

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI METALİK YÜZEYLERDE SÜPERHİDROFOBİK YAPI
GELİŞTİRİLMESİ VE DAYANIKLILIĞI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN
İNCELENMESİ

ÇİĞDEM OVACI BEJİ

DOKTORA TEZİ

UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN

EDİRNE-2026

Çiğdem OVACI BEJİ'nin hazırladığı “**Farklı Metalik Yüzeylerde Süperhidrofobik Yapı Geliştirilmesi ve Dayanıklılığı Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi**” başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalında bir **Doktora tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Doç. Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN

.....

Prof. Dr. Çiğdem BATIGÖÇ

.....

Prof. Dr. Selim KARA

.....

Prof. Dr. Emek DERUN

.....

Prof. Dr. Mehmet Burçin PİŞKİN

.....

Tez Savunma Tarihi: 20/01/2026

Bu tezin Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Doç.Dr.Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN

Tez Danışmanı

.....

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

.....

Doç. Dr. Filiz UMAROĞULLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI DOKTORA PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

20/01/2026

Çiğdem OVACI BEJİ

Doktora Tezi

Farklı Metalik Yüzeylerde Süperhidrofobik Yapı Geliştirilmesi ve Dayanıklılığı Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalı

ÖZET

Korozyon, metallerin kullanıldığı tüm mühendislik uygulamalarında önemli bir problemdir. Metal yüzeyinin korozyona karşı korunması, metalin beklenen işlevini daha uzun süre yerine getirmesini sağlarken ekonomik kayıpları da azaltır. Metal yüzeylerde kalıcı süperhidrofobik yapıların oluşturulmasına yönelik çözümlerin geliştirilmesi, güncel araştırmaların önemli odak noktalarından biridir. Süperhidrofobik özellik gösteren bir metal yüzeyin elde edilebilmesi, yüzey serbest enerjisinin azaltılması ile mikro ve/veya nano ölçekte optimum yüzey pürüzlülüğünün oluşturulmasına bağlıdır. Kimyasal aşındırma işlemi bu amaçla kullanılan yöntemlerden biridir. Farklı metallerde kontrollü yüzey pürüzlülüğünün oluşturulması, yalnızca uygulanan yöntemin seçimiyle sınırlı olmayıp aşındırma reaktifinin türü, işlem süresi ve işlem sıcaklığı gibi temel parametrelerin de hassas kontrolünü gerektirir. Bu çalışmada, farklı metal yüzeylerde süperhidrofobik yapı oluşturulması, yüzey dayanımını iyileştirmek için yöntem geliştirilmesi, kullanılan metalin kimyasal bileşimine uygun reaktiflerin ve uygulama yönteminin seçilmesi, kontrollü pürüzlendirme için etken parametrelerin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Yıl : 2026

Sayfa Sayısı : 204

Anahtar Kelimeler : Süperhidrofobik Yüzeyler, Temas Açısı, Yüzey Pürüzlülüğü, Kimyasal İşleme, Dayanım.

PhD Thesis

Development of Superhydrophobic Structure on Different Metallic Surfaces and Investigation of Parameters Affecting Durability

Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Applied Sciences and Technology

ABSTRACT

Corrosion is a major problem in all engineering applications where metals are used. Protecting the metal surface from corrosion means that the metal fulfills its expected function for a longer period and reduces the economic losses. Developing solutions for the formation of durable superhydrophobic structures on metal surfaces constitutes one of the key focus areas of current research. In order to obtain a super hydrophobic property on metallic material surfaces, it is necessary to provide optimum surface roughness values depending on the surface energies. Chemical etching is one of the methods used for this purpose. The formation of controlled surface roughness on different metallic substrates requires not only the appropriate selection of the applied method but also precise control of key parameters such as the etchant, processing time, and temperature. In this study, it is aimed to investigate the superhydrophobic behaviour of different metal surfaces, to develop a method for durability, to select reagents and application methods suitable for the chemical composition of the metal used, and to examine the effective parameters.

Year :2026

Number of Pages: 204

Keywords : Superhydrophobic Surfaces, Contact Angle, Surface Roughness, Chemical Etching, Durability

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince değerli bilgi ve tecrübesiyle akademik yolculuğuma yön veren, her aşamada beni destekleyen saygıdeğer hocam, tez danışmanım Doç. Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN'a en içten dileklerimle teşekkür ederim. Tez izleme komitemde yer alarak kıymetli önerileriyle tezime destek veren değerli hocalarım Prof. Dr. Çiğdem BATIGÖÇ ve Prof. Dr. Selim KARA'ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmalarım için fon sağlayan Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (TÜBAP: 2020/135 ve 2022/162), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne, deneysel çalışmalarımı yürütmeme olanak sağladıkları için Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi ve Kırklareli Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne teşekkür ederim. Prof. Dr. Meryem ÇAMUR DEMİR, Doç. Dr. Vedat TAŞKIN, Doç. Dr. Yıldız UYGUN CEBECİ, Dr. Yasemin KEŞKEK KARABULUT, Öğr. Gör. Büşra SAĞLIK ve Arş. Gör. Tunahan PAMUKÇU' ya, Trakya Üniversitesi ve Kırklareli Üniversitesinde görev yapan tüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma, katkı ve emekleri için içten teşekkür ederim. Her birinin desteği benim için güç verici ve çok kıymetli olmuştur.

Oğlum Demir BEJİ 'ye varlığı ile bana güç verdiği için minnettarım. Umarım bu tez pes etmemek konusunda ona ilham kaynağı olur. Eşim Musa BEJİ 'ye tüm içtenliği ile beni desteklediği için teşekkür ediyorum. Bana her zaman inanan canım annem Filiz OVACI 'ya, tezimin deney ve numune hazırlık aşamalarında mesleki bilgisini paylaşarak bana destek olan sevgili babam Rahim OVACI 'ya, kardeşim Alper OVACI ve eşi Doç. Dr. Ceyda OVACI 'ya, kıymetli anneannem Günay Tabak'a ve tüm aileme verdikleri destek ve gösterdikleri anlayış için sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Bu tezi, bilimin hayatı boyunca yoluna ışık tutması dileği ile; en kıymetlim, sevgili oğlum Demir BEJİ 'ye ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. Tezin Konusu ve Kapsamı.....	1
1.2. Kaynak Araştırması	2
BÖLÜM 2	10
KURAMSAL TEMELLER	10
2.1. Korozyon	10
2.1.1. Korozyon Mekanizması.....	11
2.1.1.1. Kimyasal korozyon	11
2.1.1.2. Elektrokimyasal korozyon	12
2.1.2. Metallerde Korozyon	13
2.1.2.1. Kontrollü Korozyon ve Kimyasal İşleme	15
2.1.3. Korozyon Türleri	16
2.1.4. Korozyon Kayıpları	18

2.1.5. Metallerde Korozyon Önleme Yöntemleri	20
2.1.5.1. Elektrokimyasal Yöntemler	20
2.1.5.2. Kimyasal Yöntemler	21
2.1.5.3. Tasarım.....	22
2.1.5.4. Koruyucu Kaplamalar	22
2. 2. Korozyon Önleyici Alternatif Yaklaşımlar: Islanabilirlik ve Yüzey Morfolojisi	23
2.2.1. Yüzey Enerjisi.....	24
2.2.2. Yüzey Gerilimi	25
2.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü	26
2.2.4. Temas Açısı	27
2.2.5. Temas Açısı Ölçüm Yöntemleri	28
2.2.5.1. Hapsedilmiş Kabarcık Yöntemi	28
2.2.5.2. Eğik Plaka Yöntemi	29
2.2.5.3. Wilhelmy Denge Yöntemi	29
2.2.5.4. Washburn Yöntemi	30
2.2.5.5. Tensiyometre Yöntemi.....	31
2.2.5.6. Gonyometre ile Durağan Damla Ölçümü (Sessile Drop)	31
2.3. Süperhidrofobik Yüzey Teorileri	32
2.3.1. Young Teorisi	33
2.3.2. Wenzel Teorisi.....	34
2.3.3. Cassie Baxter Teorisi	35
2.3.4. Temas Açısı Karmaşası	36
2.4. Fonksiyonel Yüzeyler.....	37
2.4.1. Biyomimikri ve Doğal Süperhidrofobik Yüzeyler	37
2.4.2. Yapay Süperhidrofobik Yüzeyler	39

2.5. Süperhidrofobik Yüzey Üretim Teknikleri	41
2.5.1. Kimyasal Aşındırma	43
2.5.2. Plazma/Lazer Aşındırma.....	45
2.5.3. Sol–jel Yöntemi	46
2.5.4. Elektrokimyasal Yöntemler (Anodizasyon / Elektrodepozisyon)	47
2.5.5. Hidrotermal Yöntemler	47
2.6. Çelik Yüzeylerde Süperhidrofobik Yapı Geliştirilmesi	48
2.6.1. Çeliklerin Sınıflandırılması.....	48
2.6.2. Paslanmaz Çelikler	50
2.6.2.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	53
2.6.2.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler	53
2.6.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler	53
2.6.2.4. Dupleks (Östenitik/Ferritik) Paslanmaz Çelikler	54
2.6.2.5. Çökelme Sertleşmesi Gösteren Paslanmaz Çelikler	54
2.6.3. Karbon Çelikleri	55
2.6.3.1. Düşük Karbonlu Çelikler	55
2.6.3.2. Orta Karbonlu Çelikler.....	55
2.6.3.3. Yüksek Karbonlu Çelikler.....	56
2.7. Yüzey Aktif Maddeler	56
2.7.1. Anyonik Yüzey Aktif Maddeler	58
2.7.2. Katyonik Yüzey Aktif Maddeler	59
2.7.3. Noniyonik Yüzey Aktif Maddeler	59
2.7.4. Amfoterik veya Zwitteriyonik Yüzey Aktif Maddeler	60
2.8. Yüzey Aktif Maddelerin Korozyon Önleyici Olarak İncelenmesi.....	61
BÖLÜM 3	63

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	63
3.1. Materyal.....	63
3.1.1. Metal Yüzeyler	63
3.1.2. Reaktifler, Yüzey Aktif Maddeler ve Diğer Kimyasal Maddeler.....	64
3.2. Metot.....	65
3.2.1. Deneysel Yaklaşım	65
3.2.2. Numune Hazırlık.....	67
3.2.3. Optimizasyon Çalışmaları.....	69
3.2.4. Yüzey İşlemleri.....	70
3.2.4.1. Kimyasal Aşındırma.....	70
3.2.4.2. Modifiye İşlemleri.....	72
3.2.5. Ölçüm ve Karakterizasyon.....	75
3.2.5.1. Kütle Ölçümleri.....	75
3.2.5.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri.....	75
3.2.5.3. Temas Açısı Ölçümleri	76
3.2.5.4. Yüzey Görüntüleme İşlemleri	76
3.2.6. Dayanım Testleri.....	78
3.2.6.1. Mekanik dayanım testleri	78
3.2.6.2. Kimyasal dayanım testleri	80
3.2.6.3. Isıl dayanım testleri	82
BÖLÜM 4	84
DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	84
4.1. Optimizasyon Çalışmaları Bulguları ve Değerlendirilmesi	84
4.2. Farklı Kimyasal Aşındırıcılar ve İşlem Parametrelerinin MRR Üzerine Etkisi...86	
4.3 Yüzey Aktif Madde İlavesinin Kimyasal Aşındırma Davranışı Üzerine Etkisi....99	

4.4. Kimyasal Aşındırma ve Modifikasyon Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Temas Açısı Üzerine Etkisi	106
4.5. Dayanım Testleri Sonuçları ve Değerlendirilmesi	140
4.5.1. Mekanik Dayanım Testleri	140
4.5.2. Isıl Dayanım Testleri	141
4.5.3. Kimyasal Dayanım Testleri	143
4.6. SEM ve EDS Analizleri.....	144
4.6.1 PFDTES ile Modifiye Edilmiş Yüzeylerin SEM ve EDS Analizi.....	145
4.6.1.1. HF/H ₂ O ₂ +PFDTES ile Yüzey Modifikasyonunda Olası Reaksiyonlar	149
4.6.2. CTAB ile Modifiye Edilmiş Yüzeylerin SEM ve EDS Analizi	150
4.6.2.1 HF/H ₂ O ₂ + CTAB ile Yüzey Modifikasyonunda Olası Reaksiyonlar ..	153
4.6.3. SDS ile Modifiye Edilmiş Yüzeylerin SEM ve EDS Analizi.....	154
4.6.3.1. HF/H ₂ O ₂ + SDS ile Yüzey Modifikasyonunda Olası Reaksiyonlar.....	157
4.6.4. DTAB ile Modifiye Edilmiş Yüzeylerin SEM ve EDS Analizi	157
4.6.4.1. HF/H ₂ O ₂ + DTAB ile Yüzey Modifikasyonunda Olası Reaksiyonlar .	160
BÖLÜM 5	163
SONUÇ VE ÖNERİLER	163
KAYNAKLAR	165
TEZ ÖĞRENCİSİNE AİT BİLİMSEL ÇIKTILAR	176
ÖZGEÇMİŞ	178

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde Oran
°C	Santigrat derece
Δm	İşlem Sırasında Uzaklaştırılan Kütle
Δt	İşlem Süresi
dk	Dakika
f	İzdüşüm Alanının Islanan Kısımının Oranı
g	Gram
l	Litre
mg	Miligram
m_i	Başlangıç Kütle
m_f	Son Kütle
ml	Mililitre
μl	Mikrolitre
μm	Mikrometre
nm	Nanometre
R_a	Ortalama Mutlak Pürüzlülük Değeri
R_{af}	Son Yüzey Pürüzlülüğü
R_{ai}	Başlangıç Yüzey Pürüzlülüğü
r_f	Pürüzlülük Faktörü
r_w	Geometrik Pürüzlülük Faktörü

s	Saniye
t	Aşındırma Süresi
γ	Yüzey gerilimi
γ_{KG}	Katı–Gaz Arayüzey Gerilimi
γ_{KS}	Katı–Sıvı Arayüzey Gerilimi
γ_{SG}	Sıvı–Gaz Arayüzey Gerilimi
θ	Temas açısı
θ_A	İlerleme Temas Açısı
θ_{CB}	Cassie-Baxter temas açısı
θ_{His}	Histeresis Temas Açısı
θ_R	Gerileme Temas Açısı
θ_w	Wenzel temas açısı
θ_Y	Young Temas Açısı

Kısaltmalar

AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute)
AISI 304	300 Serisi Paslanmaz Çelik
AISI 316	300 Serisi Paslanmaz Çelik
AKD	Alkilketen Dimer
ASTM	Amerikan Malzeme ve Deneyler Derneği
C1040	Karbon Çeliği
CTAB	Heksadesiltrimetilamonyumbromür
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DCC	N, N'-Dicyclohexylcarbodiimide

DIN	Alman Standardizasyon Enstitüsü (Deutsches Institut für Normung)
DTAB	Dodesiltrimetilamonyumbromür
EDS	Enerji Dağılımlı Spektroskopi (Energy Dispersive Spectroscopy)
EN	Avrupa Standardı (European Norm)
GNP	Gayrisafi Milli Hasıla
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
MRR	Malzeme Kaldırma Hızı (Material Removal Rate)
PDMS	Polydimethylsiloxane
PFDTES	1H,1H,2H,2H-Perflorodesiltrioksasilan
PTFE	Polytetrafluoroethylene
SAE	Otomotiv Mühendisleri Topluluğu (Society of Automotive Engineers)
SDS	Sodyumdodesilsülfat
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SLIPS	Sıvı emprenye edilmiş gözenekli yüzeyler (Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces)
SPM	Taramalı Prob Mikroskopisi
STA	Stearik Asit
St37	Karbon Çeliği
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TTAB	Tetradeciltrimetilamonyum Bromür

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Korozyon oluşumu.....	11
Şekil 2. 2. Elektrokimyasal korozyon hücresi.....	12
Şekil 2. 3. % Krom miktarının korozyon hızına etkisi.....	14
Şekil 2. 4. Bulunduğu ortama göre korozyon türleri.....	16
Şekil 2. 5. Görünüşüne göre korozyon türleri	17
Şekil 2. 6. Korozyon kayıplarının sektörlere göre dağılımı	19
Şekil 2. 7. Sıvı içinde ve yüzeyinde bulunan moleküllere etki eden çekim kuvvetleri...	25
Şekil 2. 8. Yüzey gerilimi etkisiyle su üzerinde duran böcek.....	26
Şekil 2. 9. Su ve cıvanın kapiler tüpte kılcal yükselme davranışı.....	26
Şekil 2. 10. Katı yüzeylerde ıslanabilirlik.....	28
Şekil 2. 11. Hapsedilmiş kabarcık yöntemi şematik gösterim	29
Şekil 2. 12. Eğik plaka yöntemi şematik gösterimi.....	29
Şekil 2. 13. Wilhelmy denge yöntemi şematik gösterimi	30
Şekil 2. 14. Washburn yöntemi şematik gösterimi	30
Şekil 2. 15. Tensiyometre cihazı	31
Şekil 2. 16. Gonyometre cihazı	32
Şekil 2. 17. Süperhidrofobik yüzeylerde temel gelişmeler zaman çizelgesi.....	33
Şekil 2. 18. Katı ve düzgün yüzeylerde temas açısı.....	34
Şekil 2. 19. Wenzel modeli	34

Şekil 2. 20. Cassie- Baxter modeli	35
Şekil 2. 21. Temas açısı karmaşası.....	36
Şekil 2. 22. Doğal süperhidrofobik yüzeyler	38
Şekil 2. 23. Doğadan esinlenen tasarımlar	39
Şekil 2. 24. Süperhidrofobik yapı gösteren çeşitli doğal hayvan ve bitkilerin fotoğrafları ve yüzey mikro yapıları.....	39
Şekil 2. 25. Doğal ve yapay süperhidrofobik yüzeylerin SEM görüntüleri	41
Şekil 2. 26. Yapay süperhidrofobik metal yüzeyler	41
Şekil 2. 27. Sık kullanılan süperhidrofobik yüzey üretim yöntemleri	43
Şekil 2. 28. Malzeme seçim kriterleri	49
Şekil 2. 29. Paslanmaz çeliklerde pasivasyon tabakası.....	51
Şekil 2. 30. Paslanmaz çeliklerin iç yapıları	52
Şekil 2. 31. Yüzey aktif madde molekülünün yapısı	56
Şekil 2. 32. Yüzey aktif madde davranışları	57
Şekil 2. 33. Kirin yüzeyden temizlenmesinde yüzey aktif maddelerin çalışma prensibi.	58
Şekil 2. 34. Anyonik yüzey aktif madde molekül yapısı	59
Şekil 2. 35. Katyonik yüzey aktif madde molekül yapısı	59
Şekil 2. 36. Noniyonik yüzey aktif madde molekül yapısı	60
Şekil 2. 37. Amfoterik yüzey aktif madde molekül yapısı.....	60
Şekil 3. 1. Deney sistematığı.....	66
Şekil 3. 2. Deneysel grafik özeti	67
Şekil 3. 3. Numune ölçüleri.....	68
Şekil 3. 4. Lazer kesim yöntemi.....	68
Şekil 3. 5. Gruplandırılmış numuneler	69
Şekil 3. 6. Kimyasal aşındırma deney düzeneği şematik gösterimi	71

