yüzey porozitesine etkisini incelemek amacıyla AFM testi yapılmıştır. Akım yoğunluğu arttıkça porozitenin arttığı görülmüş ve 1.5 A/dm² ve 1.6 A/dm² akım yoğunluklarında derinliklerin 200 nm' de ölçülürken, 1.7 A/dm² akım yoğunluğunda 500 nm de ölçüm yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, yüzey pürüzlülüğünün akım yoğunluğuna bağlı olarak 56 nm, 114 nm ve 124 nm şeklinde arttığını göstermektedir. Yüzey özelliklerinin nano boyutlardaki değişimlerinin bakteri tutunumunun

davranışlarını nasıl etkilediğini belirleyebilmek için oksit kaplama yapılmış yüzeylere model bakteri olan *S. aureus* ekimi yapılmıştır. Farklı morfolojik yüzeye sahip 3 numuneye ekilen bakterilerin yüzeydeki ilişkileri ve davranışları FESEM ile detaylı olarak incelenmiştir. Pürüzlü yüzeyde bakteri tutunumu artış göstermiştir bu da her numunedeki canlı/ölü bakteri oranı hesaplanarak bulunmuştur. Ayrıca kaplama yapılmamış alüminyum metali yüzey üzerindeki bakterilerin davranışları incelendiğinde ölü bakteri sayısının arttığı ve bakterilerin uygun geometrik şekillere sahip kısımlara tutunumunun daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Son olarak, yapılan bu çalışma neticesinde akım yoğunluğu değişiminin kaplama yüzeyini değiştirdiği ve değişen yüzey özelliklerinin kullanıcıyı etkileyebileceği gözlemlenmiştir. Bu durumda, üretimde kullanılan yöntem şartları değişiminin kaplama kalitesinde ve yüzeyin canlılar etkileşiminde önemli bir durum olduğu ortaya çıkmıştır. Öneri olarak, yapılacak sonraki çalışmalarda Covid gibi güncel ve bir çok insanın hayatının değişmesine sebep olan bu virüsün farklı morfolojik yüzeylerdeki yaşam süreleri incelenerek bu alana katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Sonuçta yüzeylerin morfolojik değişimlerinin antibakteriyel-antiviral özelliklerin artırılmasında etkin rol oynayabileceği görülmüştür. Bu özelliklerin geliştirilmesi bulaş miktarının azaltılabilmesi insan sağlığı açısından oldukça önemlidir.

KAYNAKÇA

- Abdalla, M. M., Ali, I. A. A., Khan, K., Mattheos, N., Murbay, S., Matinlinna, J. P. vd. (2020). The influence of surface roughening and polishing on microbial biofilm development on different ceramic materials. *J. Prosthodont.* (in press).
- Ahmed, M., Obeidi M. A. , YinS., Lupoi R. (2022). Influence of processing parameters on density, surface morphologies and hardness of as-built Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr alloy manufactured by selective laser melting, 164760.
- Alvarez, T. J. M., Curioni M., Zhou X., Skeldon P. (2019). Effect of anodizing conditions on the cell morphology of anodic films on AA2024-T3 alloy 1135-1143.
- Ansari, M. A., Khan, H. M., Khan, A. A., Pal, R., Cameotra, S. S. (2013). Antibacterial potential of Al₂O₃ nanoparticles against multidrug resistance strains of *Staphylococcus aureus* isolated from skin exudates. *Journal of Nanoparticle Research* 15 (10).
- Arnold, J. W., and Bailey, G. W. (2000). Surface finishes on stainless steel reduce bacterial attachment and early biofilm formation: scanning electron and atomic force microscopy study. *Poult. Sci.* 79, 1839–1845. doi: 10.1093/ps/79.12.1839.
- Arurault, L. (2008). Pilling-Bedworth ratio of thick anodic aluminium porous films prepared at high voltages in H₂SO₄ based electrolyte. Leeds, UK: Maney Publishing, Institute of Metal Finishing.
- Bai, A., Hu, C.-C., Yang, Y.-F., Lin, C. C. (2008). Pore diameter control of anodic aluminum oxide with ordered array of nanopores. *Electrochimica Acta* 53 (5), 2258-2264.
- Bhadra, C. M., Truong V. K., Pham V. T, Kobaisi M. A., Seniutinas G., Wang J., Juodkazis S., Crawford R. J., and Ivanova E. P. (2015). *Sci. Rep.* 5, 16817.
- Bhat, K.U., Panemangalore, D.B., Kuruveri, S.B., John, M., Menezes, P.L. (2022). Surface Modification of 6xxx Series Aluminum Alloys. *Coatings* 12, 180.
- Bhattacharjee, A., Khan M., Kleiman M., and Hochbaum A. I. (2017). *ACS Appl. Mater. Interfaces* 9, 18531.
- Berthier, P. (1821). Analyse de l'alumine hydraté des Beaux, department des Bouches-du-Rhône. *Annales des Mines*, 1st series, 6, 531–534.)
- Binczewski, G.J. (1995). “The Point of a Monument: A History of the Aluminum Cap of the Washington Monument” *Journal Of Metals*, 47(11):20-25.