Şekil 3. 7. Kurutma İşlemi	74
Şekil 3. 8. Deney görüntüleri	74
Şekil 4. 1. Farklı çeliklerde 2,8 M HNO ₃ çözeltisi ile kimyasal işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri.....	88
Şekil 4. 2. Farklı çeliklerde 5 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri.....	90
Şekil 4. 3. Farklı paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl ₃ +200 ml H ₂ O çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri	92
Şekil 4. 4. Farklı paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl ₃ +100 ml H ₂ O çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri	93
Şekil 4. 5. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g FeCl ₃ +100 ml H ₂ O çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri	95
Şekil 4. 6. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g FeCl ₃ +100 ml H ₂ O 20 ml HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri	96
Şekil 4. 7. Farklı paslanmaz çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri	97
Şekil 4. 8. Farklı paslanmaz çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri	98
Şekil 4. 9. Farklı çeliklerde 5 M HNO ₃ +1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri	101
Şekil 4. 10. Farklı çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri	102
Şekil 4. 11. Farklı çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri	103
Şekil 4. 12. Farklı çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri	105
Şekil 4. 13.Farklı çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri	106

Şekil 4. 14. Farklı çeliklerde 2.8 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri	109
Şekil 4. 15. Farklı çeliklerde 2.8 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri	110
Şekil 4. 16. Farklı çelik numunelerin 2.8 M HNO ₃ ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri	110
Şekil 4. 17. Farklı çeliklerde 5 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	112
Şekil 4. 18. Farklı çeliklerde 5 M HNO ₃ + STA, DCC Çözeltisi ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri	113
Şekil 4. 19. Farklı çelik numunelerin 5 M HNO ₃ ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri	113
Şekil 4. 20. Farklı çeliklerde 5M HNO ₃ + 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri	116
Şekil 4. 21. Farklı çeliklerde 5 M HNO ₃ + 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri.....	116
Şekil 4. 22. Farklı çelik numunelerin 5 M HNO ₃ +1,2x10 ⁻³ M CTAB ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri	117
Şekil 4. 23. Farklı paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl ₃ + 200 ml H ₂ O çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri	118
Şekil 4. 24. Farklı çeliklerde 30 g FeCl ₃ + 200 ml H ₂ O çözeltisi ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri	118
Şekil 4. 25. Farklı paslanmaz çelik numunelerin 30 g FeCl ₃ + 200 ml H ₂ O ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri	118
Şekil 4. 26. Farklı paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl ₃ + 100 ml H ₂ O çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri	120
Şekil 4. 27. Farklı çeliklerde 30 g FeCl ₃ + 100 ml H ₂ O + 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri.....	120

Şekil 4. 28. Farklı paslanmaz çelik numunelerin 30 g FeCl_3 + 100 ml H_2O + $1,2 \times 10^{-3}$ M CTAB ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri	120
Şekil 4. 29. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g FeCl_3 +100 ml H_2O + $1,2 \times 10^{-3}$ M CTAB çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri .	122
Şekil 4. 30. AISI304 ve AISI 316 çeliklerde 40 g FeCl_3 +100 ml H_2O + $1,2 \times 10^{-3}$ M CTAB çözeltisi ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri	122
Şekil 4. 31. Farklı paslanmaz çeliklerin 40 g FeCl_3 +100 ml H_2O + $1,2 \times 10^{-3}$ M CTAB ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri	122
Şekil 4. 32. Farklı paslanmaz çeliklerin 40 g FeCl_3 + 100 ml H_2O + 20 ml HNO_3 çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri	124
Şekil 4. 33. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g FeCl_3 + 100 ml H_2O + 20 ml HNO_3 çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri	124
Şekil 4. 34. Paslanmaz çelik numunelerin 40 g FeCl_3 +100 ml H_2O + 20 ml HNO_3 ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri	124
Şekil 4. 35. AISI304 ve AISI 316 çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (0-5 dk.)	125
Şekil 4. 36. AISI304 ve AISI 316 çeliklerde Kallings Çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri (0-5 dk.)	126
Şekil 4. 37. Farklı paslanmaz çelik numunelerin Kallings çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri	126
Şekil 4. 38. AISI304 ve AISI 316 çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (0-25) dk	127
Şekil 4. 39. AISI304 ve AISI 316 çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri (0-25 dk)	127
Şekil 4. 40. Farklı paslanmaz çelik numunelerin Kallings çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri	128
Şekil 4. 41. Farklı çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri	130

Şekil 4. 42. Farklı paslanmaz çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri	130
Şekil 4. 43. Farklı paslanmaz çelik numunelerin 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası en yüksek temas açısı görüntüleri.....	131
Şekil 4. 44. Farklı çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri	133
Şekil 4. 45. Farklı paslanmaz çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri.....	133
Şekil 4. 46. Farklı çelik numunelerin 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası en yüksek temas açısı görüntüleri.....	134
Şekil 4. 47. Farklı çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri	136
Şekil 4. 48. Farklı paslanmaz çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri.....	136
Şekil 4. 49. Farklı paslanmaz çelik numunelerin 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası en yüksek temas açısı görüntüleri.....	137
Şekil 4. 50. Farklı çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri	139
Şekil 4. 51. Farklı paslanmaz çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri	139
Şekil 4. 52. Paslanmaz çelik numunelerin 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası en yüksek temas açısı görüntüleri	140
Şekil 4. 53. PFDTES ile işlem görmüş AISI 304 numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri	146
Şekil 4. 54. PFDTES ile işlem görmüş AISI 316 numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri	146
Şekil 4. 55. PFDTES ile işlem görmüş AISI 304 ve AISI 316 numunelerin SEM görüntüleri ve EDS spektrumları	147

Şekil 4. 56. CTAB ile işlem görmüş AISI 304 numunelerin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	151
Şekil 4. 57. CTAB ile işlem görmüş AISI 316 numunelerin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	152
Şekil 4. 58. CTAB ile işlem görmüş paslanmaz çelik numunelerin EDS spektrumları	153
Şekil 4. 59. SDS ile işlem görmüş AISI 304 numunelerin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	155
Şekil 4. 60. SDS ile işlem görmüş AISI 316 numunelerin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	155
Şekil 4. 61. SDS ile işlem görmüş AISI 304 ve AISI 316 numunelerin SEM görüntüleri ve EDS spektrumları	156
Şekil 4. 62. DTAB ile işlem görmüş AISI 304 numunelerin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	158
Şekil 4. 63. DTAB ile işlem görmüş AISI 316 numunelerin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	158
Şekil 4. 64. DTAB ile işlem görmüş AISI 304 ve AISI 316 numunelerin SEM görüntüleri ve EDS spektrumları	159
Şekil 4. 65. PFDTES ile işlem görmüş AISI 304 numunelerin SEM görüntüsü, EDS spektrum haritası, temas açısı	161
Şekil 4. 66. PFDTES ile işlem görmüş AISI 316 numunelerin SEM görüntüsü, EDS spektrum haritası, temas açısı	162
Şekil 4. 67. AISI304 PFDTES Temas Açısı görüntüsü	162

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1. Temas açılarına göre ıslanabilirlik.....	28
Çizelge 2. 2. C1040, St 37, AISI 304 ve AISI 316 karşılaştırma tablosu.....	50
Çizelge 2. 3. PFDTES, SDS, CTAB ve DTAB karşılaştırması.....	62
Çizelge 3. 1. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri (%Ağırlık).....	64
Çizelge 3. 2. Karbon çeliklerinin kimyasal bileşenleri (%Ağırlık).....	64
Çizelge 3. 3. Deneylerde kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri.....	64
Çizelge 3. 4. Numune gruplandırması.....	68
Çizelge 3. 5. Aşındırıcı kimyasallar ve işlem süreleri	71
Çizelge 3. 6. Reaktif türüne göre kullanılan modifikasyon çözeltileri ve işlem süreleri	73
Çizelge 4. 1. Farklı çeliklerde 2,8 M HNO ₃ çözeltisi ile kimyasal işlem süresinin MRR üzerine etkisi.....	88
Çizelge 4. 2. Farklı çeliklerde 5 M HNO ₃ çözeltisi ile kimyasal işlem süresinin MRR üzerine etkisi	90
Çizelge 4. 3. Farklı paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl ₃ +200 ml H ₂ O çözeltisi ile kimyasal işlem süresinin MRR üzerine etkisi	91
Çizelge 4. 4. AISI304 paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl ₃ +100 ml H ₂ O çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi	93
Çizelge 4. 5. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g FeCl ₃ +100 ml H ₂ O çözeltisi ile kimyasal işlem süresinin MRR üzerine etkisi	94
Çizelge 4. 6. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g+ FeCl ₃ +100 ml H ₂ O+20 ml HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi	96

Çizelge 4. 7. Farklı paslanmaz çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi (0-5 dk)	97
Çizelge 4. 8. Farklı paslanmaz çeliklerde 200 ml Kallings çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi (0-25 dk)	98
Çizelge 4. 9. Farklı çeliklerde 5 M HNO ₃ +1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi	100
Çizelge 4. 10. Farklı çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi	101
Çizelge 4. 11. Farklı çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi	103
Çizelge 4. 12. Farklı çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi	104
Çizelge 4. 13. Farklı çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi	105
Çizelge 4. 14. AISI 304 paslanmaz çeliklerde 2,8 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi	107
Çizelge 4. 15. AISI 316 paslanmaz çeliklerde 2,8 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi	108
Çizelge 4. 16. C1040 çeliklerde 2,8 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	108
Çizelge 4. 17. St37 çeliklerde 2,8 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	108
Çizelge 4. 18. AISI 304 paslanmaz çeliklerde 5 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	111
Çizelge 4. 19. AISI 316 paslanmaz çeliklerde 5 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	111
Çizelge 4. 20. C1040 çeliklerde 5 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	111
Çizelge 4. 21. St37 çeliklerde 5 M HNO ₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	112
Çizelge 4. 22. AISI 304 paslanmaz çeliklerde 5M HNO ₃ + 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	114

Çizelge 4. 23. AISI 316 paslanmaz çeliklerde 5M HNO ₃ + 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	114
Çizelge 4. 24. C1040 çeliklerde 5M HNO ₃ + 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	115
Çizelge 4. 25. St37 çeliklerde 5M HNO ₃ + 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	115
Çizelge 4. 26. AISI 304 ve AISI 316 Paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl ₃ + 200 ml H ₂ O çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	117
Çizelge 4. 27. AISI 304 Paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl ₃ + 100 ml H ₂ O + 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi	119
Çizelge 4. 28. AISI 316 Paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl ₃ + 100 ml H ₂ O + 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi	119
Çizelge 4. 29. AISI 304 çeliklerde 40 g FeCl ₃ + 100 ml H ₂ O+ 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	121
Çizelge 4. 30. AISI 316 çeliklerde 40 g FeCl ₃ +100 ml H ₂ O + 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	121
Çizelge 4. 31. AISI 304 çeliklerde 40 g FeCl ₃ + 100 ml H ₂ O + 20 ml HNO ₃ + 1,2x10 ⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi	123
Çizelge 4. 32. AISI 316 paslanmaz çeliklerde 40 g FeCl ₃ + 100 ml H ₂ O + 20 ml HNO ₃ + çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi.....	123
Çizelge 4. 33. AISI 304 Paslanmaz çeliklerde 200 ml Kallings çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi (0-5 dk.)	125
Çizelge 4. 34. AISI 316 Paslanmaz çeliklerde 200 ml Kallings çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi (0-5 dk.)	125
Çizelge 4. 35. AISI 304 paslanmaz çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi (0-25 dk.).....	126
Çizelge 4. 36. AISI 304 paslanmaz çeliklerde 200 ml Kallings çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi (0-25 dk.)	127

Çizelge 4. 37. AISI304 paslanmaz çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	129
Çizelge 4. 38. AISI316 paslanmaz çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	129
Çizelge 4. 39. C1040 çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	129
Çizelge 4. 40. St37 Çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	129
Çizelge 4. 41. AISI304 paslanmaz çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	132
Çizelge 4. 42. AISI316 paslanmaz çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	132
Çizelge 4. 43. C1040 çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	132
Çizelge 4. 44. St37 Çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	132
Çizelge 4. 45. AISI304 paslanmaz çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	134
Çizelge 4. 46. AISI316 paslanmaz çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	135
Çizelge 4. 47. C1040 çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	135
Çizelge 4. 48. St37 çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	135
Çizelge 4. 49. AISI304 paslanmaz çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	138
Çizelge 4. 50. AISI316 paslanmaz çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	138
Çizelge 4. 51. C1040 çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	138
Çizelge 4. 52. St37 çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri	138

Çizelge 4. 53. Paslanmaz çeliklerde mekanik dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/Bant testi	140
Çizelge 4. 54. Paslanmaz çeliklerde mekanik dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/Aşındırma testi	141
Çizelge 4. 55. Paslanmaz çeliklerde ısısal dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/Yüksek sıcaklık	142
Çizelge 4. 56. Paslanmaz çeliklerde ısısal dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/Düşük sıcaklık	142
Çizelge 4. 57. Paslanmaz çeliklerde kimyasal dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/pH 3	143
Çizelge 4. 58. Paslanmaz çeliklerde kimyasal dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/pH 11	144
Çizelge 4. 59. Paslanmaz çeliklerde kimyasal dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/NaCl	144

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Tezin Konusu ve Kapsamı

Korozyon metallerin kullanıldığı tüm mühendislik uygulamalarında önemli bir sorundur. Metal yüzeyinin korozyondan korunması, metalin kendisinden beklenen fonksiyonu daha uzun süre yerine getirmesi ve korozyon nedeniyle oluşan hasar ve bakım masraflarının sebep olduğu ekonomik ve çevresel kayıpların azaltılması anlamına gelir. Metal yüzeylerde yüzeyin işlevselliğini azaltmadan sıvılarla temasını engelleyen çözümlerin geliştirilmesi ve kalıcılığının sağlanması önemli bir araştırma konusudur. Metal yüzeyin ıslatılabilirliğini azaltarak hidrofobik ya da süperhidrofobik davranış göstermesini sağlamak korozyon etkilerinin azaltılması için etkili bir çözüm olabilir.

Katı yüzey ile sıvı arasındaki temas açısının 90° ve 150° arasında olduğu yüzeyler hidrofobik yüzeyler, 150° 'nin üzerinde temas açısı ölçülen yüzeyler ise süperhidrofobik yüzeyler olarak tanımlanır. Hidrofobik özellikler, katı yüzeylerin kimyasal yapıları ve yüzey geometrilerine bağlı olarak değişir. Düşük yüzey enerjili metalik yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü arttırıldığında ıslatılabilirlik özelliği azalmaktadır. Süperhidrofobik bir metal yüzey için yüzey enerjisinin düşürülmesi ve buna bağlı olarak optimum yüzey pürüzlülük değerleri sağlanmalıdır. Kimyasal işleme bu amaçla kullanılan yöntemlerden biridir. Farklı metaller için kontrollü yüzey pürüzlülüğü oluşturmak, uygulama yönteminin seçiminin yanında dağlama reaktifi, dağlama süresi ve sıcaklığı gibi parametrelerin de hassas kontrolünü gerektirmektedir. Bu yüzeylere kazandırılan özellikler dış etkiler ile

önemli ölçüde kaybedilmektedir. Bu yüzeylerin dayanımının arttırılması, aşınma ve sürtünme dayanımının da arttırılması ve yüzeyde dayanıklı kimyasal bağların oluşturulması anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada, farklı metal yüzeyler üzerinde süperhidrofobik yapı oluşturulması, yüzey dayanımını iyileştirmek için yöntem geliştirilmesi, kullanılan metalin kimyasal bileşimine uygun reaktiflerin ve uygulama yönteminin seçilmesi, kontrollü pürüzlendirme için işleme hızlarının tespit edilmesi ve yüzey yapı ve dayanımı üzerinde etken parametrelerin incelenmesi araştırma problemi olarak ele alınmıştır.

Yapılan deneylerde; paslanmaz çelik ve karbon çeliklerinin yüzeylerinde mikro dağlama ve modifikasyon yöntemi ile süperhidrofobik yapı oluşturulması, farklı çelikler için uygun reaktiflerin belirlenmesi, optimum reaksiyon süresi ve sıcaklığının tespit edilmesi, modifikasyon çözeltilerinin türü ve etkisinin araştırılması, modifikasyon sıvısı olarak yüzey aktif maddelerin kullanılmasının etkilerinin ortaya konulması ve uygun yüzey aktif maddenin belirlenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen süperhidrofobik yüzeylere mekanik, kimyasal ve ısıl dayanım testleri yapılmıştır.

1.2. Kaynak Araştırması

Literatürde bugüne kadar metallerde kimyasal işleme yöntemi ile süperhidrofobik yüzeyler oluşturulması konusunda yapılan çalışmalarda metal, aşındırıcı olarak kullanılan kimyasallar ve modifiye edici türleri, metalin yapısı, sıcaklık, kimyasalların miktarları gibi parametreler değişken olarak ele alınmıştır. Aynı zamanda aşındırma süreleri ve modifikasyon sürelerinin de değişken olarak ele alındığı çalışmalar vardır. Tüm bu çalışmalarda optimum şartlar sağlanmaya çalışılmıştır.

Hidrofobik özellik, yani suyu itme veya tutmama olarak adlandırılan özellik, katı maddelerin sıvıları yüzeyinde barındırmaması anlamına gelmektedir. Bilim insanları uzun zamandır malzemelere hidrofobik özellik kazandırmak için araştırmalar yapmaktadır. Süperhidrofobik yüzey oluşturmaya yönelik ilk çalışmalar 1990'lı yıllarda yapılmıştır. Bu çalışmaların birçoğunda bu çalışmada olduğu gibi kimyasal aşındırma yöntemi ile yüzeylerdeki pürüzlülük değerlerinin kontrollü olarak arttırılması amaçlanmıştır. 1990'ların sonlarında başta lotus bitkisi olmak üzere birçok bitki yaprağının yüzey yapıları botanikçi bilim insanları Barthlott ve Neinhuis tarafından

incelenmiştir (Barthlott ve Neinhuis, 1997). Islanma terimi, ideal bir yüzey üzerindeki damla dengesini tanımlayan Young'ın çalışmasıyla sistematik biçimde ele alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı arasındaki ilişkiler ilk olarak Wenzel tarafından ortaya konulmuş, Cassie ve Baxter bu çalışmaları geliştirmiştir (Cassie ve Baxter, 1944b; R. N. Wenzel, 1949; Young, 1805).

Malzemelerin ıslanma kapasitesi yüzeylerinin pürüzlülüğüne ve kimyasal yapısına bağlıdır. En çok bilinen süperhidrofobik yüzeyler nilüfer çiçeğinin yapraklarıdır. Çiçeğin yapraklarını kaplayan mumsu tabaka ve mikro-nano boyutta girinti ve çıkıntılar nilüfer çiçeğinin süperhidrofobik yapıda olmasını, yani 150 derecenin üstünde temas açısına sahip olmasını sağlar (Kosak Söz, Yilgör ve Yilgör, 2015). Benzer durum doğada hayvanlarda da gözlemlenebilir. Kelebeklerin kanatları ve balinaların yüzeyleri süperhidrofobik özelliktedir, kelebekler bu özellikleri ile kanatlarını çiğ etkisi ile yapışmaktan korunurken, balinalar için sürtünmeyi azaltarak az enerjiyle daha hızlı hareket edebilme, kendi kendini temizleme gibi özellikler kazandırmaktadır (Neinhuis ve Barthlott, 1997; Özgür, Gemici ve Bayındır, 2007).