- Birbilis, N. ve Buchheit, R. (2005). Electrochemical characteristics of intermetallic phases in aluminum alloys and experimental survey and discussion. *Journal of the Electrochemical Society*, 152(4), B140–B151.
- Blodkamp, S., Kadlec, K., Gutschmann, T., Naim, H. Y. Von Köckritz- Blickwede, M, Schwarz, S. (2015). In vitro activity of human and animal cathelicidins against livestock-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Vet Microbiol*, 1,1-5.
- Boks, N.P., Norde W., van der Mei H.C., Busscher H.J. (2008) Forces involved in bacterial adhesion to hydrophilic and hydrophobic surfaces, *Microbiology*, 154 (10) pp. 3122-3133.
- Bollen, C. M., Papaioanno, W., Van Eldere, J., Schepers, E., Quirynen, M. ve Van Steenberghe, D. (1996). The influence of abutment surface roughness on plaque accumulation and peri-implant mucositis. *Clin. Oral Implants Res.* 7, 201–211. doi: 10.1034/j.1600-0501.1996.070302.x.
- Bollen, C. M., Lambrechts, P., and Quirynen, M. (1997). Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dent. Mater.* 13, 258–269. doi: 10.1016/S0109-5641(97)80038-3.
- Bos, R., Van der Mei, H. C., and Busscher, H. J. (1999). Physico-chemistry of initial microbial adhesive interactions—its mechanisms and methods for study. *FEMS Microbiol. Rev.* 23, 179–230. doi: 10.1111/j.1574-6976.1999.tb0 0396.x.
- Bressan, D. (2016). How biology pioneer Carl Linnaeus once tried to classify minerals. *Forbes*.
- Bruera, F. A., Kramer, G. R., Vera, M. L., Ares, A. E. (2021). Low-Cost Nanostructured Coating of Anodic Aluminium Oxide Synthesized in Sulphuric Acid as Electrolyte. *Coatings*, 11 (3), 309.
- Carniello, V., Peterson, B. W., van der Mei, H. C., and Busscher, H. J. (2018). Physico-chemistry from initial bacterial adhesion to surface-programmed biofilm growth. *Adv. Colloid Interf. Sci.* 261, 1–14. doi: 10.1016/j.cis. 2018.10.005.
- Cheng, Y., Feng, G., and Moraru, C. I. (2019). Micro- and nanotopography sensitive bacterial attachment mechanisms: a review. *Front. Microbiol.* 10:191. doi:10.3389/fmicb.2019.00191.
- Chesterfield, L., ve Runge, J. (2010). Connecting theory to practice, the science of successfully anodizing aluminum die castings. In: *Proceedings of the 19th Annual*

- Technical Conference and Exposition of the Aluminum Anodizers Council, Montreal.
- Chien, H. W., Chen, X. Y., Tsai, W. P., and Lee, M. (2020) Inhibition of biofilm formation by rough shark skin-patterned surfaces. *Colloids Surf. B Biointerf.* 186:110738. doi: 10.1016/j.colsurfb.2019.110738.
- Crawford, R. J., Webb, H. K., Truong, V. K., Hasan, J. ve Ivanova, E. P. (2012). Surface topographical factors influencing bacterial attachment. *Adv. Colloid Interface Sci.* 17, 142–149. doi: 10.1016/j.cis.2012.06.015.
- Coelho, V., A.C. (2007). Specific surface area and structures of aluminas from fibrillar pseudo-boehmite. *Revista Materia*, 13(2), 329–341.
- Dan, J. Q. vd. (2018). Electrochemical corrosion behavior and inter-granular corrosion mechanism of 6082 Al-alloy, *Corr. Sci. Protect. Technol.* 30 (04), 353.
- De Graeve, I., Terryn, H., Thompson, G. E. (2003). Influence of Local Heat Development on Film Thickness for Anodizing Aluminum in Sulfuric Acid, *Journal of The Electrochemical Society*, (150), 158-165.
- Dervishi, E., vd. (2022). "Mechanical and tribological properties of anodic Al coatings as a function of anodizing conditions", *Surface Coatings Technology*, 444: 1-12.
- Deschams, A., Dumont, D., Brechet, Y., Sigli, C. ve Dubost, B. (2001). Process modeling of age-hardening aluminum alloys : from microstructure evolution to mechanical and fracture properties, ASM International, Materials Park, OH, 298-305.
- Ditenberg, I. A., Smirnov I. V., Grinyaev K. V., Osipov D. A, Gavrilov A. I., Korchag Mi. A. (2020). Morphology, structural-phase state and microhardness of a multicomponent non-equiatomic W-Ta-Mo-Nb-Zr-Cr-Ti powders mixture depending on the duration of ball milling in, 4401-4410.
- Dubey, R., Jayaganthan R., D. Ruan, N.K. Gupta, N. Jones, R. Velmurugan, (2023). Energy absorption and dynamic behaviour of 6xxx series aluminium alloys: A review, <https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2023.100088>.
- Edoziuno, F.O., Nwaeju C.C., Adediran A. A., Odoni B.U, Prakash V.R. Arun. (2021). Mechanical and microstructural characteristics of Aluminium 6063 Alloy/Palm Kernel shell composites for lightweight applications.
- Ellard, B. (2010). Metallurgy basics for aluminum surfaces. AAC Anodizing Essentials Workshop.
- El Mouden, O. I., A. Anejjar, R. Salghi, S. Jodeh, O. Hamed, I. Warad, M. Zougagh ve R. Dassanayake. (2015). "Inhibitive Action of Capparis Spinosa Extract on the