Süperhidrofobik yüzeylerin avantajları; suyu yüzeyinde tutmama, kendi kendini temizleyebilme, korozyon etkilerden koruma, kar ve yağmur birikimini engelleyerek buz tutmama şeklinde sıralanabilir. Bu özellikleriyle boya ve koruyucu kaplamalar, dış cephe camları, çatılar, teknik kumaşlar, uçaklar, güneş panelleri, rüzgâr türbini kanatları, gıda ve ambalaj, otomobil, havacılık ve savunma sanayine kadar uzanan geniş bir çalışma alanında süperhidrofobik yüzeylerin geliştirilme ihtiyacı öne çıkmaktadır (Alberti ve DeSimone, 2005; Kosak Söz ve diğerleri, 2015).

Katı yüzeylerde pürüzlülüğün kontrollü olarak artırılması yüzeylerde ıslanma davranışını değiştirir (Yilei Zhang, 2007). Yüzeylere hidrofobik özellik kazandırmak, yüzey mikro geometrisine uygun olarak yüzey aktivasyonunu düşürecek moleküllerin kimyasal veya fiziksel bağlanmasıyla mümkün olur (Wang, Zhang, Qu, Zhang ve He, 2008a).

Hidrofobik malzemeler, su molekülleri ile katı yüzey molekülleri arasındaki çekim kuvvetinin, sıvı moleküllerinin kendi arasındaki çekim kuvvetinden daha zayıf olduğu yüzeylerdir. Bu durum, suyun yüzey üzerinde yayılmak yerine damlacık halinde kalmasına neden olur. Yüzey gerilimi, bir sıvının yüzey alanını birim miktarda artırmak

için gerekli olan enerjiyi ifade eder ve yüzey ya da ara yüzeydeki moleküller arasındaki etkileşimlerin bir göstergesidir. Sıvı yüzeyindeki moleküller, sıvının iç kısmındaki moleküllere kıyasla dengelenmemiş kuvvetlerin etkisi altındadır ve yüzey gerilimi bu kuvvetlerin bileşkesini temsil eder. Sabit sıcaklık ve basınç koşullarında, sıvı yüzeyinde bulunan bir molekülü sıvının iç kısmına doğru bir metre boyunca çekmek için gereken kuvvet yüzey gerilimi olarak tanımlanırken, sıvının yüzey alanını bir metrekaare artırmak için harcanan enerji yüzey enerjisi olarak adlandırılır. Sayısal olarak yüzey gerilimi ile yüzey enerjisi değerleri aynıdır (Baykut, 1967). Islanma, bir sıvının moleküller arası etkileşimler nedeniyle bir katı ile temas kurmasıdır. Islanmanın derecesi adezyon ve kohezyon kuvvetlerine bağlıdır. Katı ve sıvı molekülleri arasındaki adezyon kuvvetine karşı koyan kuvvet, sıvı moleküllerinin kendi içindeki kohezyon kuvvetidir. Bu iki kuvvet arasındaki dengeye bağlı olarak bir madde daha az ıslanır, daha çok ıslanır ya da hiç ıslanmaz. Maddelerin su itme derecesi yani hidrofobiklik; bir damlanın madde yüzeyi ile yaptığı açıya yani temas açısına göre sınıflandırılır (Adamson Arthur W. ve Gast Alice P., 1967).

Teoride olduğu gibi endüstride de hidrofobiklik ile yüzlerin kendini temizleme davranışı arasında önemli bir ilişki vardır. Mikro düzeyde yüzey pürüzlülüğü olan katı yüzeylerde ıslanma rejiminin Cassie-Baxter durumundan Wenzel durumuna geçmesi su damlasının pürüzlü yüzeydeki boşlukları doldurmasına yol açar (Onda v.d.,1996). Bu durum, temas açısı histerisisi ve kayma açısı değerini arttırarak yüzeyin kendini temizleme özelliğinin kaybolmasına sebep olmaktadır (Lai, 2003; Sakai ve diğerleri, 2006). Kalıcı süperhidrofobik yüzeyler oluşturmak amacıyla yapılan çalışmalarda yüzey enerjisi düşük ve mikro ya da nano boyutta pürüzlülüğü olan yapıların bir arada kullanılmasının gerekliliği kanıtlanmıştır (Bico, Marzolin ve Quéré, 1999).

Literatürde farklı yöntemler kullanılarak bu alanda gerçekleştirilen çok sayıda deneysel çalışma bulunmaktadır. Onda ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada Alkilketendimer reçinesi kullanılarak yapılan deneylerde su ve farklı derişimlerde diokzan çözeltilerinin temas açıları ölçülmüş, temas açısı değerlerinin pürüzlülük artışına bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir (Onda, Shibuichi, Satoh ve Tsujii, 1996).

Süperhidrofobik yüzeylerin elde edilmesi için çeşitli teknikler uygulanmaktadır. Bu teknikler genel olarak, düşük yüzey enerjisine sahip malzemeler kullanılarak yüzey

pürüzlülüğünün artırılması ya da pürüzlü bir yüzeyin düşük yüzey enerjili kimyasallar ile modifiye edilmesi esasına dayanan iki temel yaklaşım altında sınıflandırılabilir. Geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden biri olan kimyasal aşındırma yöntemi, aşındırıcı olarak çoğunlukla asit çözeltilerinin kullanılarak malzemelerin kontrollü olarak pürüzlendirilmesi esasına dayanır (Cerit, 1996).

Qian ve Shen tarafından yapılan çalışmada dislokasyon bölgelerini seçici olarak çözen bir aşındırıcının kullanıldığı kimyasal işleme yöntemi ile alüminyum, bakır ve çinko süperhidrofobik yüzeyler elde edilmiştir. Aşındırılmış metal yüzeyler, fluoroalkilsilan kullanılarak modifiye edilmiş ve 150°'nin üzerinde temas açıları ölçülmüştür (Qian ve Shen, 2005).

Benzer şekilde Ruan ve ark. tarafından yürütülen bir çalışmada, kimyasal aşındırma yöntemi kullanılarak alüminyum ve çelik yüzeylere süperhidrofobik özellik kazandırılmıştır. Kimyasal aşındırma işlemi için $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{O}_2$ karışımından oluşan bir çözelti kullanılmıştır. Aşındırma sonucunda pürüzlü hale gelen yüzeyler, düşük yüzey enerjisi sağlamak amacıyla stearik asit ile modifiye edilmiştir. Bu işlem sonrasında alüminyum alaşımı için temas açısı $156 \pm 1^\circ$, çelik yüzey için ise $161 \pm 1^\circ$ olarak ölçülmüştür. Yüzeylerin süperhidrofobik özellikleri asidik, bazik ve tuzlu çözeltilerde de kararlılığını korumuştur. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri, yüzeylerde mikrometre ölçekli ada-boşluk yapılarının ve nanometre ölçekli gözenekli alt tabakaların oluştuğunu ortaya koymuş; bu çift ölçekli pürüzlülüğün, Cassie–Baxter modeline göre yüzeyde hava hapsi oluşturarak yüksek temas açılarına neden olduğu belirtilmiştir (Ruan ve diğerleri, 2012).

Marmur tarafından geliştirilen ve üzerinde parabolik çıkıntılar bulunan yüzey modelinde çıkıntıların yüksekliği ve aralarındaki uzaklığın süperhidrofobisite üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar çıkıntıların yüksekliğinin temas açısına, bağlı olarak organik/inorganik kirliliği temizleyebilme özelliklerini etkilediğini göstermiştir (Marmur, 2013).

Zhang ve ark. yaptığı bir çalışmada S45C çelik yüzey üzerinde süperhidrofobik bir yapı, basit ve hızlı bir yöntemle üretilmiştir. Yüzey hazırlığı kapsamında çelik numuneler mekanik olarak zımparalanıp parlatılmış, ardından $\text{HF--H}_2\text{O}_2$ karışımı ile kimyasal aşındırma uygulanarak çok ölçekli pürüzlü bir yapı elde edilmiştir. Oluşturulan

yüzey, düşük yüzey enerjili bileşenlerle modifiye edilerek $158 \pm 2^\circ$ temas açısı ve $3 \pm 1^\circ$ kayma açısı sergileyen süperhidrofobik özellik kazanmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon testleri, süperhidrofobik yüzeyin korozyon potansiyelinin arttığını ve korozyon akım yoğunluğunun çıplak çeliğe kıyasla önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Ayrıca, tribolojik testler sonucunda süperhidrofobik yüzeyin düşük sürtünme katsayısını uzun süre koruduğu ve aşınma sonrası süperhidrofobik davranışında belirgin bir bozulma olmadığı rapor edilmiştir. Bu sonuçlar, süperhidrofobik çelik yüzeylerin korozyon ve aşınma direncini artırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır (H. Zhang ve diğerleri, 2015).

Yüzey Aktif Maddeler sulu çözeltilerde çözünerek yüzey gerilimini düşüren hidrofilik bir baş grup ve hidrofobik bir kuyruk içeren amfifilik moleküllerdir. Bu maddelerin hem temel bilimler hem de uygulamalı bilimler kapsamında birçok önemli süreçte kritik bir rol oynadığı bilinmektedir (Batigöç ve Akbaş, 2011).

Yüzey aktif maddelerin süper hidrofobik yüzeylerin ıslanma davranışları üzerindeki etkisi Ahmad ve ark. tarafından araştırılmıştır. Süper hidrofobik yüzeyler, alkillen dimer (AKD) eriyiğini özel olarak tasarlanmış bir kalıba dökerek AKD'den hazırlanmıştır. AKD yüzeylerinde saf suyun temas açısı ölçümü için aksimetrik düşme şekli analizi yöntemi kullanılarak zamana bağlı çalışmalar yapılmıştır. Sonuçlar, AKD yüzeylerindeki suyun ilerleyen ve gerileyen temas açılarının zamanla arttığını ve sırasıyla 164° ve 147° değerlerine ulaştığını göstermektedir. Farklı yüzey aktif madde çözeltilerinin çeşitli konsantrasyonları için ilerletme ve çekilme temas açıları ölçülmüştür. Temas açısı sonuçları, yüzey aktif madde çözeltilerine benzer yüzey gerilimleri olan bir dizi saf sıvınıninkiyle karşılaştırılmıştır. Yüksek konsantrasyonlarda saf sıvıların ve yüzey aktif madde çözeltilerinin yüzey gerilimlerinin benzer olmasına rağmen, temas açılarının çok farklı olduğu bulunmuştur. Saf sıvılar ve yüzey aktif madde çözeltileri ölçümlerindeki fark, adsorpsiyon hipotezi kullanılarak açıklanmıştır (Ahmad, Shafiqur ve Mohammad, 2009).

Pan ve ark. (2010), CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide) ve ultrasonikasyon destekli HNO_3 aşındırma yöntemiyle bakır yüzeyde süperhidrofobik mikro-nano yapılar oluşturmuştur. Bu yöntem, yüzeyde yoğun ve küresel mikrogözenekler meydana getirerek 155° temas açısına ulaşılmasını sağlamıştır. Ayrıca

PFDTES (1H,1H,2H,2H-perfluorodecyltriethoxysilane) ile yapılan yüzey modifikasyonu sonucu, yüzeyin hem yüksek sıcaklıkta hem de geniş pH aralığında kararlılığını koruduğu gösterilmektedir. Çalışma, basit, düşük maliyetli ve dayanıklı süperhidrofobik bakır yüzey üretimi için etkili bir yaklaşım sunmaktadır (Pan, Dong ve Bi, 2010a).

Literatürdeki diğer bir çalışmada Hou ve ark. tarafından çinko levha yüzeylerine H₂O₂ destekli yüzey aşındırma ve ardından PFDTES ile yüzey modifikasyonu uygulanarak ZnO süperhidrofobik filmler üretilmiştir. Aşındırma sonrası elde edilen ZnO filmlerin hidrofobik özellik sergilediği, FDS modifikasyonu ile su temas açısının $154 \pm 2^\circ$ değerine yükselerek süperhidrofobik davranış kazandığı tespit edilmiştir. Elde edilen süperhidrofobik özelliklerin, yüzey pürüzlülüğünün artması ve yüzey serbest enerjisinin azalmasıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir (Hou, Wang, Zhou ve Li, 2011).

Benzer bir çalışmada ZnO nanokompozit kaplamalar kullanılarak süperhidrofobik yüzeylerin üretimine yönelik deneyler gerçekleştirilmiş kimyasal işleme yöntemi kullanılarak ZnO kaplamalar elde edilmiştir. Yüzeylerin başlangıçta 108° olarak ölçülen temas açıları PDMS ile yüzey modifikasyonu sonrasında 155° değerine ulaşmıştır. Yapılan karakterizasyonlar, süperhidrofobik davranışın yüzey pürüzlülüğünün artması ve düşük yüzey serbest enerjisi ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Yöntemin flor içermemesi, düşük maliyetli olması ve geniş yüzeylere uygulanabilirliği literatürde avantajlı bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir (Bedair, El-Sabbah, Fouda ve Elaryian, 2017; Chakradhar, Kumar, Rao ve Basu, 2011).

Literatürde kimyasal işleme çalışmalarında yaygın olarak tercih edilen aşındırıcı sistemlerden biri olan demir (3) klorür (FeCl₃) ve nitrik asit (HNO₃) etkileri El-Awadi ve ark. (2016) ve Çakır (2008) tarafından yapılan çalışmalarda incelenmiştir. Aşındırıcının sıcaklık, derişim ve süreye bağlı olarak malzeme uzaklaştırma hızını (MRR) artırdığı, paslanmaz çeliklerde ise düşük çözünme hızlarıyla pasif davranış sergilediği bildirilmiştir. Bu nedenle deneyde, AISI 304 ve AISI 316 numuneleri kısa sürelerle FeCl₃ ve HNO₃ çözeltisi ile aşındırılarak Malzeme uzaklaştırma oranının zamana bağlı değişimi incelenmiştir (O. Çakır, 2008a; El-Awadi, Enb, Abdel-Samad ve El-Halawany, 2016).

AISI316 paslanmaz çelik yüzeylerde süperhidrofobik özellik kazandırmak amacıyla H₂O₂, HF ve PFOS'un eşzamanlı kullanıldığı tek-adımlı ıslak kimyasal bir

yöntem geliştirilmiştir; bu yöntemle 161,78° temas açısı elde edilmiştir. Çalışmada önerilen tek-adımlı yöntem, yüzey pürüzlülüğü oluşturma ve yüzey modifikasyonunu aynı anda gerçekleştirerek işlem basamaklarını basitleştirmektedir (Chen ve diğerleri, 2022).

Paslanmaz çeliklerin aşındırma işlemi diğer metallere daha zor bir işlemdir. Yüksek korozyon direnci ve bu alaşımların potansiyel mikroyapısal karmaşıklığı, karbon ve alaşımlı çeliklere kıyasla uygun aşındırıcının seçimini paslanmaz çeliklerde daha zor hale getirmektedir. Yapılan çalışmalarda çoğunlukla tek bir aşındırıcının geniş bir bileşim aralığı için uygun olmadığı, alaşımların korozyon direnci arttıkça, daha güçlü aşındırıcıların kullanılması gerektiği ortaya konmuştur. Özellikle yüksek korozyon direncine sahip AISI316 gibi östenitik paslanmaz çeliklerde, uygun aşındırıcının seçimi kritik öneme sahiptir. Literatürde, Kallings reaktifi bu tür alaşımlarda tane sınırlarının ve faz kontrastının ortaya çıkarılmasında yaygın olarak kullanılan güçlü bir aşındırıcı olarak rapor edilmiştir (Voort, Lucas, Elena ve Manilova, 2004) . Bu çalışmada da aşındırıcı olarak çeşitli konsantrasyon ve zaman aralılarında Kallings reaktifi ile yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Yüzey aktif maddelerin korozyon inhibitörü olarak kullanılmasının araştırıldığı bir çalışmada Bedair ve ark., üç farklı iyonik olmayan yüzey aktif madde sentezleyerek bu bileşiklerin 1 M HCl ortamında karbon çelik için korozyon inhibitörü olarak etkinliğini incelemiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda homojen bir adsorpsiyon mekanizmasının varlığı belirlenmiştir. Bu çalışma, noniyonik yüzey aktif maddelerin asidik ortamlarda etkili korozyon inhibitörleri olabileceğini göstermesi açısından literatürde önemli bir yer tutmaktadır (Bedair ve diğerleri, 2017).

Başka bir çalışmada, Shaban ve ark., kükürt atomları içeren etilen glikol kullanarak katyonik yüzey aktif maddeler sentezlemiş, sentezlenen katyonik yüzey aktif maddelerin, 1 M HCl ortamında karbon çelik için etkili korozyon inhibitörleri olarak kullanılabileceği belirtmişlerdir (Shaban, Saied, Tawfik, Abd-Elaal ve Aiad, 2013).

Literatürde AISI 304 paslanmaz çelik yüzeylerde süperhidrofobik özellik elde edilmesine yönelik kimyasal aşındırma temelli çalışmalar bulunmaktadır. Li ve ark. tarafından yapılan çalışmada, paslanmaz çelik yüzeylerde kimyasal yüzey modifikasyonu ile süperhidrofobik özellikler elde edilmiş, çalışmada ağırlıklı olarak yüzey kimyasının

değiştirilmesi ve temas açısı çıktıları değerlendirilmiştir (Li, Breedveld ve Hess, 2012). Kim ve ark. ise iki aşamalı kimyasal aşındırma yöntemi kullanarak AISI 304 yüzeylerde mikro/nano ölçekli pürüzlülük oluşturmuş ve süperhidrofobik davranışı incelemiştir, ancak yüzey pürüzlülüğü ve malzeme uzaklaştırma süreci nicel ve kontrollü parametreler olarak ele alınmamıştır (Kim, Mirzaei, Kim ve Kim, 2018). Daha yakın tarihli bir çalışmada Zhang ve ark., iki adımlı kimyasal aşındırma ve düşük yüzey enerjili modifikasyon yaklaşımıyla paslanmaz çelik yüzeylerde yüksek temas açıları elde etmiş, ancak modifiye edicilerin türüne bağlı karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmamıştır (Yu Zhang, Zhang, Yang, Yue ve Zhang, 2022). Bu çalışmalar, paslanmaz çeliklerde süperhidrofobik yüzey üretiminin mümkün olduğunu göstermesine rağmen, yüzey pürüzlülüğünün ve malzeme uzaklaştırma oranının kontrollü bir üretim çerçevesi içinde ele alınması, tek-adımlı yöntemlerin geliştirilmesi ve farklı yüzey aktif madde türlerinin parametrik ve karşılaştırmalı olarak incelenmesi konularında literatürde sınırlılıklar bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, yüzey aktif maddelerin asidik ortamlarda özellikle karbon çelikler üzerinde korozyon inhibitörü olarak yaygın biçimde incelendiği görülmektedir. Çalışmaların büyük bir kısmı katyonik ve noniyonik yüzey aktif maddeler üzerine yoğunlaşmış olup, inhibitör performansı genellikle ağırlık kaybı ve elektrokimyasal yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Paslanmaz çelik, bakır ve alüminyum gibi diğer metaller üzerinde yüzey aktif maddelerin korozyon inhibitörü olarak kullanımına ilişkin çalışmaların sınırlı olduğu dikkat çekmektedir (Voort, Lucas, Elena ve Manilova, 2004).

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

2.1. Korozyon

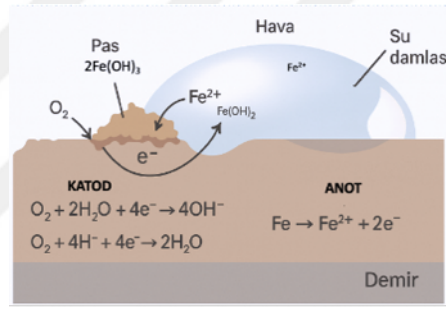
“Korozyon” terimi Latince kökenlidir. Latince "rodere" kelimesi “kemirmek”, "corrodere" ise “parçalarına ayırarak kemirmek” anlamına gelir (V.S.Sastri, 2011). M.Ö. 427-347 yıllarında Platon tarafından korozyonun ilk yazılı tanımı pasın metalden ayrılan toprak benzeri bir bileşen olduğu şeklinde yapılmıştır. Yaklaşık 2000 yıl sonra Georgius Agricola da benzer bir görüşü savunarak pası metalin salgısı olarak tanımlamıştır. 1836'da Sir Humphry Davy, deniz suyunda metallerin katodik korunması ile ilgili çalışmalar yapmış, benzer şekilde Michael Faraday elektrokimyasal etkilerle akım üretimi üzerine çalışmalar yapmıştır (Walter von Baeckmann, Wilhelm Schwenk ve Werner Prinz, 1988).