- Corrosion of Carbon Steel in an Aqueous Medium of Hydrochloric Acid." *Journal of Mineral Metal and Material Engineering* 1: 1-7.
- Enright, MC., Robinson, D.A., Randle, G., Feil, EJ., Grundmann, H., Spratt, BG. (2002). The evolutionary history of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 99(11),7687-92.
- Erbil, M. (2012). *Korozyon İlkeler ve Önlemler*. Poyraz Ofset, Ankara, 373 s.
- Euzéby, J.P. (2016 28 july). List of prokaryotic names with standing in nomenclature – Genus *Staphylococcus*. Acesso em: Disponível em.
- Feng, G., Cheng, Y., Wang, S., Hsu, L. C., Feliz, Y., Borca-Tasciuc, D. A. vd. (2014). Alumina surfaces with nanoscale topography reduce attachment and biofilm formation by *Escherichia coli* and *Listeria* spp. *Biofouling* 30, 1253–1268. doi: 10.1080/08927014.2014.976561.
- Feng, G., Cheng, Y., Wang, S., Borca-Tasciuc, D. A., Worobo, R. W. ve Moraru, C. I. (2015). Bacterial attachment and biofilm formation on surfaces are reduced by small-diameter nanoscale pores: how small is small enough? *NPJ Biofilms Microbiomes* 1:15022. doi: 10.1038/npjbiofilms.22.
- Flemming, H. C., Wingender, J., Szewzyk, U., Steinberg, P., Rice, S. A. ve Kjelleberg, S. (2016). Biofilms: an emergent form of bacterial life. *Nat. Rev. Microbiol.* 14, 563–575. doi: 10.1038/nrmicro.2016.94.
- Florencia, A. Bruera, Gustavo R. Kramer, María L. Vera, Alicia E. Ares. (2021). Low-Cost Nanostructured Coating of Anodic Aluminium Oxide Synthesized in Sulphuric Acid as Electrolyte.
- Friedlander, R. S., Vlamakis, H., Kim, P., Khan, M., Kolter, R. ve Aizenberg, J. (2013). Bacterial flagella explore microscale hummocks and hollows to increase adhesion. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110, 1–6. doi: 10.1073/pnas.12196 62110.
- Front. Mech. Eng.* (2021) Sec. Tribology, Volume 7 - 2021 <https://doi.org/10.3389/fmech.2021.661370>, This article is part of the Research Topic, Bioadhesion, View all 14 Articles, Modeling Bacterial Adhesion to Unconditioned Abiotic Surfaces.
- Granato, D., Perotti, F., Masserey, I., Rouvet, M., Golliard, M., Servin, A., Brassart, D. (1999). Cell surface-associated lipoteichoic acid acts as an adhesion factor for attachment of *Lactobacillus johnsonii* La1 to human enterocyte-like Caco-2 cells. *Appl Environ Microbiol*, 65 (3), 1071-7.

- Grjotheim, K. ve Kvande, H. (1993). “Introduction to Aluminium Electrolysis”, Aluminium Verlag, Düsseldorf.
- Gudkov, S. V., Burmistrov, D. E., Smirnova, V. V., Semenova, A. A., Lisitsyn, A. B. (2022). A Mini Review of Antibacterial Properties of Al₂O₃ Nanoparticles. *Nanomaterials* 12 (15), 2635.
- Guegan, C., Garderes, J., Le Pennec, G., Gaillard, F., Fay, F., Linossier, I. vd. (2014). Alteration of bacterial adhesion induced by the substrate stiffness. *Colloids Surf. B Biointerf.* 114, 193–200. doi: 10.1016/j.colsurfb.2013.10.010.
- Hall-Heroult Centennial, (1986). “First Century Of Aluminum Process Technology, 1886- 1986” , The Anniversary Volume, 115h TMS Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, 2-6 March 1986, 7-8.
- Helbig, R., Günther, D., Friedrichs, J., Rößler, F., Lasagni, A. ve Werner, C. (2016). The impact of structure dimensions on initial bacterial adhesion. *Biomater. Sci.* 4, 1074–1078. doi: 10.1039/c6bm00078a.
- Hsu, L., Fang, J., Borca-Tasciuc, D., Worobo, R., and Moraru, C. I. (2013). The effect of micro- and nanoscale topography on the adhesion of bacterial cells to solid surfaces. *Appl. Environ. Microbiol.* 79, 2703–2712. doi: 10.1128/AEM. 03436-3412.
- Hua, J. W. vd. (2019). Microstructure and corrosion property of laser cladding Al7075-SiC composite coating on 7N01 aluminum alloy, *Hot Work. Technol.* 48 (10), 152.
- Hussain, M., Heilmann, C., Peters, G., Herrmann, M. (2001). Teichoic acid enhances adhesion of *Staphylococcus epidermidis* to immobilized fibronectin. *Microbial Pathogenesis*, 31 (6), 261-270.
- Huygens, C. (1962). *Traité de la Lumiere*, Leyden, Pierre van der Aa ParkeBernet Galleries, Trans, Original work published (1690).
- Ijaz, A., Kiss L. F., Demirel A. L., Varga L. K., Mikó A. (2021). Tuning grain size, morphology, hardness and magnetic property of electrodeposited nickel with a single multifunctional additive 124681.
- Jalal, H., Saound, Y., Karabet, F. (2019). Effect of Organic Additives on AA6066 Anodization. *J. Chem. Technol. Metall.*, 54, 447–453.
- James, G. A., Boegli, L., Hancock, J., Bowersock, L., Parker, A. ve Kinney, B. M. (2019). Bacterial adhesion and biofilm formation on textured breast implant shell materials. *Aesthetic Plast. Surg.* 43, 490–497. doi: 10.1007/s00266-018- 1234-7.

- Jingui, L., Hongyang W., Kai Z., Meifeng W., Dongchu C., Min C. (2020). Effect of anodizing temperature and organic acid addition on the structure and corrosion resistance of anodic aluminum oxide films. *Thin Solid Films* 713. 138359.
- Johnson, K. L., Kendall, K., ve Roberts, A. (1971). Surface energy and the contact of elastic solids. *Proc. R. Soc. Lond. A Math. Phys. Sci.* 324, 301-313. doi: 10.1098/rspa.1971.0141.
- Jorge, M., Joao S., E. ve Fernando P. (2005). “Physical and chemical characterisation of metal finishing industrial wastes”, *Journal of Environmental Management* 75: 157–166.
- Juyana, A. W. ve Derman, M. N. B. (2011). Characterization of Porous Anodic Aluminium Oxide Film on Aluminium Templates Formed in Anodizing Process. *Advanced Materials Research*, 173, 55-60.
- Kaya, Ş. ve Sarıbiyık, O.Y. (2023) The effect of the surface morphology of the aluminium oxide layer on the physical and bacterial attachment behavior. *Surf. Topogr.: Metrol. Prop.* 11 015018DOI 10.1088/2051-672X/acc59d.
- Kaplanoglu, T. I., Theohari, S., Dimogerontakis, T., Wang, Y. M., Kia, S. (2006). Effect of alloy types on the anodizing process of aluminum, *Surface and Coatings Technology*, (200), 2634–2641.
- Kaviti, A. K. ve Akkala, S. R., (2023). Influence of anodization time on Al₂O₃ nanoporous morphology and optical properties using energy band gap at room temperature. *Results in Engineering*, 17, 100816.
- Klein, C., Hurlbut, C. S., Jr. ve Dana, J. D. (1985). *Manual of mineralogy* (20th ed.pp. 278– 279). New York: Wiley.
- Kloos, W. E., Bannerman, T. L. (1999). *Staphylococcus and Micrococcus*. In: Murray PR, Baron EJ, Pfaller MA, Tenover FC, Tenover RH, editors. *Manual of Clinical Microbiology*. Washington: American Society for Microbiology Press, , p. 264-282.
- Koçyiğit, K. (2022). Savunma Sanayiinde Kullanılan Su Araçlarının Al 6061 Malzeme Yüzeylerinde Kaplama Yöntemleri Uygulanarak Korozyon Ve Aşınma Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.
- Kolewe, K. W., Peyton, S. R. ve Schiffman, J. D. (2015). Fewer bacteria adhere to softer hydrogels. *ACS Appl. Mater. Interf.* 7, 19562–19569. doi: 10.1021/acsami.5b04269.

- Kumaraguru, S. ve Mohan, S. (2018). Study of Ni-Bi₂O₃-CeO₂ composite coatings: Hierarchical microstructure and augmented microhardness for surface engineering application 567-575.
- Kwolek, P. (2017). "Hard anodic coatings on aluminum alloys" *Advances in Manufacturing Science*, 41(3): 35-46.
- Le, C. A., F., L. ve Datas, L. (2010). Chemical analysis of a single basic cell of porous anodic aluminum oxide templates. *Materials Characterization*, 61, 283–288.
- Lee, C. M., Hwang S. M., Park G. C., Kim J. Ch., Lim J. H., Joo J., Jung Seung-B., Kim Y. S. (2011). Effect of peak current density on the mechanical and electrical properties of copper/polymide fabricated by a pulsed electrodeposition process S128-S131.
- Lee, W. (2010). The anodization of aluminum for nanotechnology applications, *JOM* 62 (6) 57–63, <https://doi.org/10.1007/s11837-010-0088-5>.
- Lee, W., Kim J.-C., Gösele U. (2010). Spontaneous current oscillations during hard anodization of aluminum under potentiostatic conditions, *Adv. Funct. Mater.* 20, 21–27, <https://doi.org/10.1002/adfm.200901213>.
- Lee, W. ve Park S. J. (2014). Porous Anodic Aluminum Oxide: Anodization and Templated Synthesis of Functional Nanostructures
- Li, Y., Yang, Y., Li, R., Tang, X., Guo, D., Qing, Y. vd. (2019). Enhanced antibacterial properties of orthopedic implants by titanium nanotube surface modification: a review of current techniques. *Int. J. Nanomed.* 14, 7217–7236. doi: 10.2147/ij.n.s216175.
- Li, X., Jiang F., Wang Z. vd. (2019). Interfacial characteristics and normal mechanical strength of a NiTi shape memory alloy fiber reinforced Mg₃AlZn (SMAFR-AZ31) composite sheet. *Mater Sci Eng A*.765:138283. DOI:10.1016/j.msea.2019.138283.
- Li, Z., Wray, P. R., Su, M. P., Tu, Q., Andaraarachchi, H. P., Jeong, Y. J., Atwater, H. A., Kortshagen, U. R. (2020). Aluminum Oxide Nanoparticle Films Deposited from a Nonthermal Plasma: Synthesis, Characterization, and Crystallization. *ACS Omega*, 5 (38), 24754-24761.
- Loosdrecht, V. M. C., J. Lyklema, W. Norde, and Zehnder, A. J. (1990). Influence of interfaces on microbial activity. *Microbiol. Rev.* 54, 75–87.
- López-Juárez, R., Razo-Perez, N., Pérez-Juache, T., Hernandez-Cristobal, O., Reyes-López, S. Y. (2018). Synthesis of α -Al₂O₃ from aluminum cans by wet-chemical methods. *Results in Physics*, 11, 1075-1079.