Paslanma dilimizde demir temelli malzemelerin korozyonunu, pas ise bu malzemelerden kaynaklanan korozyon ürününü ifade etmektedir. Korozyon terimi yaygın olarak metallerin ve metal alaşımlı malzemelerin bulundukları çevre koşullarında kimyasal ve elektrokimyasal tepkimeler sonucu uğradıkları tahribatı ifade etmek olarak kullanılsa da aslında tüm yapı malzemelerinin çevrenin etkisiyle zaman içerisinde dıştan içe doğru tahribata uğramasıdır. Endüstride metaller ve alaşımlar, seramikler, kauçuk ve cam gibi çeşitli yapı malzemeleri kullanılır. Bu nedenle korozyonu da yapı malzemesi sınıfına giren tüm katıların, çevre şartlarının etkisi sonucunda malzeme özelliklerini kaybetmesini ifade edecek şekilde tanımlamak gerekir. Malzeme seçiminde malzemenin konuyla ilgililiği, üretim kolaylığı, bulunabilirlik, korozyon direnci, çevresel faktörler,

dayanım, maliyet gibi etkenler göz önünde bulundurulur (Doruk Mustafa, 2013; Üneri Saadet, 2011; Yalçın Hayri ve Koç Timur, 2014).

2.1.1. Korozyon Mekanizması

En yaygın kullanılan ve teknolojik öneme sahip metaller, altın ve platin gibi birkaç istisna dışında tabiatta cevher halinde bulunur. Metal ve alaşımlar sermaye ve malzeme, tasarrufu nedeniyle cevherleri yapay olarak indirgeyerek üretilir. Bu kararsız metaller atmosfere maruz kaldıklarında orijinal hallerine veya benzer metal bileşiklerine dönme eğilimindedirler. Bu süreçte bulundukları ortamın elementleriyle reaksiyona girerek kimyasal değişime uğrar ve bozunurlar. Bu değişim, metalin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinde istenmeyen zararlara yol açar. Korozyon bu bozunma reaksiyonunu ve neden olduğu zararları tanımlayan bir süreçtir (Schweitzer, 2010).



Şekil 2. 1. Korozyon oluşumu

2.1.1.1. Kimyasal korozyon

Korozyon malzeme ile bulunduğu ortamda meydana gelen kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonların bir sonucudur (Çiçek ve Al-Numan, 2011). Korozyonun derecesi sıcaklık, nem vb. ortam koşullarına, malzemenin türüne, taneler arası özellik farklarına, sistem tasarımına, kimyasal ve elektrokimyasal özelliklere göre değişir. Islak ve nemli olmayan yüksek sıcaklık şartlarında, yani kuru ortamda hava ve diğer gazların etkisiyle meydana gelen korozyon kimyasal korozyon olarak tanımlanır. En yaygın örneği yüksek sıcaklıklarda metal malzemelerin yüzeylerinde oluşan oksit tabakalardır (2.1.).

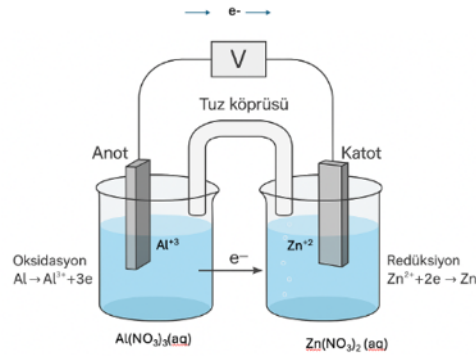


2.1.1.2. Elektrokimyasal korozyon

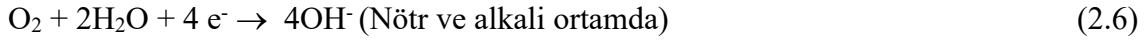
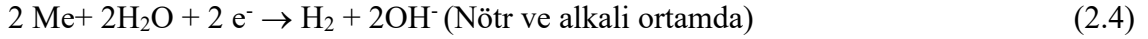
Elektrokimyasal korozyon, metal ve alaşımlarının elektrolit çözeltide bozunmasıyla meydana gelen korozyon türüdür ve ıslak korozyon olarak da bilinir. Korozyon hücresi elektrokimyasal korozyonda oluşan sistem olarak tanımlanır (Şekil 2.2.). Korozyon yükseltgenme-indirgenme reaksiyonları sonucunda gerçekleşir. Korozyon hücresinde, metalin aşındığı bölge anot, korunmuş bölge ise katot olarak adlandırılır. Elektrolit, bu iki bölge arasındaki iletken ortamı sağlarken, anot ve katot arasındaki elektriksel bağlantı elektron akışını mümkün kılar. Anodik reaksiyonda metalik iletken ortamdan iyonik ortama doğru pozitif yük transferi gerçekleşir. Anotta gerçekleşen reaksiyon elektrokimyasal bir reaksiyondur ve metalin oksidasyonu yani elektron kaybıdır (2.2) (Popov, 2015; Üneri Saadet, 2011).



Katodik reaksiyon, metal yüzeyinde gerçekleşen ve elektronların metalden elektrolit fazındaki türlere aktarıldığı indirgenme süreci olarak tanımlanır. Katodik reaksiyonda anodik reaksiyonda üretilen elektronlar katotta meydana gelen redüksiyon yani indirgenme reaksiyonu ile harcanır (Popov, 2015). Asidik, nötr veya alkalin çözeltide hidrojenin açığa çıktığı katodik reaksiyonlar 2.3 ve 2.4’ de gösterilmiştir. Asidik, nötr veya alkalin çözeltide çözünmüş oksijenin açığa çıktığı reaksiyonlar 2.5 ve 2.6’ da gösterilmektedir.



Şekil 2. 2. Elektrokimyasal korozyon hücresi



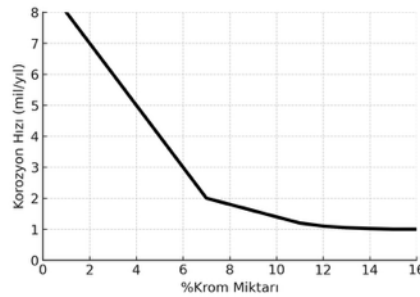
2.1.2. Metallerde Korozyon

Çelik düşük maliyeti ve yüksek mukavemeti sayesinde dünyada en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Karbon çeliği, otomobil imalatında, havacılık endüstrisinde, su ve kimyasal maddelerin taşınmasına yönelik boru hatlarında, petrol ve gaz sektöründe kullanılan gemilerde, üretim sistemlerinde, altyapı projelerinde ve inşaat sektöründe üstün performans özellikleri sayesinde önemli bir malzeme olarak öne çıkmaktadır ve geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sanayi ve toplumun gelişiminde önemli bir rol oynayan bu malzemenin üretimi sürekli artmaktadır. Ancak, karbon çeliği ve mühendislikte yaygın olarak kullanılan metal malzemelerin çoğu atmosferik koşullarda korozyona uğrar.

Korozyon malzemenin çevre ortamla fizikokimyasal ve elektrokimyasal etkileşimleri, ürünlerin mekanik ve fonksiyonel özelliklerinin tamamen kaybolmasına kadar kademeli olarak tahrip olmasına yol açar. Korozyonun yıkıcı etkisinin dayanıklılığın yanı sıra kullanılan ürünlerin, cihazların ve yapıların güvenliği üzerinde de doğrudan etkisi vardır, hem ekonomik hem de sosyal açıdan tüm ülkelerin ekonomisi için son derece önemli bir sorundur. Ekonomik kayıplar, hasarlı yapıların, makinelerin, cihazların veya bunların bileşenlerinin değiştirilmesi ihtiyacıyla, korozyona dayanıklı pahalı malzemelerin kullanılmasıyla, korozyon önleyici korumayla ve dolaylı olarak parçaların değiştirilmesi veya hasarın onarılması ihtiyacından kaynaklanan üretim kesintileri ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, metal ürünlerin uzun ömürlü olabilmesi için korozyona karşı uygun şekilde korunması gerekmektedir (Kania, 2023; Toprak Döşlü, Dehri ve Yıldız, 2018).

Paslanmaz çelikler, çevresel etkilere ince ve yüzeyde oluşan oksit tabakaları tarafından korunur. Yerel yıkımlara karşı hassas olan bu tabakalar mükemmel değildir

hızla korozyona uğrayabilir. 1913'te metalürjist Harry Brearly, tüfek namlularının dayanımını artırmayı amaçladığı bir çalışmada, düşük karbonlu çeliğe krom eklemenin leke direncini önemli ölçüde artırdığını keşfetmiştir. Bu buluşu ile paslanmaz çeliğin öncüsü olarak anılır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelikler, en az %10,5 krom içeren demir karbon alaşımlarıdır. Bu alaşımlarda nikel, molibden ve titanyum gibi elementler de bulunabilir. Krom, nikel, molibden ve niyobyum, çeliklerde korozyon direncini yükseltir. Bu nedenle, temiz ortamlarda paslanma ya da leke oluşumu gözlemlenmez. “Paslanmaz” terimi de buradan gelir. Çeliğin yüzeyinde hızla krom oksit (Cr_2O_3) tabakası oluşur ve bu ince film çeliği atmosfer koşullarında korur, bu koruyucu film, “pasif film” ya da “pasivasyon tabakası” olarak bilinir. Şekil 2.3.'de gösterildiği üzere paslanmaz çeliklerin korozyon direncinde belirleyici faktör krom oranıdır. Örneğin, %17 krom içeren paslanmaz çelik oldukça yüksek korozyon direncine sahiptir; krom oranı %28'e çıkarıldığında ise çok daha dayanıklı hale gelir. Nikel, pasif film oluşum hızını artırarak katkı sağlar. Molibden ise pasif filmin kararlılığını artırır ve özellikle çukurcuk korozyonu ve gerilimli korozyon çatlağı gibi yerel korozyon türlerine karşı direnci güçlendirir. Karbon katkısı da çeliğin sertliğini ve dayanımını yükseltir. Ancak modern üretim teknikleri, karbon miktarını düşürmeyi öncelikli hale getirmiştir. Çünkü yüksek sıcaklıklarda (450–850 °C) karbon, kromla birleşerek krom karbürler oluşturur ve bunlar tane sınırlarında çökelerek kromu tüketir. Bu, krom miktarının %11–12 seviyesinin altına düşmesine neden olur ve pasif tabakanın koruyucu etkisini zayıflatır (Nayir, 2023).



Şekil 2. 3. % Krom miktarının korozyon hızına etkisi

Metal korozyonunu önlemenin en etkili ve ekonomik yollarından biri inhibitör kullanımıdır. İnhibitörlerin adsorpsiyonu, metal yüzeyinin yüküne, inhibitörün kimyasal yapısına ve adsorpsiyon mekanizmasına bağlı olarak değişmektedir.

2.1.2.1. Kontrollü Korozyon ve Kimyasal İşleme

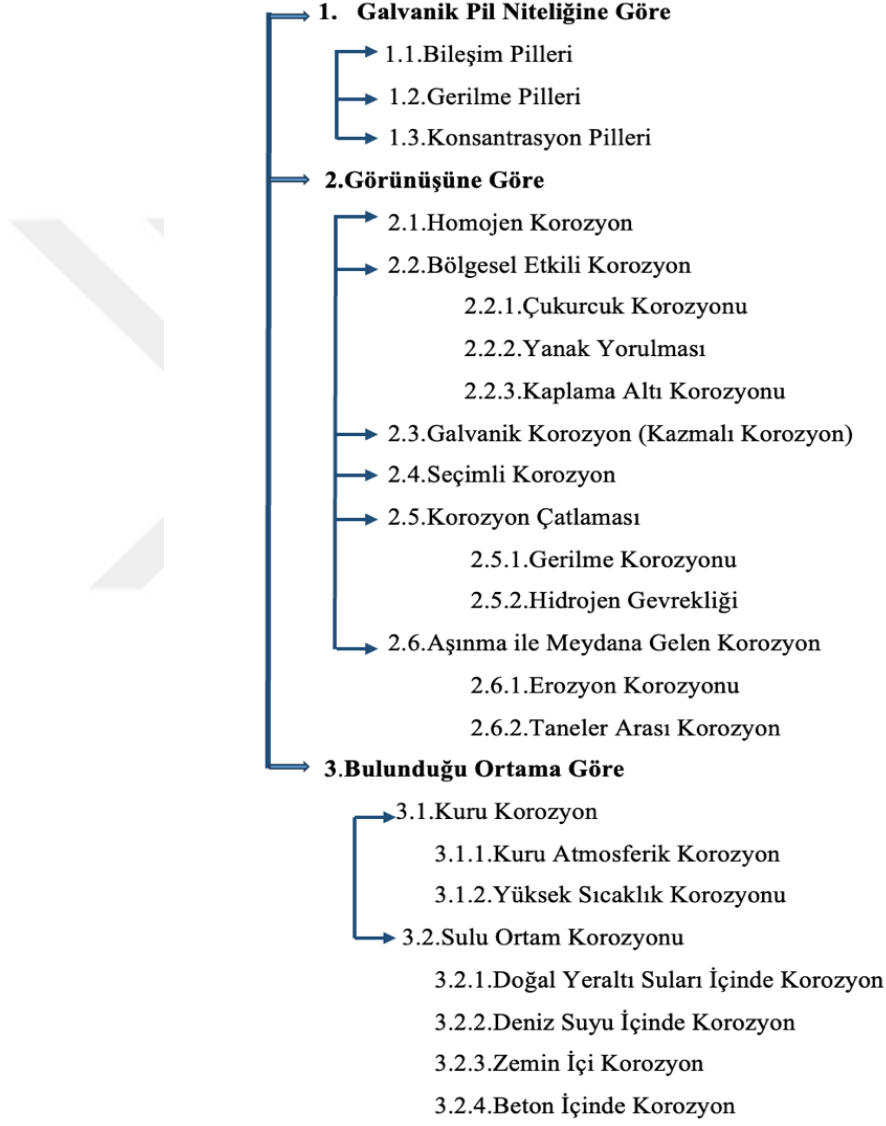
Korozyon genellikle metal malzemelerin servis ömrünü kısaltan, istenmeyen ve kontrolsüz bir bozunma süreci olarak değerlendirilirken; aynı temel elektrokimyasal mekanizmalar, uygun koşullar altında yönlendirilerek kimyasal işleme (chemical machining) süreçlerinin temelini oluşturmaktadır. Kimyasal işleme, metal yüzeylerin asidik veya oksitleyici çözeltiler kullanılarak, mekanik temas olmaksızın ve belirli parametreler altında kontrollü şekilde çözündürülmesini amaçlayan bir yüzey modifikasyon yöntemidir.

Bu yaklaşımda amaç, maksimum malzeme kaybı değil; çözünme hızının, süresinin ve homojenliğinin kontrol edilerek yüzey pürüzlülüğünün veya yüzey üzerinde planlanan oyuk, kanal, gibi yüzey yapılarının istenen boyutlarda oluşturulmasıdır. Dolayısıyla kimyasal işleme, kontrolsüz korozyonun aksine, yüzey özelliklerinin tasarlanabildiği amaçlı ve kontrollü bir korozyon süreci olarak değerlendirilebilir. Kimyasal işleme süreçlerinde çözeltilerin, işlem süresinin veya sıcaklığın aşırı artırılması durumunda çözünme kinetiği kontrol edilemez hale gelebilmekte ve literatürde aşırı dağlama (over-etching) olarak tanımlanan düzensiz yüzey morfolojileri ortaya çıkabilmektedir (Kalpakjian ve Schmid, 2006; Lampman ve diğerleri, 2004). Aşırı dağlama, lokal oyuklanmaların artmasına, yüzey bütünlüğünün bozulmasına ve yüzey pürüzlülüğünün öngörülemez hale gelmesine neden olur. Bu nedenle, kimyasal işleme uygulamalarında temel hedef, aşırı dağlamadan kaçınılarak kontrollü ve tekrarlanabilir bir yüzey çözünmesi sağlamaktır.

Elektrokimyasal korozyon süreçlerinde anot ve katot bölgeleri metal yüzeyi üzerinde sabit değildir; yerel kimyasal çevre, mikroyapısal farklılıklar ve pasif film oluşumu nedeniyle zamanla yer değiştirebilir. Anodik bölgede metal çözünmesi sonucu iyon birikimi ve pH değişimi meydana gelirken, bu durum ilgili bölgenin pasifleşmesine ve çözünme hızının azalmasına yol açar. Bu aşamada, yüzeyin komşu ve daha aktif bölgeleri anot davranışı göstermeye başlar. Anot–katot yer değiştirmesi olarak tanımlanan bu mekanizma, kimyasal işleme süreçlerinde çözünmenin homojenliğini ve yüzey morfolojisini belirleyen temel faktörlerden biridir. Bu nedenle kimyasal işleme uygulamalarında, anot–katot geçişlerinin kontrol altına alınması aşırı dağlamadan kaçınmak açısından kritik öneme sahiptir.

2.1.3. Korozyon Türleri

Korozyon literatürde farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır (Özer, 2021a). Bulunduğu ortamın türüne göre (Yalçın ve Koç, 1991, Onaran, 2013) yapılan bir sınıflandırma Şekil 2.3.'de, korozyonun görünüşüne göre (Bowman ve diğerleri, 2016a), (Özer, 2021a) yapılan bir sınıflandırma Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 4. Bulunduğu ortama göre korozyon türleri

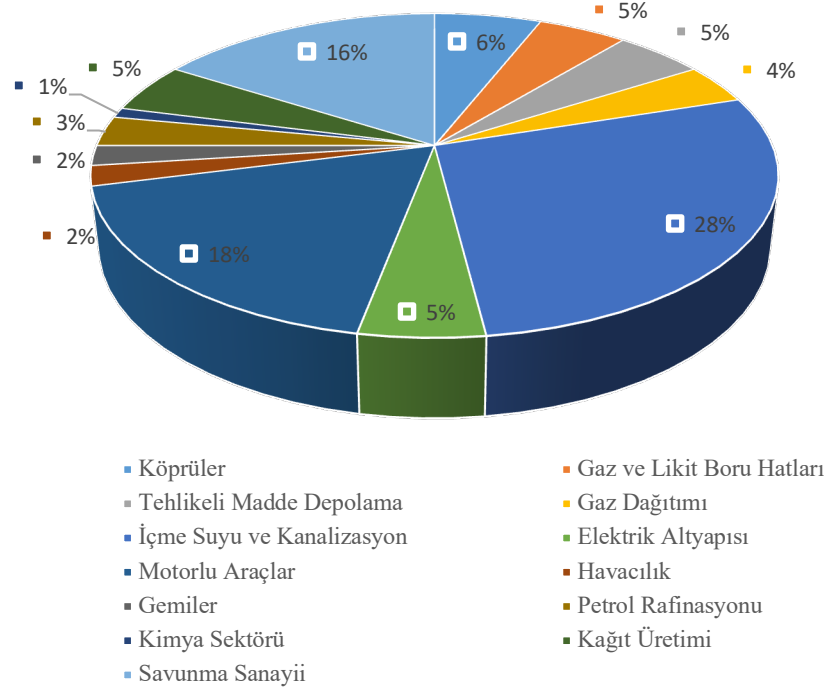
Korozyon Türü	Tanımı	Örnek	Görsel
Homojen Korozyon	Metalin genel yüzeyinde, yerel hasar oluşmaksızın, eşit şekilde metal kaybının yaşandığı korozyon türüdür.	Çeliğin atmosferde paslanması Galvanizli merdivenlerin aşınması, Yapısal çeliklerin paslanması, Gümüşün zamanla matlaşması gibi örnekler.	
Çukurcuk Korozyonu	Metall yüzeyinin dar alanlarında çukur oluşumuna neden olan, büyük kısmının zarar görmediği bölgesel bir korozyon şeklidir.	Deniz suyuunda paslanmaz çelik korozyonu Toprak altında demirin paslanması gibi örnekler.	
Aralık Korozyonu	Montaj bölgeleri gibi temas yerlerinde kir, nem veya tortu birikimi sebebiyle metal yüzeyinde dar boşluklarda görülen korozyon türüdür.	Kaplamalı çelik ve alüminyum alaşımlarında kaplama altı korozyon oluşumu gibi durumlar.	
Kaplama Altı Korozyonu	Koruyucu kaplama altına girerek meydana gelen özgün bir bölgesel korozyonu türüdür.	Perçin, vida gibi bağlantı yerlerinde korozyon Kalay tabakası zarar görmüş demir korozyonu gibi örnekler.	
Galvanik Korozyon	Farklı potansiyele sahip iki metalin temas ettiği ve anot metalin daha hızlı çözündüğü korozyon biçimidir.	Pirinç alaşımındaki çinkonun zamanla bozulması gibi örnekler.	
Seçimli Korozyon	Alaşımlı malzemelerde, belirli bir metal bileşeninin daha hızlı çözünerek korozyonun başlamasına neden olduğu durumdur.	Motor parçalarında oluşan korozyon gibi örnekler.	
Karmaşık (Hareketli) Korozyon	İki yüzeyin sürtünme ve yük etkisiyle temas ettiği yerlerde, çukur ve iz dolgunluğu şeklinde oluşan korozyon tipidir.	Özellikle makine parçaları arasında sürtünmeden kaynaklanan korozyon gibi.	
Taneler Arası Korozyon	Metall yapıdaki tanelerin sınırlarında meydana gelerek, malzemenin mukavemet ve sünekliğini olumsuz etkileyen korozyon türüdür.	Alüminyum ve paslanmaz çelik gibi malzemelerde yaygındır.	
Gerilme Korozyonu	Metalin hem mekanik yük hem de kimyasal etkenlerin eş zamanlı etkisiyle çatlama ve bozulmaya uğramasıdır. Zamanla hızlı bir şekilde gelişerek, malzemenin taşıma kapasitesinin altında kalan yüklerde ani kırılmalara yol açabilir.	Su içeren ortamlarda yüksek mukavemetli çeliklerde Klorürlü ortamlarda alüminyum alaşımlarında gibi.	
Korozyon Yorulması	Sürekli yük ve korozyonun ortak etkisiyle, düşük seviyeli yüklerde çatlamalara sebep olan metall yıpranmasıdır.	Gemi ve deniz platformları Uçak yapılarında görülen yorulma korozyonu gibi örnekler.	
Hidrojen Gevrekliği	Hidrojenin metale difüze olması sonucu, plastik deformasyon sırasında kırılmalık artışı ve çatlamaya yol açan korozyon türüdür.	Klorür ve florürlü ortamlarda yüksek mukavemetli çeliklerin temizlenmesi vb.	
Erozyonlu Korozyon	Akışkanın hareketli olması nedeniyle, metall yüzeyde koruyucu film tabakasını ortadan kaldırarak aşınma ve korozyon oluşturmaktadır. Gerilme korozyonu genellikle malzeme yüzeyinde gelişirken, hidrojen gevrekliği malzeme içerisinde meydana gelmektedir.	Boru hatlarında sıkça rastlanan aşındırıcı korozyon.	
Kavitasyon Korozyonu	Yüksek hızlı sıvı akışında gaz kabarcıklarının metall yüzeyinde patlayarak oyuk oluşturmasıyla meydana gelir.	Gemi pervaneleri Buhar türbinleri Hidrolik sistemler gibi uygulamalarda ortaya çıkar.	

Şekil 2. 5. Görünüşüne göre korozyon türleri (Özer, 2021a)

2.1.4. Korozyon Kayıpları

Yapılan araştırmalara göre korozyon kayıpları sel, deprem ve yangın gibi afetlerin yıllık maliyetinden daha fazladır (Fontana Mars G., 1987). Birçok araştırmaya göre korozyon kaçınılmaz bir süreçtir ve global olarak savaş gerektirir. Metallerde korozyon, enerji ve işçilikte ekonomik ulusal kayıp olarak değerlendirilir. Korozyon önemli bir çevre kirliliğine ve hayati olarak da birçok açıdan riske sebep olur. Korozyon kaybının yol açtığı kayıplar korozyona karşı korunma yollarının araştırılması ve geliştirilmesinin önemini belirleyen önemli bir göstergedir (Doruk, 1982).

Uhlig'in yayınladığı ve korozyonun uluslara büyük bir maliyet getirdiğini belirten ilk önemli raporundan bu yana yapılan tüm çalışmalar, korozyonun bir ülkenin gayrisafi milli hasılası (GNP) üzerinde sürekli bir yük oluşturduğunu göstermektedir. Uhlig'in raporuna göre, 1949'da Amerika Birleşik Devletleri'nde korozyonun yıllık maliyeti 5,5 milyar dolar olarak tahmin edilmiştir ve o yılın GNP'sinin %2,1'ine karşılık gelmektedir (Uhlig, 1950). O tarihten bu yana, Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık, Japonya, Avustralya, Kuveyt, Almanya, Finlandiya, İsveç, Hindistan ve Çin gibi birçok ülkede farklı kapsam ve önem seviyelerinde korozyon maliyetine yönelik araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların ortak bulgusu, korozyonun neden olduğu emek, malzeme ve enerji kaybının yıllık değeri ülkelerin gayri safi milli gelirlerinin korozyon maliyetlerinin yaklaşık %1 ila %5'i arasında değiştiğidir (Roberge, 2008). Türkiye için bu değer %4,65 civarındadır. Enerji koridoru olan ülkemizde doğalgaz ve petrol nakil hatları ve elektrik hatları ileri malzeme ve teknolojilerin kullanımını gerektiren bir önemli uygulama alanıdır. Deprem kuşağında yer alan ülkeler için de betonarme yapıların korozyona karşı dirençli hale getirilmesi hayati önem taşımaktadır (Doruk Mustafa, 2013). Küresel ölçekte korozyondan doğan kayıpların maliyetinin yıllık %15-35 arasında azaltılabileceği ortaya konmuştur (Bowman ve diğerleri, 2016b). Doğal felaketlerin aksine, korozyonu önlemek ve kontrol etmek için zamanla test edilmiş yöntemler vardır ve bu yöntemler korozyonun kamu güvenliği, ekonomi ve çevre üzerindeki etkisini azaltabilir veya ortadan kaldırılabılır (Schmitt ve diğerleri, 2009).

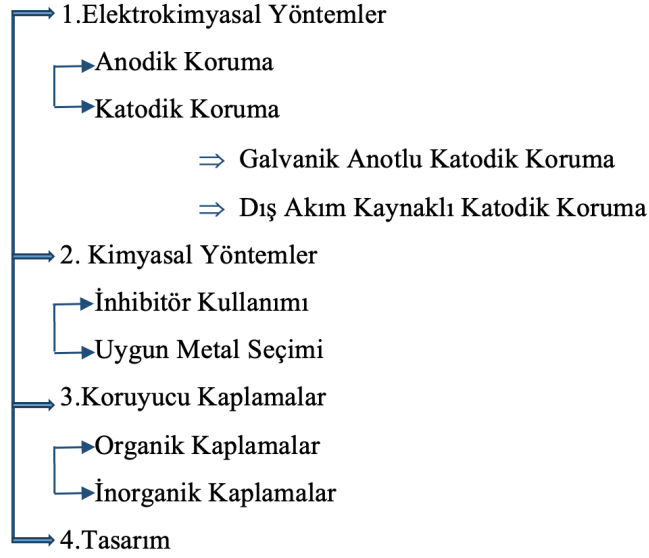


Şekil 2. 6. Korozyon kayıplarının sektörlere göre dağılımı (Koch, Brongers, Thompson, Virmani, Payer, 2002)

Çeşitli araştırmalar, toplam korozyon maliyetlerini direkt ve dolaylı olmak üzere iki ana kategoriye ayırmıştır. Yatırım masrafları, korozyon nedeniyle bozulan ekipmanların yerine yedeklerinin sürekli hazır bulundurulması, kontrol, bakım ve onarım masrafları ile korozyon kontrolü için yapılan harcamalar doğrudan kayıplar olarak tanımlanır. Dolaylı kayıplar ise tesisin durması, üretim kaybı, ürünlerin kirlenmesi gibi unsurları içermektedir.

Korozyon maliyetlerini önlenebilir maliyetler ve kaçınılmaz maliyetler olarak ikiye ayırarak inceleyen araştırmalarda, önlenebilir maliyetlerin toplam maliyetin %10-40'ı arasında değiştiği belirlenmiştir. Yapılan çalışmaların önemli bir kısmı doğrudan maliyetlere odaklanırken, dolaylı maliyetlerin genellikle daha yüksek olduğu ancak hesaplamasının zor olduğu vurgulanmıştır. Raporlar, korozyon zararlarını azaltmak için eğitim, teknik danışmanlık ve Ar-Ge faaliyetlerinin artırılmasını önermektedir (Roberge, 2008).

2.1.5. Metallerde Korozyon Önleme Yöntemleri



2.1.5.1. Elektrokimyasal Yöntemler

Anodik koruma anodik akım verilerek metal yüzeyinde koruyucu bir film tabakası oluşturulması yolu ile uygulanan bir elektrokimyasal koruma yöntemidir ve korozyonu tam olarak durdurmayıp korozyon hızını önemsiz sayılacak ölçüde azaltır. Dışarıdan akım verilmesi prensibi aynı olsa da elektrokimyasal ilkeleri katodik korumaya göre farklı olduğundan bir pasifleştirme işlemi olarak kabul edilebilir ve bu nedenle pasifleşme özelliği olan metallerde uygulanır. Anodik koruma uygulanarak metal pasif bölgede tutulur, pasif bölgeye kadar anodik olarak kutuplanır ve pasif film kararlı hale geldiğinde korozyon hızı birkaç mertebe düşer. Bu yöntem sülfürik asit tankları, kimyasal reaktörler, yüksek konsantrasyonlu asit depolama sistemleri gibi çok korozif ortamlarda kullanılır. Sülfürik asitler (H_2SO_4) yumuşak çeliklerde, fosforik asit (H_3PO_4) paslanmaz çeliklerde, amonyak, organik asitler ve kostik çözeltileri titanyumda anodik koruma amacıyla uygulanır. Anodik koruma tüm metal çeşitlerinde uygulanamaz, yapım ve bakım maliyeti yüksektir, hassas ölçüm cihazları gerektirir ve sistemin ekonomikliği metalin pasifleşmeye uygunluğuna bağlıdır (Özer, 2021b; Üneri, 2011; Yalçın Hayri ve Koç Timur, 2014).

Katodik koruma, metalin yüzeyinde anottan katoda doğru olan elektron akımının giderilmesi için, katoda dış kaynaklı akım verilmesi yoluyla koruma sağlayan en etkili

elektrokimyasal yöntemlerden biridir. Galvanik anotlu koruma yöntemi, elektrolit içinde korunması istenen metale, kendisinden daha aktif ve anot görevi yapacak bir metalin bağlanmasıdır. Bu şekilde bir galvanik pil oluşturulur. Anod çözünerek bir akım üretir, elektronlar katodik reaksiyon sağlar ve korozyon hızını düşürerek katodu korur. Anot olarak en sık kullanılan metaller çinko, alüminyum veya magnezyum gibi aktif metallerdir. Bu yöntemde harici güç gerekmediği için tüm metallerde, toprak altı boru hatları, gemi gövdeleri, depolama tankları, iskele ayakları gibi alanlarda tercih edilir. Elektrik enerjisinin bulunmadığı yerlerde tek seçenektir (Özer, 2021b; Üneri, 2011).

Dış akım kaynaklı katodik koruma yöntemi metale dışarıdan bir doğru akım uygulanarak yapılan, geniş yüzeylerin korunmasında galvanik anotların kapasitesi yeterli olmadığında kullanılan ve anot olarak kurşun, grafit, platin gibi inert malzemeler kullanılan bir koruma yöntemidir. Bu yöntemde en önemli konu metalin katodik koruma ihtiyacının belirlenmesidir (Üneri, 2011).

2.1.5.2. Kimyasal Yöntemler

İnhibitör kullanımı düşük konsantrasyonda ve agresif ortamda bulunan korozyon reaksiyonları üzerinde negatif bir katalizör etkisi göstererek korozyon hızını düşürür. İnhibitörler metal yüzeyinde ince bir film oluşturarak metal ile çevresi arasındaki reaksiyon hızını yavaşlatırlar ya da ortamda bulunan korozyona sebep olan bileşenin inhibitör tarafından kimyasal olarak bağlanması ile korozyon önlenir. Anodik inhibitörler anodik reaksiyon hızını, katodik inhibitörler ise katodik reaksiyon hızını kontrol eder.

İnhibitörler kimyasal etki biçimlerine göre; adsorpsiyon yoluyla inhibasyon, pasifleştirme yoluyla inhibasyon ve çökelme yoluyla inhibasyon olarak üçe ayrılır. Koruma mekanizmasına göre inhibitörler; anodik inhibitörler, katodik inhibitörler ve organik inhibitörler olarak sınıflandırılır. Endüstriyel uygulamalarda yaygın biçimde kullanılan anodik inhibitörler; alkali fosfatlar ve molibdatlar gibi oksitleyici olmayan bileşiklerin yanı sıra kromatlar, nitritler ve nitratlar gibi oksitleyici kimyasalları da kapsamaktadır ve genellikle pH 6,5–10 aralığında etkinlik göstermektedir. Katodik inhibitörler, metalin elektrokimyasal sistem içerisindeki indirgenme reaksiyon hızını düşürerek korozyonun ilerlemesini sınırlar. Çinko, antimon, mangan, magnezyum ve

nikel tuzları katodik inhibitörlere örnek olarak verilebilir. Organik inhibitörler ise metal yüzeyinde hem anodik hem de katodik bölgelerde koruyucu bir film tabakası oluşturarak etki gösterir. Aminler ile karboksilat veya fosfonat grubu içeren organik bileşikler karışık tip inhibitörler arasında yer almaktadır. İnhibitör performansı pH, sıcaklık, iyonik şiddet, klorür konsantrasyonu, inhibitör dozajı gibi değişkenlere bağlıdır (Davis, 2000; Özer, 2021b; Sastri, 2011; Üneri, 2011).

Uygun metal seçimi de korozyonun önlenmesinde önemli bir etkindir. Saf metal kullanımı ile homojen olmayan bölgeler en aza indirilerek çukurcuk korozyonunu önlemek veya alaşım elementleri eklenerek metallerin korozyon direncini arttırmak mümkündür.

2.1.5.3. Tasarım

Tasarım temelli korozyon kontrolü, korozyon oluşumunu baştan engellemeyi amaçlar. En önemli prensipler su birikintisi oluşturacak geometrilerden kaçınılması, boşluk oluşumunun engellenmesi, galvanik potansiyel farkı yüksek metallerin temasının önlenmesi, drenaj ve havalandırmanın optimize edilmesi, kaynak bölgelerinde homojen mikroyapı elde edilmesi, koruyucu kaplama ile uyumlu bir yüzey mühendisliği yaklaşımının seçilmesidir. Bu ilkeler, endüstriyel tesislerde bakım maliyetini ciddi ölçüde düşürmektedir.

2.1.5.4. Koruyucu Kaplamalar

Kaplamalar, metal yüzeyini korozif ortamdan fiziksel olarak ayırarak korozyon akımını sınırlar. Organik kaplamalar, özellikle atmosferik ve orta seviyede korozif ortamlarda ekonomik ve etkili çözümler sunar. Epoksi kaplamalar, yüksek bağlanma enerjisine sahip üç boyutlu ağ yapısı sayesinde kimyasal direnç sağlar; poliüretan ve akrilik sistemler ise elastikiyet ve UV dayanımı ile ön plana çıkar. Kaplama performansı, yüzey hazırlığı (temizleme, pürüzlendirme, yağ alma), kaplama kalınlığı, gözeneklilik miktarı, polimerin difüzyon direnci gibi parametrelerle doğrudan ilişkilidir.

İnorganik kaplamalardan çinko kaplama galvanik koruma sayesinde çeliği katodik konuma çekerek korur. Nikel ve krom kaplamalar daha çok dekoratif amaçlıdır ancak yüksek sertlik ve aşınma direnci de sağlar. Alüminyum kaplamalar, alüminyum

oksit filmi sayesinde iyi derecede pasiflik kazandırır. Termal sprey kaplamalar ise büyük yüzeylerde hızlı uygulama avantajı sağlar. Dönüşüm kaplamalarında fosfatlama, yüzeyde çinko/fosfat kristalleri oluşturarak boya için ideal bir bağlanma yüzeyi oluşturur. Kromatlama ve pasivasyon işlemleri ince ve stabil bir oksit tabakası oluşturarak metal yüzeyinin reaktivitesini düşürür. Bu kaplamalar özellikle otomotiv ve savunma sanayinde yaygın kullanılmaktadır (Üneri, 2011).

2. 2. Korozyon Önleyici Alternatif Yaklaşımlar: Islanabilirlik ve Yüzey Morfolojisi

Korozyonun önlenmesine yönelik geleneksel yaklaşımlar arasında koruyucu kaplamalar, inhibitör kullanımı ve katodik/anodik koruma yöntemleri yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu yöntemler metal yüzeyini korozif ortamdan fiziksel veya elektrokimyasal olarak izole etmeyi amaçlamakla birlikte, kaplama hasarı, aderans problemleri, çok katmanlı sistemlerin karmaşıklığı ve uzun dönemli dayanım gibi sınırlamalar içermektedir. Bu nedenle, son yıllarda kaplama gerektirmeyen ve yüzeyin kendisinin fonksiyonel olarak modifiye edilmesine dayanan alternatif korozyon önleme yaklaşımları ön plana çıkmıştır. Bu yaklaşımlar arasında hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeyler, metal yüzeyinin sıvılarla temasını sınırlayarak korozyon süreçlerini geciktirmesi bakımından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Böylece korozyon direnci ile sıvı iticilik, kendini temizleme ve buzlanma geciktirme gibi ilave performanslar elde edilebilmektedir. Bu fonksiyonel davranışların anlaşılmasında yüzey ıslanabilirliği temel bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımlar çerçevesinde, kaplama gerektirmeyen yüzey mühendisliği uygulamalarında fonksiyonel performansın anlaşılabilmesi için yüzey ıslanabilirliği ve yüzey morfolojisi kavramlarının ele alınması gerekmektedir.