- Maccallum, N., Howell, C., Kim, P., Sun, D., Friedlander, R., Ranisau, J. vd. (2015). Liquid-infused silicone as a biofouling-free medical material. *ACS Biomater. Sci. Eng.* 1, 43–51. doi: 10.1021/ab5000578.
- McConnell, M. D., Liu, Y., Nowak, A. P., Pilch, S., Masters, J. G., and Composto, R. J. (2010). Bacterial plaque retention on oral hard materials: effect of surface roughness, surface composition, and physisorbed polycarboxylate. *J. Biomed. Mater. Res. Part A* 92, 1518–1527. doi: 10.1002/jbm.a.32493.
- Medilanski, E., Kaufmann, K., Wick, L. Y., Wanner, O., and Harms, H. (2002). Influence of the surface topography of stainless steel on bacterial adhesion. *Biofouling* 18, 193–203. doi: 10.1080/08927010290011370.
- Meibom, K. L., Li, B. X., Nielsen, A. T., Wu, C. Y., Roseman, S., and Schoolnik, G. K. (2004). The *Vibrio cholerae* chitin utilization program. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 101, 2524–2529. doi: 10.1073/pnas.0308707101.
- Melchers, R. E. (2018). Progress in developing realistic corrosion models. *Struct. Infrastruct. Eng.* 14, 843.
- Mohammed, A. A., Khodair, Z. T., Khadom, A. A. (2020). Preparation and investigation of the structural properties of α -Al₂O₃ nanoparticles using the sol-gel method. *Chemical Data Collections*, 29, 100531.
- Mozalev, A., Poznyak, A., Mozaleva, I., Hassel, A.W. (2001). The Voltage-Time Behaviour For Porous Anodizing Of Aluminium In a Fluoride-Containing Oxalic Acid Electrolyte. *Electrochemistry Communications*, 3: 299-305.
- Mutlu, B. (2011). Sert Anodize Kaplama Prosesinin Soğutma Yükünün Hesaplanması, Değişik Alüminyum Alaşımları Ve Proses Parametrelerinde Karşılaştırmalı İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi.
- Nazari, M. H., Zhang, Y., Mahmoodi, A., Xu, G., Yu, J., Wu, J., Shi, X. (2022). Nanocomposite organic coatings for corrosion protection of metals: A review of recent advances, *Progress in Organic Coatings*, Volume 162, , 106573.
- Neuhaus, F. C. ve Baddiley, J. (2003). A continuum of anionic charge: structures and functions of D-alanyl-teichoic acids in gram-positive bacteria. *Microbiol Mol Biol Rev*, 67 (4), 686-723.
- Nogueira, R. D., Silva, C. B., Lepri, C. P., Palma-Dibb, R. G., and Geraldo-Martins, V. R. (2017). Evaluation of surface roughness and bacterial adhesion on tooth enamel irradiated with high intensity lasers. *Braz. Dent. J.* 28, 24–29. doi: 10.1590/0103-6440201701190.