Endüstride yaygın olarak kullanılan önemli malzemeler tamamen ıslatıcı ya da tamamen ıslanan değildir. Islanabilirlik bir katı yüzeyde bir sıvının yarattığı davranışın açıklanmasına ve katı sıvı fazlar arasındaki ilişki hakkında bilgi veren bir kavramdır. Yüzey ıslatılabilirliği malzeme yüzeyinin suyu seven yani hidrofilik veya suyu sevmeyen hidrofobik olma derecesini ifade eder. Tasarım ve endüstriyel işlemler ile yüzeylerin doğal ıslatılabilirliğini hidrofobik veya hidrofilik hale getirmek mümkündür. Yüzey kimyasını, yüzey morfolojisini ve yüzey pürüzlülüğünü değiştirerek yüzeylerin ıslatma

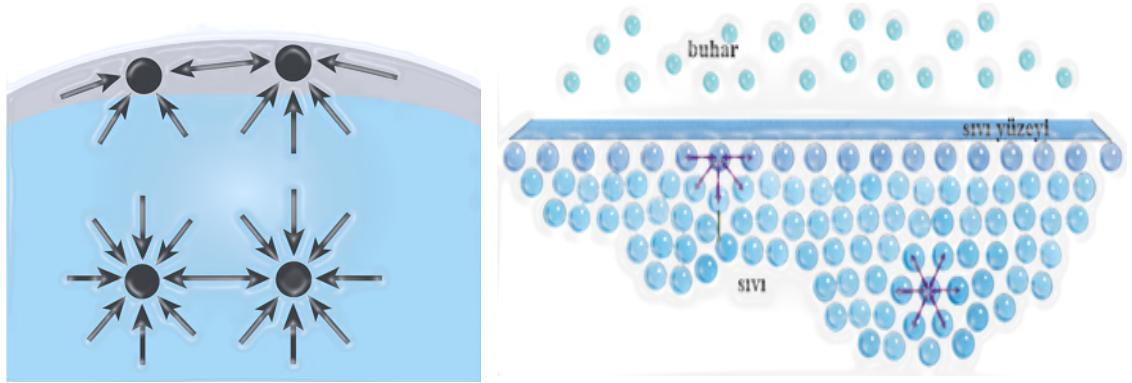
davranışı değiştirilebilir. Islanabilirlik deseni oluşturarak, yüzeylerde yoğuşmanın noktaları belirlenebilir ve damlacıkların hareketleri kontrol edilebilir (Edalatpour, Liu, Jacobi, Eid ve Sommers, 2018; Karhan, 2021). Islanabilirlik, yüzey enerjisi, yüzey gerilimi ve yüzey pürüzlülüğü gibi yüzey özelliklerine göre değişir ve temas açısı ile belirlenir.

2.2.1. Yüzey Enerjisi

Yüzey enerjisi, termodinamik olarak yeni bir yüzey oluşturmak için gerekli serbest enerji miktarı olarak tanımlanır. Sıvı ve katı fazlarda farklı fiziksel anlamlara sahip olan yüzey enerjisi; sıvılarda molekülleri sıvı yüzeyine çıkarmak için yapılması gereken iş olarak tanımlanırken, katılarda malzemenin birim yüzey alanı oluşturmak için ihtiyaç duyduğu serbest enerji miktarını ifade eden temel bir termodinamik büyüklüktür. Sıvılarda yüzey enerjisi, yüzey gerilimi ile doğrudan ilişkili bir parametre iken katılarda eşdeğer değildir. Bu fark, sıvıların şekil değiştirme kabiliyetine karşın katıların kolaylıkla şekil değiştirmemesinden kaynaklanır (A.W. Adamson, 1976; Galioğlu Atıcı, 2016).

Gaz fazı ile katı ya da sıvı fazın temas ettiği bölge yüzey olarak tanımlanırken, arayüzey kavramı temas hâlindeki iki farklı faz arasında oluşan iki boyutlu sınır bölgesini ifade eder. Katı bir yüzey üzerine yerleşen su damlası katı-sıvı arayüzeyini meydana getirirken, katı ile hava arasındaki temas bölgesi katı yüzeyi olarak adlandırılır. Arayüzeylerde gözlenen fiziksel ve kimyasal özellikler, bu bölgeyi oluşturan fazların özelliklerinden farklıdır (Becher, 1983; Hiemenz ve Rajagopalan, 1997).

Sıvı yüzeylerin her biriminde serbest yüzey enerjisi olarak tanımlanan belirli bir enerji miktarı mevcuttur. Saf sıvılar yüzeylerini küçültme eğilimindedir. Serbest akış halindeki sıvılar kendi molekülleri arasındaki Van der Waals kuvvetleriyle bir arada tutulur. Yüzeydeki moleküller ise başka moleküllerle çevrilidir. Etraftaki gaz fazın molekül sayısı sıvı faza göre azdır ve bu durumda oluşan dengesiz çekim yüzey alanını en aza indirmek için mümkün olan en çok molekülün yüzeyin dışına hareketine neden olur. Birbiri içinde çözünmeyen iki sıvı faz arasındaki arayüzlerin birim alanında N/m^2 olarak ölçülen enerjiye arayüz serbest enerjisi denilir. (Galioğlu Atıcı, 2016).



Şekil 2. 7. Sıvı içinde ve yüzeyinde bulunan moleküllere etki eden çekim kuvvetleri

2.2.2. Yüzey Gerilimi

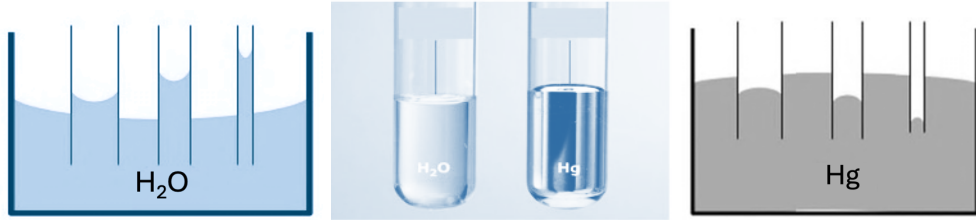
Aynı tür moleküllerin arasındaki çekim kuvvetine kohezyon kuvveti, farklı türdeki moleküllerin arasındaki çekim kuvvetine ise adezyon kuvveti denir. Sıvı fazın iç kısmında bulunan bir molekül çevresini saran diğer moleküller tarafından her yönden etkilendiğinden, simetrik dağılım nedeniyle bu etkileşimlerin net kuvveti sıfıra eşittir ve molekül dengede bulunur. Sıvı yüzeyinde yer alan bir molekül için ise buhar fazındaki molekül yoğunluğu sıvı fazdakine kıyasla oldukça düşük olduğundan, sıvı gaz arayüzeyinde çekim kuvvetleri dengelenemez ve adezyon kuvvetinde denkleşmemiş kuvvet alanları oluşur. Bu durumda molekül sıvının içine doğru çekilir ve sıvının yüzeyi gergin bir zar biçimini alır. Bu esneklik bir böceğin su yüzeyinde yürütmesine olanak sağlar (Galioglu Atıcı, 2016).

Yüzey gerilimi, yüzey alanını birim miktar arttırmak için gereken enerjidir. Bir yüzey veya ara yüzeydeki moleküller arası kuvvetler yüzey geriliminin göstergesidir. Yüzey gerilimi dengelenmemiş kuvvetlerin bileşkesine eşittir. Sıvı yüzeyinde bulunan bir molekülü sabit sıcaklık ve sabit basınç altında sıvı içine doğru 1 metre çekebilmek için gerekli kuvvete, yani yüzeyde birim uzunluğu gergin tutan kuvvete yüzey gerilimi (γ) denir. Birimi N/m veya dyn/cm'dir. Sıvılarda yüzey gerilimi ile yüzey enerjisi aynı değere sahiptir (Baykut, 1986; Birdi K. S., 2009).



Şekil 2. 8. Yüzey gerilimi etkisiyle su üzerinde duran böcek (thoughtco.com)

Sıvıların ince borularda adezyon ve kohezyon kuvvetlerinin etkisiyle yükselmesine kılcallık denir. Şekil 2.9.'da olduğu gibi su ile doldurulmuş bir kaba ince bir cam kapiler boru daldırıldığında, su ve cam molekülleri arasındaki adezyon kuvvetlerinin su molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetlerinden daha büyük olması nedeniyle su, boru içerisinde yukarı yönde hareket eder. Tersine, cıva için moleküller arası kohezyon kuvveti, cıva ile cam arasındaki adezyon kuvvetlerinden daha büyük olduğundan, cıva kapiler boru içinde alçalır.



Şekil 2. 9. Su ve cıvanın kapiler tüpte kılcal yükselme davranışı

2.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, bir yüzeyin ideal düzgün geometriden mikroskobik ölçekte sapmalarını ifade eden morfolojik bir özelliktir ve genellikle R_a , R_q gibi istatistiksel parametrelerle tanımlanır. Yüzey pürüzlülüğü, sıvı–katı ara yüzey alanını ve temas hattının sürekliliğini değiştirerek ıslanabilirlik davranışını ve ölçülen temas açısını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, temas açısı yalnızca yüzeyin kimyasal bileşimine değil, aynı zamanda yüzey morfolojisine de bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğü; temas açısının büyüklüğünü, temas açısı histerezisini ve ıslanma davranışının kararlılığını belirleyen

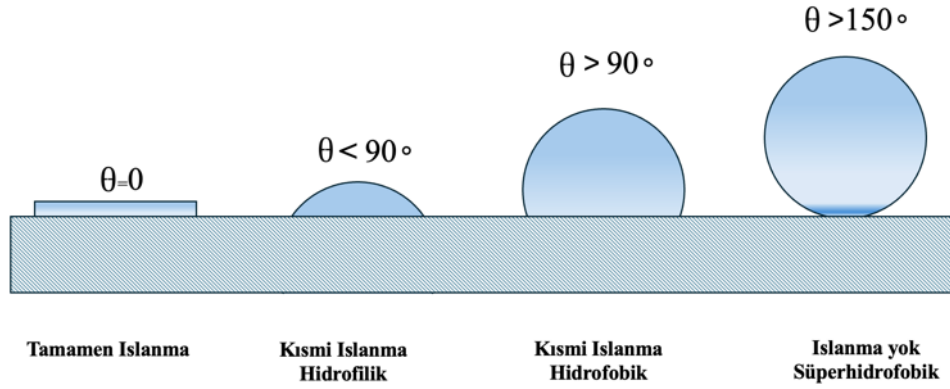
temel parametrelerden biridir (Benardos ve Vosniakos, 2003; BERG, 1993; Salapare III Hernando S, Blantocas, Noguera ve Ramos, 2009).

Yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi, profil (tek boyutlu, 1D) veya yüzeylerin (iki boyutlu, 2D) yükseklik değişimlerinin ölçülmesiyle başlar. Genel olarak ölçülen yükseklik verileri ayrık formatta olup, iki veri noktası arasındaki mesafe sabittir. Profillerin ölçülmesi daha kolaydır ve birçok yüzey, paralel profillerin birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Profil ölçümlerinde temaslı iğne (stylus) tipi ölçüm cihazları yaygın olarak kullanılmaktadır. Son on yılda, yüksek çözünürlükleri sayesinde mikro ve nano ölçekli pürüzlülük ölçümleri taramalı prob mikroskopisi (Scanning Probe Microscopy, SPM) yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu cihazların temel çalışma prensibi benzerdir, bir prob, profil boyunca tarama yapar ve prob ile yüzey arasındaki etkileşimler kaydedilerek analiz edilir; böylece profil yükseklik bilgisi elde edilir (Y. Zhang, 2007).

2.2.4. Temas Açısı

Çoğu durumda bir katı üzerine yerleştirilen bir sıvının yüzeyi ıslatmadığı, bunun yerine sıvının katı ve sıvı fazları arasında belirli bir temas açısına sahip bir damla halinde kaldığı gözlemlenir. Temas açısı, bir sıvı damlasının katı yüzeyle temas ettiği noktada, damla yüzeyine çizilen teğet ile yüzey arasındaki açıdır. Bu açının değeri, adezyon kuvvetleri ile kohezyon kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlıdır.

Temas açısı bir yüzeyin ıslanabilirlik karakterinin belirlenmesinde kullanılan temel bir parametredir. Temas açısının 90° 'nin altında olduğu yüzeyler ıslanabilir ya da hidrofilik olarak tanımlanırken, temas açısının 90° ve üzerinde olduğu yüzeyler ıslanamaz nitelikte olup hidrofobik yüzeyler olarak adlandırılır. Temas açısının 150° 'den büyük olduğu yüzeylere süperhidrofobik yüzeyler denir. Temas açılarına göre yüzeylerde ıslanabilirlik Şekil 2.10. ve Çizelge 2.1.'de gösterilmektedir. Pürüzlü olmayan bir yüzey üzerinde ölçülen temas açısı, özgül temas açısı olarak tanımlanır ve θ ile gösterilir.



Şekil 2. 10. Katı yüzeylerde ıslanabilirlik

Çizelge 2. 1. Temas açılarına göre ıslanabilirlik

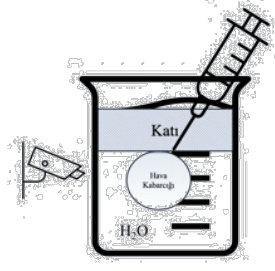
Temas Açısı	Yüzeyde Islanma Özelliği
$\theta < 10$	Süperhidrofilik Yüzey
$10 < \theta < 90$	Hidrofilik Yüzey
$90 < \theta < 150$	Hidrofobik Yüzey
$\theta > 150$	Süperhidrofobik Yüzey

2.2.5. Temas Açısı Ölçüm Yöntemleri

Literatürde temas açısı ölçümü için geliştirilmiş farklı ölçüm yöntemleri bulunmaktadır. Katı yüzeylerde ölçüm için eğer yüzey gözenekli bir yapıya sahip ise Washburn yöntemi, gözeneksiz bir yapıya sahip ise tensiyometre ve optik teleskop (gonyometre) yöntemleri en sık kullanılan temas açısı ölçüm yöntemleridir.

2.2.5.1. Hapsedilmiş Kabarcık Yöntemi

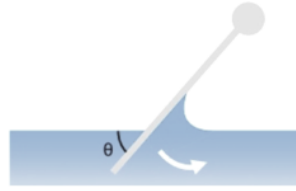
Yöntem sıvı içinde hapsedilmiş bir hava kabarcığının katı bir yüzeye temas ettiği noktadaki temas açısının ölçülmesine dayanır. Şekil 2.11.'de gösterildiği gibi katı yüzey bir sıvı ortamına (çoğunlukla su) tamamen batırılır, yüzeyin altına mikro enjektör yardımıyla küçük bir hava kabarcığı bırakılır, kabarcığın yüzeye temas ettiği noktada kabarcık profili kamera ile görüntülenerek profili analiz edilir (Düzyol, 2016; Taggart, Taylor ve Ince, 1929).



Şekil 2. 11. Hapsedilmiş kabarcık yöntemi şematik gösterim

2.2.5.2. Eğik Plaka Yöntemi

Yöntemde, dikdörtgen biçimindeki plaka bir kenarından sıvı yüzeyine sabitlenir. Plakanın serbest ucu sıvı ile doldurulmuş bir kaba yavaşça daldırılır. Bu işlem sırasında plakanın her iki yüzeyinde sıvı tarafından bir eğrilik oluşur. Plaka, sıvı içinde yavaşça eğilerek döndürülür ve Şekil 2.12.'de görüldüğü gibi plaka üzerinde oluşan temas açısı belirlenir (Adam ve Jessop, 1925; Düzyol, 2016).



Şekil 2. 12. Eğik plaka yöntemi şematik gösterimi

2.2.5.3. Wilhelmy Denge Yöntemi

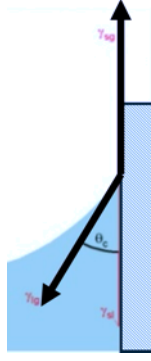
Yöntemde Şekil 2.13.'de gösterildiği gibi pürüzsüz, ince bir plaka dikey bir sıvıya batırılır ve ağırlığındaki değişim denge hesabı ile belirlenir. Belirlenen kuvvet değişimi yüzdürme kuvveti ve ıslatma kuvvetinin bir kombinasyonudur. Denge değişiminden denklem 2.7.'de verilen formül ile temas açısı belirlenir (Düzyol, 2016; Wilhelmy, 1863).

$$F = \gamma P \cos \theta - V \Delta \rho \quad (2.7)$$

P: Plaka Çevresi

V: Yer Değiştiren Sıvı Hacmi

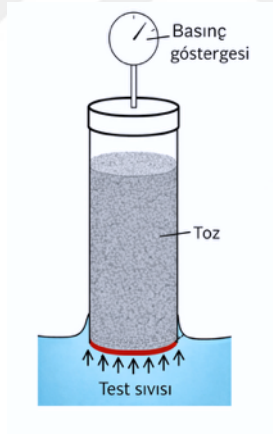
$\Delta \rho$: Sıvı-Hava Yoğunluk Farkı



Şekil 2. 13. Wilhelmy denge yöntemi şematik gösterimi

2.2.5.4. Washburn Yöntemi

Yöntem gözenekli yapılarda ölçüm yapabilmek amacıyla Washburn tarafından geliştirilmiştir. Kılcal yükselme etkisiyle tüp içine hapsedilen toza sıvının nüfuz etme hızının ölçülmesine dayanır. Şekil 2.14.'de yöntemin şematik gösterimi verilmektedir. Yükseklik ya da kütle artışı ile hesap yapılabilir ancak kütle ölçümü daha güvenilir bulunmaktadır (Alghunaim, Kirdponpattara ve Newby, 2016; Washburn, 1921).



Şekil 2. 14. Washburn yöntemi şematik gösterimi (Alghunaim ve diğerleri, 2016)

$$m^2 = \left(\frac{C \cdot \rho \cdot \gamma_{LV} \cdot \cos \theta}{\eta} \right) \cdot t \quad (2.8)$$

t= Zaman

m= Absorblanan Kütle

θ= Temas Açısı

C= Materyal Sabiti

ρ = Sıvı Yoğunluğu

γ = Sıvı Yüzey Gerilimi

η = Sıvı Viskozitesi

2.2.5.5. Tensiyometre Yöntemi

Yöntemde sıvının katı yüzeye temas ettiği andaki kuvvet ölçülür. Sıvı yükselerek katıya temas eder ve terazi üzerinde bir kuvvet meydana gelir. Bu yöntemde sıvı içine batırılan katının ilerleme ve gerileme temas açıları ve buna bağlı olarak da temas açısı karmaşası ölçülebilir. Şekil 2.15.'de tensiyometre cihazı gösterilmektedir (Alghunaim ve diğerleri, 2016).



Şekil 2. 15. Tensiyometre cihazı

2.2.5.6. Gonyometre ile Durağan Damla Ölçümü (Sessile Drop)

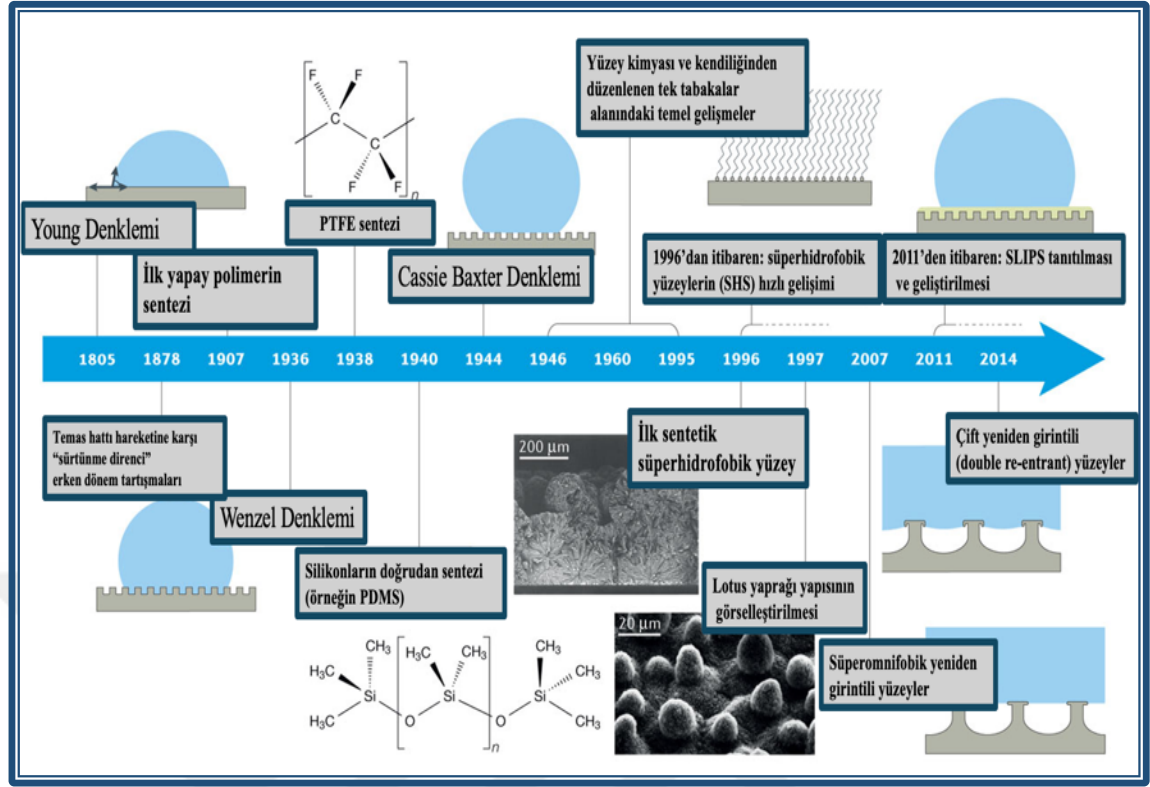
Yöntem, sıvı damlanın düz bir yüzey üzerinde ve dengedeysen temas açısının ölçümüne dayanmaktadır. Temas açısı ölçümünde kullanılmak üzere ilk basit gonyometre 1946 yılında tasarlanmış, 1960 yılında Zisman tarafından geliştirilerek ticari olarak üretilmeye başlanmıştır (Düzyol, 2016). Şekil 2.16.'da gösterilen ve günümüzde en sık kullanılan yöntem olan durağan damla ölçüm yönteminden bu çalışmada da yararlanılmıştır.



Şekil 2. 16. Gonyometre cihazı

2.3. Süperhidrofobik Yüzey Teorileri

Katı sıvı etkileşimlerinin temelini oluşturan ıslanma olgusu, Young'ın ideal bir yüzey üzerindeki damla dengesini tanımladığı çalışmasıyla sistematik biçimde ele alınmıştır. Daha sonra temas açısındaki sapmalar temas açısı histerezisi kavramı altında incelenmiş olup, bu olgunun termodinamik kökenleri Gibbs'in çalışmalarına dayanmaktadır. İdeal olmayan yüzeylerin davranışı, Wenzel ve Cassie–Baxter modelleri ile açıklanmış; bu teoriler süperhidrofobik yüzeylerin tasarımında yol gösterici olmuştur. Malzeme bilimi alanındaki ilerlemelerle birlikte Polydimethylsiloxane (PDMS) ve Polytetrafluoroethylene (PTFE) gibi düşük yüzey enerjili polimerler geliştirilmiştir. Ayrıca, kendiliğinden düzenlenen moleküler tek tabakalar yüzey kimyasının hassas kontrolünü mümkün kılmıştır. 1990'lı yılların sonlarında görüntüleme tekniklerindeki ilerlemeler ile lotus yaprağı görüntülenmiş ve yapısı derinlemesine inceleme imkânı elde edilmiştir. Mikro ve nano ölçekli üretim tekniklerinin geliştirilmesiyle süperhidrofobik yüzeyler elde edilmiştir. Bununla birlikte, dokulu yüzeylerin çevresel dayanımı sınırlı olabildiğinden, Sıvı emprenye edilmiş gözenekli yüzeyler (Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces, SLIPS) yaklaşımı geliştirilmiş ve omnifobik, düşük tutunmalı yüzeyler elde edilmiştir (Kreder, Alvarenga, Kim ve Aizenberg, 2016b). Şekil 2.17.'de süperhidrofobik yüzeylerde temel gelişmeler zaman çizelgesi şematik olarak gösterilmektedir.

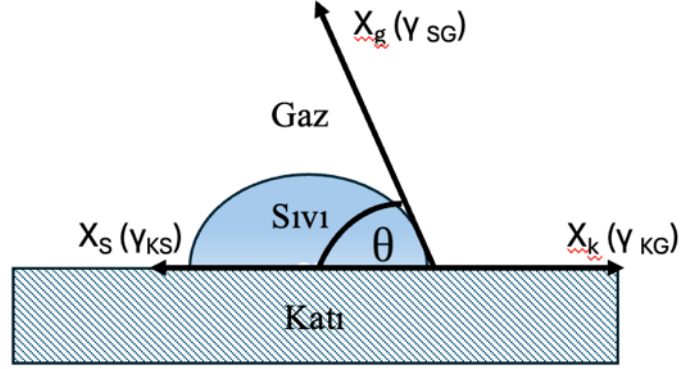


Şekil 2. 17. Süperhidrofobik yüzeylerde temel gelişmeler zaman çizelgesi (Kreder ve diğerleri, 2016b)

2.3.1. Young Teorisi

Kimyasal olarak homojen ve tamamen düz bir katı yüzey üzerinde temas açısı (θ), katı-sıvı arayüzey gerilimi (γ_{KS}), katı-gaz arayüzey gerilimi (γ_{KG}) ve sıvı-hava arayüzey gerilimi (γ_{SG}) arasındaki ilişki 2.9. numaralı Young denklemi ile ifade edilir. Şekil 2.18.'de katı ve düzgün yüzeylerde temas açısı verilmiştir (Young, 1805).

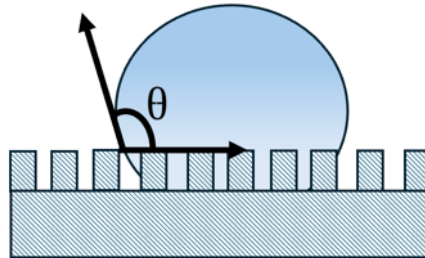
$$\gamma_{KG} = \gamma_{KS} + \gamma_{SG} \cos\theta \quad (2.9.)$$



Şekil 2. 18. Katı ve düzgün yüzeylerde temas açısı

2.3.2. Wenzel Teorisi

Statik temas açısı üzerinde yüzey pürüzlülüğünün etkileri ilk olarak 1936 yılında Wenzel tarafından incelenmiştir. Wenzel ıslanmayı termodinamik bir süreç olarak tanımlamış ve bu süreçte yer alan serbest enerji değişiminin büyüklüğünün, ıslanmanın kendiliğinden gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini belirlediğini ifade etmiştir. Wenzel, katı yüzeyin pürüzlü olması durumunda, düzgün bir yüzeye kıyasla daha büyük bir gerçek yüzey alanının sıvı tarafından ıslatıldığını öne sürmüştür. Buna bağlı olarak geometrik pürüzlülük faktörünü r_w olarak tanımlamıştır. Wenzel'in Young denklemini geliştirerek ortaya koyduğu pürüzlülük ve temas açısı arasındaki ilişki Wenzel denklemi ifade edilmektedir (Denklemler 2.10.). Bu teoriye göre pürüzlü katı yüzeylerdeki boşlukların sıvı damlacığı tarafından tamamen doldurulduğu kabul edilmektedir (Şekil 2.19) (Erbil, 2014; Kreder, Alvarenga, Kim ve Aizenberg, 2016b; Marmur, 2004; R. W. Wenzel, 1936).



Şekil 2. 19. Wenzel modeli

$$\cos \theta_w = r_w \cdot \cos \theta_Y \quad (2.10.)$$

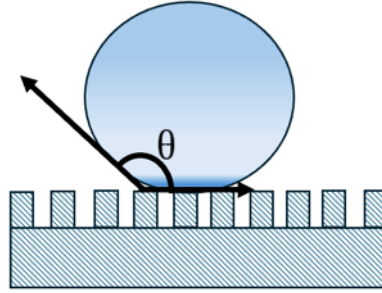
θ_w = Wenzel Temas Açısı

θ_Y = Young Temas Açısı

r_w = Pürüzlülük Faktörü

2.3.3. Cassie Baxter Teorisi

Cassie-Baxter Teorisi, 1944 yılında Cassie ve Baxter tarafından pürüzlü yüzeylerde Wenzel teorisinin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu teoride sıvının, pürüzlü yüzeydeki boşlukları doldurmadığı ve bir alan oluşturduğu, yüzey üzerindeki boşluklara dolan havanın da sıvıyı yukarıya doğru ittiği kabul edilmektedir (Şekil 2.20.) (Cassie ve Baxter, 1944a; Marmur, 2004).



Şekil 2. 20. Cassie- Baxter modeli

$$\cos \theta_{CB} = r_w \cdot f \cdot \cos \theta_Y + f - 1 \quad (2.11.)$$

$\cos \theta_{CB}$ = Cassie – Baxter Temas Açısı

$\cos \theta_Y$ = Young Temas Açısı

f = İzdüşüm Alanının Islanan Kısımının Oranı

r_f = Pürüzlülük Faktörü

2.3.4. Temas Açısı Karmaşası

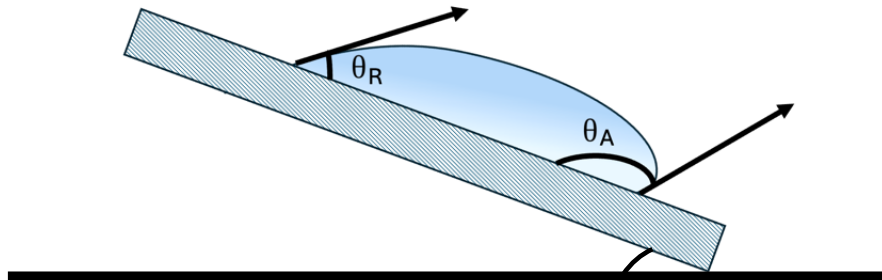
Young denkleminde göre yüzeyler kimyasal olarak homojen ve pürüzsüz, ideal yüzeyler olarak kabul edilir ve bu yüzeylerde tek bir temas ölçülür. Gerçekte yüzeyler heterojen ve pürüzlüdür, bu yüzeylerde damlanın temas ettiği noktalarda farklı temas açıları ölçülür ve Young teoremi ile tanımlanamaz. Şekil 2.21.'de verildiği gibi gerçek bir yüzeyde eğim oluşturulduğunda temas açısı ilerleyen damlanın uç kısmında en yüksek ve gerileyen damlanın uç kısmında en düşük değerine ulaşır. Bu değerler ilerleme temas açısı (θ_A) ve gerileme temas açısı (θ_R) olarak adlandırılır. İlerleme ve gerileme temas açıları arasındaki fark temas açısı karmaşası (hysteresis) olarak tanımlanmakta ve ideal durumdan sapmayı ifade etmektedir. Normal şartlarda ilerleyen temas açısı gerileyen temas açısından daha büyük değerlere sahiptir; denge temas açısı ise bu iki açı arasında yer alan bir değeri temsil eder. Yüzeyin temizliği ve ideal yüzey koşullarına yakınlığı arttıkça, ilerleyen ve gerileyen temas açıları arasındaki fark azalma eğilimi göstermektedir. Temas açısı yüksek olan süperhidrofobik yüzeylerde temas açısı karmaşası düşüktür. Bununla birlikte gerçek yüzeylerde temas açısı karmaşasının ortadan kaldırılması mümkün değildir (Dettre ve Johnson JR, 1964; Erbil, 2014; Marmur, 2004; Sakai ve diğerleri, 2006).

$$\theta_{His} = \theta_A - \theta_R \quad (2.12)$$

θ_{His} = Histeresis Temas Açısı (CAH, Contact Angle Hysteresis)

θ_A = İlerleme Temas Açısı (Advancing Contact Angle)

θ_R = Gerileme Temas Açısı (Receding Contact Angle)



Şekil 2. 21. Temas açısı karmaşası

2.4. Fonksiyonel Yüzeyler

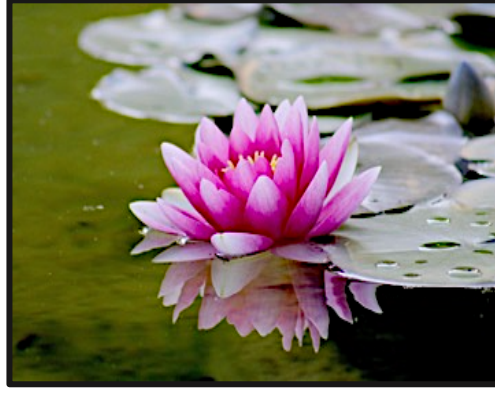
Yüzey mühendisliği, malzemelerin dayanıklılık, korozyon direnci, aşınma direnci, görünüm gibi yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalardan oluşan bir disiplindir. Yüzey işlemlerini yüzey modifikasyonu ve yüzey kaplamaları olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Malzeme yüzeylerine uygulanan ince filmler, yüzey kaplamaları, malzemelerin yüzeyinde kimyasal veya fiziksel özellikleri değiştirmek için yapılan işlemler ise yüzey modifikasyonlarıdır (Kumruoğlu ve Erdoğan, 2021).

2.4.1. Biyomimikri ve Doğal Süperhidrofobik Yüzeyler

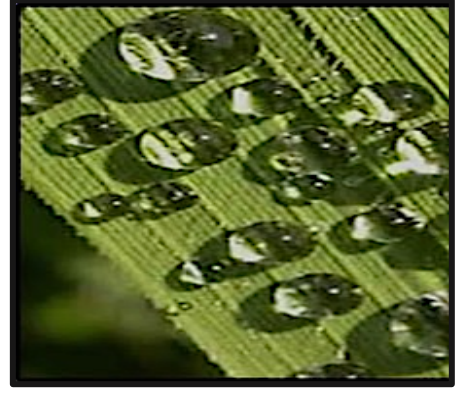
Doğadan öğrenmek insanın var oluşundan beri sürdürdüğü bir gelenektir. Doğadan etkileşimli tasarımların temel özelliği sert ve değişken koşullar karşısında sürdürülebilir çözümler oluşturabilmektir. İnsanlar daha iyi çözümler yaratabilmek için her olasılığı kullanarak doğayı taklit etmiştir (Ginsberg, Schiano, Kramer ve Alleyne, 2013). Bulunduğumuz yüzyılda hızla artan tüketim ve buna bağlı üretim bilim insanlarını yeni ihtiyaçlar için doğru ve sürdürülebilir yeni çözümler aramaya yöneltmiştir. Doğanın, ihtiyaçlar karşısında ürettiği yaratıcı çözümlerin birçok soruna yanıt olabileceği fikrine dayanan mimarlık ve mühendislik alanındaki yeni bilim dalı Biyomimikri, ilk olarak 1997 yılında Janine Benyus tarafından tanımlanmıştır. Biyo (doğa) ve mimikri (taklit) kelimelerinden oluşan biyomimikri doğadan ilham alan yenilik olarak ifade edilmektedir (Benyus, 1997).

Biyomimetik, biyolojik yapıların ve işlevlerin anlaşılacak mühendislik ve malzeme bilimi alanlarında faydalı ürün ve işlevlere dönüştürülmesini amaçlamaktadır (Bhushan ve Jung, 2011b). Fonksiyonel malzemeler de bu yapıların anlaşılmasıyla ortaya çıkmıştır. Milyonlarca yıllık evrimden sonra, organik ve inorganik canlıların özellikleri taklit edilerek, problemlere uzun ömürlü çözümler üretilmek amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. (Baumeister, Tocke, Dwyer, Ritter ve Benyus, 2012). Lotus yaprağı gibi bazı bitkilerde gözlenen hiyerarşik yüzey pürüzlülüğü ve hidrofobik balmumu tabakası sayesinde yüzeyler, süperhidrofobiklik ve kendi kendini temizleme özellikleri sergiler, pond skater böceklerinin bacaklarındaki özel yapı, köpekbalığı derisi, kuş tüyleri, örümcek ağları gibi doğadaki diğer örnekler de düşük sürtünme, su iticilik ve yapışma

gibi işlevsel yüzey özelliklerine örnektir. Şekil 2.22.'de doğal süperhidrofobik yüzeylere örnekler verilmiştir. (Bhushan ve Jung, 2011a).



(a)



(b)



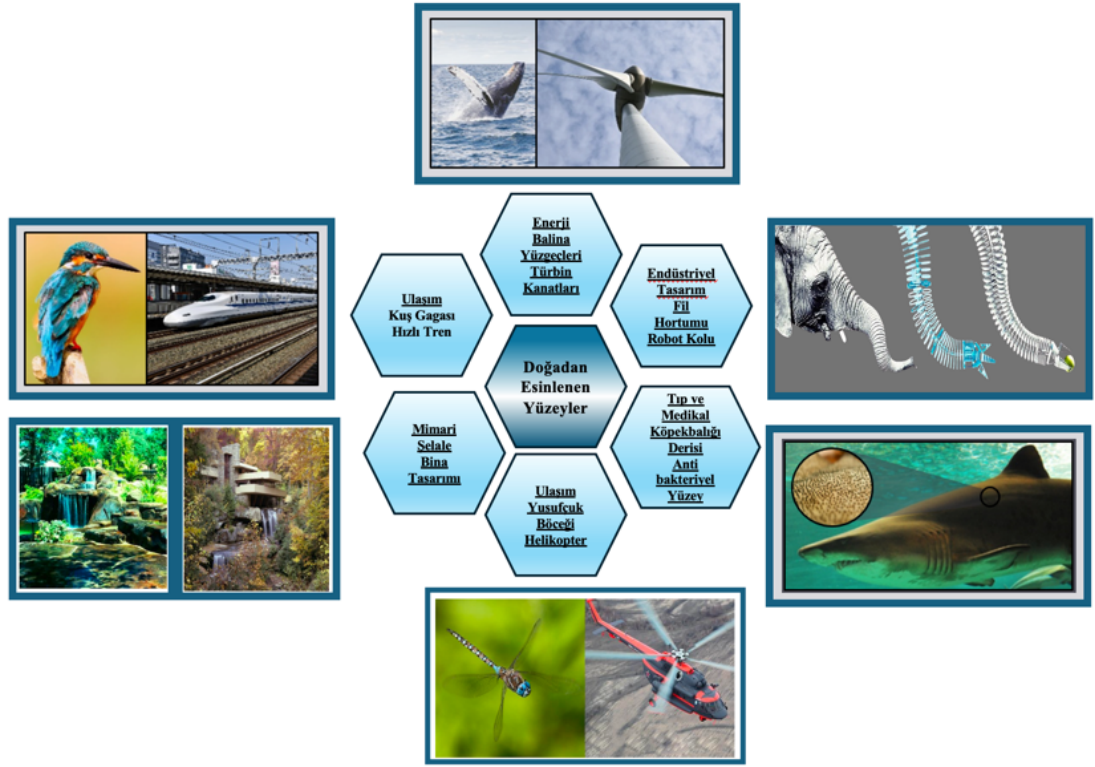
(c)



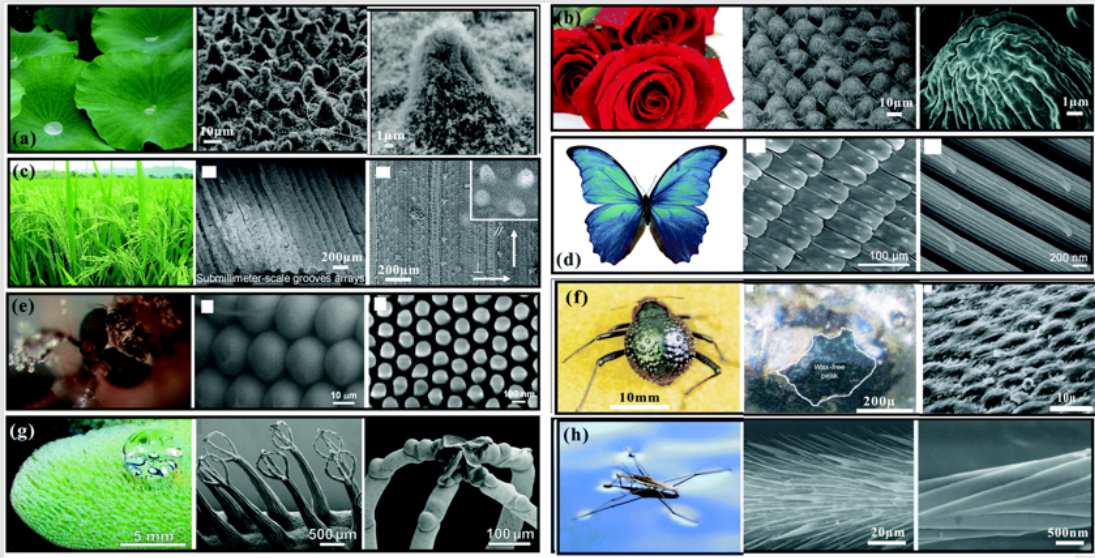
(d)

Şekil 2. 22. Doğal süperhidrofobik yüzeyler (a) Lotus çiçeği (b) Pirinç Yapağı (c) Balina (d) Kelebek (Özgür ve diğerleri, 2007)

Şekil 2.23.'de doğadan esinlenerek yapılan tasarımlara örnekler görülmektedir. Süperhidrofobik yapı gösteren çeşitli doğal hayvan ve bitkilerin fotoğrafları ve yüzey mikro yapıları (a) lotus yapağı (b) kırmızı gül yapağı (c) pirinç yapağı (d) kelebek kanadı (e) sivrisinek gözü (f) çöl böceği (g) salvinia bitkisi (h) su örümceği Şekil 2.24.'de görülmektedir.