- Opini, V. C., Salvador C. A.F., Campo K. N., Lopes E. S.N., Chaves R. R., Caram R. (2016). α phase precipitation and mechanical properties of Nb-modified Ti-5553 alloy, 112-121.
- Owens, A. G., Veys-Renaux, D., Rocca, E. (2022) Reverse scan polarization of anodic aluminum oxide until detachment in sulfuric acid: Mechanisms and morphologies. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.141361>.
- Özel, S. (2013). “Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri” Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 2, No 1, pp. 88-97.
- Pajerski, W., Ochonska, D., Brzychczy-Wloch, M., Indyka, P., Jarosz, M., Golda-Cepa, M., Sojka, Z., Kotarba, A. (2019). Attachment efficiency of gold nanoparticles by Gram-positive and Gram-negative bacterial strains governed by surface charges. *Journal of Nanoparticle Research*, 21 (8), 186.
- Pawlik, M., Lu Y., Le H. (2020). Effects of surface modification and graphene nanoplatelet reinforcement on adhesive joint of aluminium alloys. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 99.102591.
- Peng, Q., Zhou, X., Wang, Z., Xie, Q., Ma, C., Zhang, G., vd. (2019). Threedimensional bacterial motions near a surface investigated by digital holographic microscopy: effect of surface stiffness. *Langmuir* 35, 12257–12263. doi: 10.1021/acs.langmuir.9b02103.
- Perera-Costa, D., Bruque, J. M., Gonzalez-Martin, M. L., Gomez-Garcia, A. C., and Vadillo-Rodriguez, V. (2014). Studying the influence of surface topography on bacterial adhesion using spatially organized microtopographic surface patterns. *Langmuir* 30, 4633–4641. doi: 10.1021/la5001057.
- Poinern, G., N. Ali. ve Fawcett, D. (2011). Progress in nano-engineered anodic aluminum oxide membrane development. *Materials*, 4, 487–526.
- Ren, J., Zuo, Y. (2004). Study Of Electrochemical Behavior And Morphology Of Pitting On Anodized 2024 Aluminium Alloy. *Surface and Coatings Technology*, 182: 237-241.
- Rostoker, W. ve Bronson, B. (1990). Pre-industrial iron: Its technology and ethnology (Archeomaterials monograph). University Press.
- Runge, J. M. (2013). Base metal microstructural considerations for anodizing wrought aluminum alloys. *The Proceedings of Aluminium 2000, Milan*.
- Runge, J. M. (2016) Understanding the interface: Meeting the challenges of anodizing cast substrates. In: *Proceedings of the AAC Annual Technical Conference and Exposition, Montreal, Canada*.

- Runge, J. M. (2018). *The Metallurgy of Anodizing Aluminum*, ISBN 978-3-319-72177-4 (ebook) s 1-59 <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72177-4>.
- Runge, J. ve Pomis, A. (2002). Continued development in chrome-free anodic oxide finishes for aluminum: Evaluation of selected mechanical properties. In *Proceedings of the American Electroplaters and Surface Finishers Society Aerospace/Aircraft Forum August 27–29*.
- Sarıbıyık, O. Y. (2022). The Effect of Surface Morphology of Silver Nanoparticles on the Selectivity of Styrene Epoxidation, *Nano* 17, (14), Pages, 2250110.
- Sarıbıyık, O. Y., Weilach, C., Serin, S., Rupprechter, G. (2020). The Effect of Shape-Controlled Pt and Pd Nanoparticles on Selective Catalytic Hydrodechlorination of Trichloroethylene. *Catalysts*, 10 (11), 1314.
- Sato, N. (2011). Basics of corrosion chemistry. In S. K. Sharma (Ed.), *Green corrosion chemistry and engineering: opportunities and challenges*.
- Sertçelik, F. (1999). 6063 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Direnci Üzerine Anodizasyon Öncesi Yüzey İşlemlerinin ve AA Anodizasyonla Üretilmiş İnce Oksit Filmlerinin Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Scardino, A. J., Guenther, J., and de Nys, R. (2008). Attachment point theory revisited: the fouling response to a microtextured matrix. *Biofouling* 24, 45–53. doi: 10.1080/08927010701784391.
- Schwibbert, K., Menzel, F., Epperlein, N., Bonse, J., and Kruger, J. (2019). Bacterial adhesion on femtosecond laser-modified polyethylene. *Materials* 12:3107. doi: 10.3390/ma12193107.
- Schwirn, K., Lee W., Hillebrand R., Steinhart M., Nielsch K., Gösele U. (2008). Self-ordered anodic aluminum oxide formed by H₂SO₄ hard anodization, *ACS Nano* 2 302–310, <https://doi.org/10.1021/nn7001322>.
- Sieber, M., Morgenstern, R., Scharf, I., and Lampke, T. (2018). "Effect of nitric and oxalic acid addition on hard anodizing of AlCu4Mg1 in sulphuric acid", *Metals*, 8(2): 1-15.
- Siddiqui, S., Chandrasekaran, A., Lin, N., Tufenkji, N., and Moraes, C. (2019). Microfluidic shear assay to distinguish between bacterial adhesion and attachment strength on stiffness-tunable silicone substrates. *Langmuir* 35, 8840–8849. doi: 10.1021/acs.langmuir.9b00803.
- Siren, E. (2022). Organik Asit Katkısının AA7075 Anodizasyonu Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

- Song, F. ve Ren, D. (2014). Stiffness of cross-linked poly(dimethylsiloxane) affects bacterial adhesion and antibiotic susceptibility of attached cells. *Langmuir* 30, 10354–10362. doi: 10.1021/la502029f.
- Song, F., Koo, H. ve Ren, D. (2015). Effects of material properties on bacterial adhesion and biofilm formation. *J. Dent. Res.* 94, 1027–1034. doi: 10.1177/0022034515587690.
- Song, F., Brasch, M. E., Wang, H., Henderson, J. H., Sauer, K. ve Ren, D. (2017). How bacteria respond to material stiffness during attachment: a role of *Escherichia coli* flagellar motility. *ACS Appl. Mater. Interf.* 9, 22176–22184. doi: 10.1021/acsami.7b04757.
- Song, F., Wang, H., Sauer, K. ve Ren, D. (2018). Cyclic-di-GMP and *oprF* Are Involved in the Response of *Pseudomonas aeruginosa* to Substrate Material Stiffness during Attachment on Polydimethylsiloxane (PDMS). *Front. Microbiol.* 9:110. doi: 10.3389/fmicb.2018.00110.
- Stepniowski, W.J., Bojar, Z. (2011). Synthesis of AAO at relatively high temperatures. Study of the influence of anodizing conditions on the alumina structural features, *Surf. Coat. Technol.* 206 265–272, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.07.020>.
- Straub, H., Bigger, C. M., Valentin, J., Abt, D., Qin, X. H., Eberl, L., vd. (2019). Bacterial adhesion on soft materials: passive physicochemical interactions or active bacterial mechanosensing? *Adv. Healthc. Mater.* 8:e1801323.
- Stuart, N. M., Sohlberg, K. (2021). The Microstructure of γ -Alumina. *Energies*, 14 (20), 6472.
- Sulka, G. D. ve Parkoła, K. G. (2007). Temperature influence on well-ordered nanopore structures grown by anodization of aluminium in sulphuric acid. *Electrochimica Acta*, 52 (5), 1880-1888.
- Sulka, G. D. (2008). Highly ordered anodic porous alumina formation by self-organized anodizing, section 1.2.1 types of anodic oxide film. In A. Eftekhari (Ed.), *Nanostructured materials in electrochemistry* (pp. 7–8). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Sun, C., Luo J., Wu L., Zhang J. (2010). Self-ordered anodic alumina with continuously tunable pore intervals from 410 to 530 nm, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2 (5) 1299–1302, <https://doi.org/10.1021/am1001713>.

- Tabrizi, A. T., Aghajani H., Laleh F. F. , (2023). Tribological Study of Thin-Electroplated Chromium: Evaluation of Wear Rate as a Function of Surface Roughness,369–379.
- Tang, M., Chen, C., Zhu, J., Allcock, H. R., Siedlecki, C. A. ve Xu, L. C. (2021). Inhibition of bacterial adhesion and biofilm formation by a textured fluorinated alkoxyphosphazene surface. *Bioact. Mater.* 6, 447–459. doi: 10.1016/j.bioactmat.2020.08.027.
- The Aluminum Association. (2017). Alumina refining, the bayer process. Retrieved from info@aluminum.org. Son ulaşım 20.07.2023.
- Toraman, T. A., (2021). 5754 Alüminyum Alaşımı Çiftlerinin Adhezyon Özelliklerinin Plazma Yüzey İşlemleri İle İyileştirilmesi.
- Toros, S., Ozturk F., Kacar I. (2008). Review of warm forming of aluminum–magnesium alloys. *journal of materials processing technology* 207, 1-12.
- Truong, V. K., Geeganagamage N. M., Baulin V. A., Vongsvivut J., Tobin, P. Luque M. J., Crawford R. J., and Ivanova E. P. (2017). *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 101, 1.
- Turhan, S. (2002). Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışlarına Magnezyum Ve Silisyumun Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vasudevan, R., Kennedy, A. J., Merritt, M., Crocker, F. H., and Baney, R. H. (2014). Microscale patterned surfaces reduce bacterial fouling-microscopic and theoretical analysis. *Colloids Surf. B Biointerf.* 117, 225–232. doi: 10.1016/j.colsurfb.2014.02.037.
- Von Moos, N., Bowen, P., Slaveykova, V. I. (2014). Bioavailability of inorganic nanoparticles to planktonic bacteria and aquatic microalgae in freshwater. *Environmental Science: Nano*, 1 (3), 214-232.
- Wang, H. (2006). "Analysis on porous aluminum anodic oxide film formed in Re-OA-H₃PO₄ solution, *Materials Chemistry and Physics*, Cilt 97, pp- 213-218.
- Wang, Z. J. vd. (2018). Electrochemical corrosion behavior and anodic oxidation process of 9S75 aluminum alloy, *Corr. Protect.* 39 (09), 728.
- Westen, R. V.D, Sjollema J., Molenaar R., Sharma P. K., van der Mei H. C. ve Busscher J. H. (2018). Floating and Tether-Coupled Adhesion of Bacteria to Hydrophobic and Hydrophilic Surfaces Cite this: *Langmuir* 2018, 34, 17, 4937–4944, Publication Date:April 12, <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.7b04331>.

- Whitehead, K. A. ve Verran, J. (2006). The effect of surface topography on the retention of microorganisms. *Food Bioprod. Process.* 84, 253–259. doi: 10.1205/ fbp06035.
- Viademonte, M., Abrahami, M., Hack, S.T., Burchardt, T., Terryn M., H. (2020). A Review on Anodizing of Aerospace Aluminum Alloys for Corrosion Protection. *Coatings*, 10, 1106. [CrossRef].
- Wickham, J. R. ve Rice, C. V. (2008). Solid-state NMR studies of bacterial lipoteichoic acid adsorption on different surfaces. *Solid State Nuclear Magnetic Resonance*, 34 (3), 154-161.
- Wu, S., Zuber, F., Maniura-Weber, K., Brugger, J., Ren, Q. (2018). Nanostructured surface topographies have an effect on bactericidal activity. *Journal of Nanobiotechnology*, 16 (1), 20.
- Wu, S., Altenried S., Zogg A., Zuber F., Maniura-Weber K., (2018) Ren Q., Role of the surface nanoscale roughness of stainless steel on bacterial adhesion and microcolony formation, *ACS Omega*, 3 (6) pp. 6456-6464.
- Xia, G., Kohler, T., Peschel, A. (2010). The wall teichoic acid and lipoteichoic acid polymers of *Staphylococcus aureus*. *International Journal of Medical Microbiology*, 300 (2), 148-154.
- Xing, R., Lyngstadaas, S. P., Ellingsen, J. E., Taxt-Lamolle, S., and Haugen, H. J. (2015). The influence of surface nanoroughness, texture and chemistry of TiZr implant abutment on oral biofilm accumulation. *Clin. Oral. Implants Res.* 26, 649–656. doi: 10.1111/clr.12354.
- Xu, Y., Li H., Yizhou S., Senyun S., Wang W., Tao J. (2016). Improvement of adhesion performance between aluminum alloy sheet and epoxy based on anodizing technique. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 70. 74-80.
- Xu, L. C., and Siedlecki, C. A. (2017). Protein adsorption, platelet adhesion, and bacterial adhesion to polyethylene-glycol-textured polyurethane biomaterial surfaces. *J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater.* 105, 668–678. doi: 10.1002/jbm.b.33592.
- Yang, M., Ding, Y., Ge, X., and Leng, Y. (2015). Control of bacterial adhesion and growth on honeycomb-like patterned surfaces. *Colloids Surf. B Biointerf.* 135, 549–555. doi: 10.1016/j.colsurfb.2015.08.010.
- Yao, W. L., Lin, J. C. Y., Salamanca, E., Pan, Y. H., Tsai, P. Y., Leu, S. J. vd. (2020). Er,Cr:YSGG laser performance improves biological response on titanium surfaces. *Materials* 13:756. doi: 10.3390/ma13030756.

- Yatsenko, D. A., Pakharukova, V. P., Tsybulya, S. V. (2021). Low Temperature Transitional Aluminas: Structure Specifics and Related X-ray Diffraction Features. *Crystals*, 11 (6), 690.
- Yavuz, S. (2018). Silah Gövde Malzemesi AA7075-T6 Alaşımının Anodik Oksidasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yavuz, S. ve Küçükömeroğlu, T. (2022). Anodik Oksidasyon İşlem Parametrelerinin 7075-T6 Alaşımının Korozyon Dayanımına Etkisinin İncelenmesi, Tubitak, Ankara
- Yoda, I., Koseki, H., Tomita, M., Shida, T., Horiuchi, H., Sakoda, H. vd. (2014). Effect of surface roughness of biomaterials on Staphylococcus epidermidis adhesion. *BMC Microbiol.* 14:234. doi: 10.1186/s12866-014-0234-2.
- Yu, P., Wang, C., Zhou, J., Jiang, L., Xue, J., and Li, W. (2016). Influence of surface properties on adhesion forces and attachment of Streptococcus mutans to Zirconia in vitro. *Biomed. Res. Int.* 2016:8901253.
- Zhang, F., rnek, C., Nilsson, J.-O., Pan, J. (2020). Anodisation of aluminium alloy AA7075 – Influence of intermetallic particles on anodic oxide growth. *Corrosion Science*, 164, 108319.
- Zhou, X., Sheasby, P.G., Scott, B.A. (2010). Coatings Produced by Anodic Oxidation, *Shreir's Corrosion*, , 2503-2518.
- Zhu, Z., Hu, Z., Seet, H. L., Liu, T., Liao, W., Ramamurty, U., L S. M., Nai, S., M., L. (2023). Recent progress on the additive manufacturing of aluminum alloys and aluminum matrix composites: microstructure, properties, and applications.

ÖZGEÇMİŞ

Güler Şevki Özbek Anadolu Lisesinden mezun oldu. Gümüşhane Üniversitesi Genetik ve Biyomühendislik Lisans bölümüne 2015 yılında yerleşti. 2019 yılında lisans eğitimi bitti. Biten eğitiminin ardından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoteknoloji Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. 2020 yılında Meya Alüminyum'da, Alüminyum sektörüne başlayıp daha sonrasında Arfem Alüminyum'a devam etti. Alüminyum üzerinde çeşitli eğitimler alırken Qualicoat ve Qualanod sertifikaları aldı.

YAYINLAR

Kaya, Ş ve Sarıbyık, O.Y. (28 Mart 2023). The effect of the surface morphology of the aluminium oxide layer on the physical and bacterial attachment behavior, Surface Topography: Metrology and Properties, Volume 11, Number 1, <https://doi.org/10.1088/2051-672X/acc59d>.

KONGRELER

7. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi (24-26 Ekim, 2022). "Alüminyum Anodik Oksidasyon İşleminin Kaplama Kalınlığını Etkileyen Parametrelerin Araştırılması" isimli sunum.