Şekil 2. 23. Doğadan esinlenen tasarımlar



Şekil 2. 24. Süperhidrofobik yapı gösteren çeşitli doğal hayvan ve bitkilerin fotoğrafları ve yüzey mikro yapıları (F. Chen, Yang, Yong, Huo ve Hou, 2017).

2.4.2. Yapay Süperhidrofobik Yüzeyler

Nilüfer yaprağının yüzeyinde suyun yanı sıra organik ve inorganik kirleticilerin de tutunamaması, bu yüzeyin belirgin bir kendini temizleme özelliğine sahip olmasını

sağlamaktadır. Literatürde lotus etkisi olarak tanımlanan bu durum, süperhidrofobik yüzeylerin yapay olarak üretilmesine yönelik çalışmaların temelini oluşturmuştur (Ensikat, Ditsche-Kuru, Neinhuis ve Barthlott, 2011). Bu doğal mekanizmanın anlaşılması, özellikle 1990'lı yılların sonlarından itibaren süperhidrofobik yüzeylerin sentezi ve karakterizasyonu üzerine yoğunlaşan çok sayıda araştırmanın yapılmasına öncülük etmiştir.

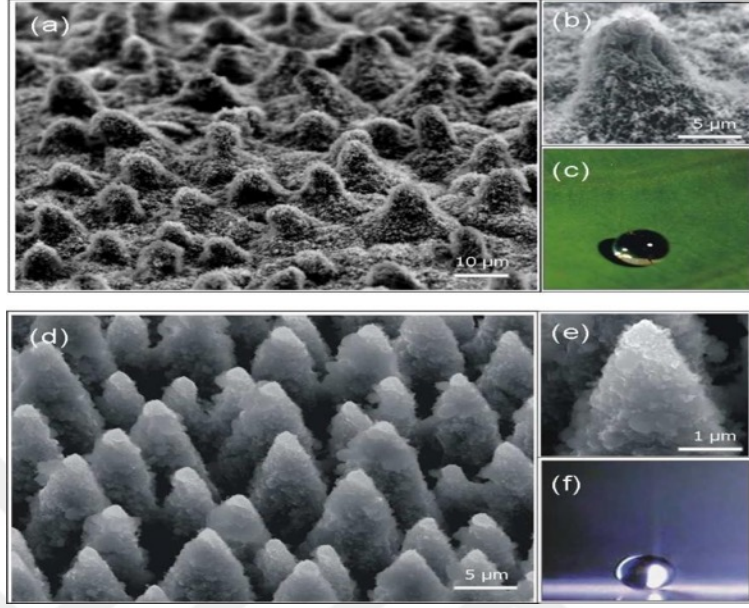
Süperhidrofobik yüzeylerin elde edilmesine yönelik geliştirilen yöntemlerin büyük bir bölümü, yüzeyin mikro ve nano ölçekte pürüzlülüğünün değiştirilmesine dayanmaktadır. Mekanik ve kimyasal aşındırma yöntemleri ile yüzey morfolojisi kontrol edilmekte, bu pürüzlü yapı düşük yüzey enerjili kimyasal bileşimlerle birleştirilerek süperhidrofobik davranış elde edilmektedir. Bu doğrultuda hem organik hem de inorganik birçok malzeme kullanılarak süperhidrofobik yüzeylerin üretimi ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır (H. Y. Erbil, Demirel, Avcı ve Mert, 2003; Taskin ve Ordu, 2021).

Yapay süperhidrofobik yüzeylerin tasarımında, doğal süperhidrofobik yüzeylerin morfolojik ve kimyasal özelliklerinin örnek alınması temel bir yaklaşım olarak benimsenmiştir. Yüksek temas açısına sahip yüzeylere bırakılan su damlalarının, yuvarlanma sırasında yüzeydeki kirleticileri de beraberinde uzaklaştırdığı; buna karşılık düşük temas açısına sahip yüzeylerde damlaların yüzeyi temizlemeden ayrıldığı deneysel olarak ortaya konmuştur. Bu durum, süperhidrofobik yüzeylerin yalnızca su itici değil, aynı zamanda kendini temizleme özelliğine de sahip olduğunu göstermektedir (Zhaozhu Zhang, Ge, Men ve Li, 2016).

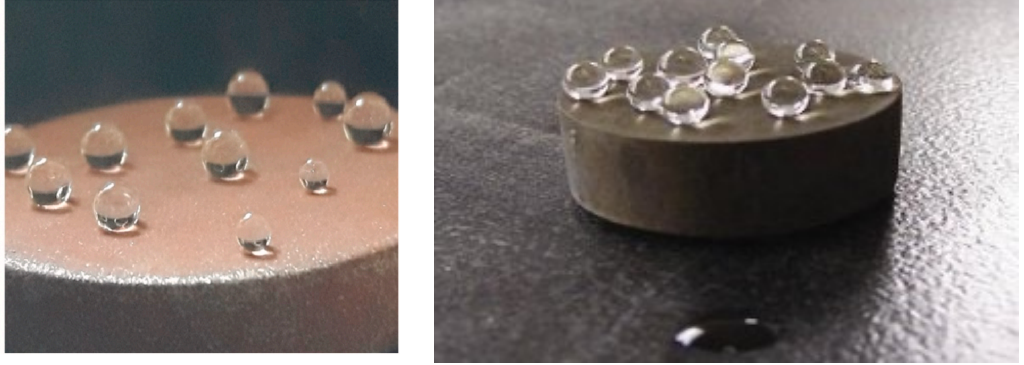
Literatürde, süperhidrofobik bir yüzey elde edebilmek için anodik oksidasyon, elektrospinning, elektrokimyasal yöntemler, çöktürme ve kimyasal aşındırma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ayrıca metal esaslı süperhidrofobik yüzey çalışmalarında alüminyum, bakır, magnezyum ve çelik gibi metaller kullanılmakta bu metaller uygun yüzey modifikasyonlarıyla kararlı süperhidrofobik özellikler göstermektedir (Taskin, v.d, 2023; Taskin ve Ordu, 2021; Vazirinasab, Jafari ve Momen, 2018).

Şekil 2.25'te doğal ve yapay süperhidrofobik yüzeylerin (a) lotus yaprağının yüzeyi (b) lotus yaprağında doğal tümsek (c) lotus yaprağı üzerine damlatılmış su (d) yapay süperhidrofobik yüzey (e) yapay süperhidrofobik yüzeydeki tümsek (f) su

damlatılmış süperhidrofobik yüzey SEM görüntüleri, Şekil 2.26'da yapay süperhidrofobik metal yüzeylere ilişkin görüntüler yer almaktadır.



Şekil 2. 25. Doğal ve yapay süperhidrofobik yüzeylerin SEM görüntüleri (Stratakis ve diğerleri, 2009)



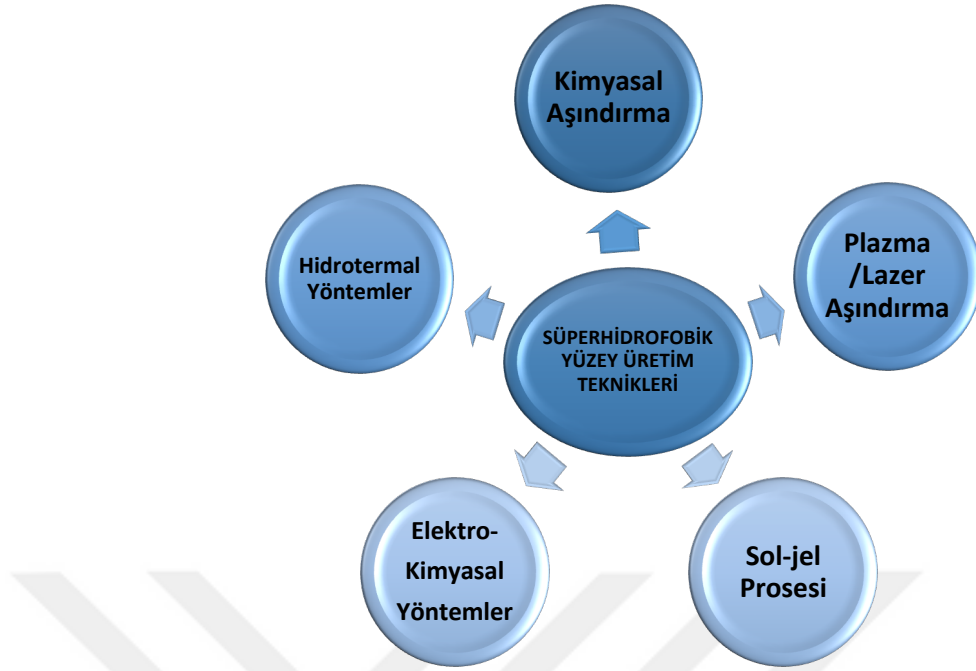
Şekil 2. 26. Yapay süperhidrofobik metal yüzeyler (Qu ve diğerleri, 2010; Taskin ve Ordu, 2021)

2.5. Süperhidrofobik Yüzey Üretim Teknikleri

Literatürde süperhidrofobik yüzeylerin üretimine yönelik, farklı ölçeklerde ve farklı üretim yöntemlerine dayanan çok sayıda yöntem ile yapılan çalışma bulunmaktadır.

Bu üretim yöntemleri genel olarak aşağıdan-yukarıya (bottom-up), yukarıdan-aşağıya (top-down) ve bu iki yaklaşımın birlikte uygulandığı hibrit yöntemler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bununla birlikte, literatürde bazı çalışmalarda bu yöntemlerin eş zamanlı veya ardışık olarak kullanılabildiği ve bu nedenle yöntemler arasında kesin bir sınıflandırma yapılmasının her zaman mümkün olmadığı belirtilmektedir (Değer ve Başak, 2023). Bu yöntemler arasında litografi tabanlı mikro/nano fabrikasyon teknikleri (optik, elektron ışınlı ve X-ışını litografisi), lazer tabanlı yaklaşımlar, kimyasal ve fiziksel aşındırma yöntemleri, sol-jel ve nanopartikül kaplama süreçleri, elektrokimyasal yöntemler (anodizasyon ve elektrodpozisyon), hidrotermal teknikler, kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve son yıllarda gelişen üç boyutlu baskı tabanlı yaklaşımlar yer almaktadır. Ancak bu yöntemlerin birçoğunda kontrollü yüzey morfolojisi elde edilememesi, işlem karmaşıklığı, ölçeklenebilirlik, maliyet ve endüstriyel uygulanabilirlik açısından birbirlerinden önemli ölçüde ayrılmaktadır.

Bu çalışmada, süperhidrofobik davranışın temelini oluşturan mikro ve nano ölçekte yüzey pürüzlülüğünü doğrudan oluşturabilen, geniş yüzeylere uygulanabilir, kontrol edilebilir mühendislik uygulamalarına uyumlu ve düşük maliyetli üretim tekniklerine odaklanılmıştır. Bu kapsamda; kimyasal aşındırma, plazma/lazer aşındırma, sol-jel, elektrokimyasal yöntemler (anodizasyon ve elektrodpozisyon) ve hidrotermal işlemler ele alınmıştır. Bu yöntemler, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey enerjisinin bağımsız veya birlikte kontrol edilebilmesine olanak tanımları, literatürde yaygın biçimde kullanılmış olmaları ve süperhidrofobik yüzeylerin tribolojik ve biyomimetik uygulamalardaki performanslarını doğrudan etkileyen mikro/nano yapıların oluşumunu sağlamaları nedeniyle tercih edilmiştir. Litografi tabanlı üretim yöntemleri ve üç boyutlu baskı yaklaşımları ise, yüksek hassasiyetlerine rağmen ölçeklenebilirlik ve uygulama odaklı süperhidrofobik yüzey üretimi açısından bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.



Şekil 2. 27. Sık kullanılan süperhidrofobik yüzey üretim yöntemleri

2.5.1. Kimyasal Aşındırma

Kimyasal aşındırma, malzeme kaldırma işleminin aşındırıcı olarak adlandırılan güçlü kimyasal çözeltiler kullanılarak gerçekleştirildiği, geleneksel olmayan bir işleme yöntemidir ve hızlandırılmış ve kontrollü bir korozyon süreci olarak tanımlanabilir. Korozyon ortamı işlenecek malzemeye uygun olarak seçilir ve bu amaçla kimyasal aşındırıcı olarak tanımlanan bir çözelti hazırlanır. Kimyasal çözelti asidik veya bazik olabilir. Günümüzde üretimde mikro işleme tekniği olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Kimyasal aşındırmanın geçmişi MÖ 2500’lü yıllara kadar uzanmakta olup, Antik Mısır’da bakırdan mücevher üretiminde sitrik asit kullanımı bu yöntemin erken örneklerinden biri olarak bilinmektedir (Harris, 1976). 1950’li yıllardan itibaren ise kimyasal aşındırma, önemli bir geleneksel olmayan talaşlı imalat yöntemi olarak kabul görmüştür. Bu işleme tekniği, özellikle ince ve düz malzemelerin işlenmesinde, geometrik olarak karmaşık ve boyutsal olarak hassas bileşenlerin üretilmesinde yaygın şekilde kullanılmaktadır (O. Çakır, 2008b; Orhan Çakır, 2011; Orhan Çakır, Aydoğan ve Özateş, 2011; Harris, 1976; Shirtcliffe, McHale, Atherton ve Newton, 2010).

Bir malzemenin kimyasal olarak işlenmesinde en kritik aşama, işlenecek malzemeye uygun kimyasal aşındırıcının doğru şekilde seçilmesidir. Kullanılan kimyasal aşındırıcı, malzemenin kimyasal bileşimine ve yüzey özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kimyasal aşındırıcı ile malzeme yüzeyinin teması genellikle daldırma veya püskürtme yöntemleriyle sağlanmakta olup, malzeme kaldırma işlemi tamamen kimyasal reaksiyonlar sonucunda gerçekleşmektedir (Walker ve Tarn, 1991).

Kimyasal aşındırma sürecinde malzeme kaldırma, izotropik karakterdedir; yani aşınma tüm yönlerde benzer hızlarda meydana gelir. Reaksiyon sırasında, aşındırıcı kimyasal içerisinde çözünme gerçekleşir ve malzeme yüzeyinden kopan atomlar çözeltiliye geçer. İşleme derinliğinin zamanla doğru orantılı olması, kimyasal aşındırmanın kontrol edilebilirliğini sağlayan önemli bir avantajdır. Aşındırıcı çözeltilide bulunan asidik bileşenlerin bir kısmı malzeme yüzeyindeki kopuk bağları oksitleyerek reaksiyonu başlatırken, diğer kısmı yüzeyde oluşmuş oksit tabakasını uzaklaştırır. Bu iki eş zamanlı mekanizma, kimyasal aşındırma sürecinin temelini oluşturmaktadır. Kimyasal işleme yöntemi proseslerde genelde beş aşamalı bir şekilde uygulanır.

1. Numune hazırlama
2. Maskeleme
3. Şekillendirme
4. Kimyasal Aşındırma
5. Temizleme

Kimyasal aşındırma işlemi tamamlandıktan sonra, yüzey üzerinde kalan aşındırıcı kalıntıların giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, aşındırıcıyı nötralize eden uygun çözeltiler kullanılarak kimyasal, yüksek frekanslı ses dalgalarının sıvı dolu bir tankın içerisine uygulanması ile ultrasonik ya da mekanik temizleme işlemlerinden uygun olan işlem uygulanır (Cerit, 1996). Sürecin başarısını belirleyen diğer bir önemli parametre ise istenilen yüzey pürüzlülüğünün kontrollü bir şekilde oluşturulurken malzeme kaldırma hızının (Material Removal Rate, MRR) hassas biçimde ayarlanmasıdır.

MRR kimyasal aşındırma sürecinde birim zamanda yüzeyden uzaklaştırılan malzeme miktarını ifade eden temel bir proses parametresidir. MRR, aşındırma sürecinin kinetiğini tanımlamakla birlikte, oluşan yüzey pürüzlülüğünün ve işleme derinliğinin

kontrolünde doğrudan rol oynamaktadır. Kimyasal aşındırmada MRR; kullanılan aşındırıcının türü ve konsantrasyonu, işlem sıcaklığı, süre ve malzemenin kimyasal yapısı gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Kimyasal aşındırma için malzeme kaldırma hızı Denklem 2.13. ile tanımlanır.

$$MRR = \frac{\Delta m}{t} \quad (2.13)$$

Δm = İşlem Sırasında Uzaklaştırılan Kütle (g)

t = Aşındırma Süresi (s)

Bu ifade, kimyasal aşındırma sürecinde kaldırılan malzeme miktarının nicel olarak belirlenmesine olanak sağlayarak, işleme derinliği ve yüzey pürüzlülüğünün kontrollü şekilde ayarlanması için temel bir ölçüt sunmaktadır.

2.5.2. Plazma/Lazer Aşındırma

Yöntem cam, seramik, titanyum ve geleneksel işleme teknikleri ile işlenmesi zor olan diğer malzemelere uygulanabilen, lazer teknolojisi, bilgisayar destekli tasarım, sensörler ve toz metalurjisi gibi birçok konuyu bir araya getiren güçlü bir yüzey işleme tekniğidir. Proseste ısı kaynağı olarak lazer kullanılmaktadır. Hareketli bir tabaka üzerine ince bir tabaka halinde metal yüzeye uyarlanır. Yüzeye geçecek metal toz püskürtülmesi ya da tel besleme yolu ile kaplanacak malzeme yüzeyine aktarılır. Lazer ışını ile malzeme arasındaki etkileşim oldukça karmaşık olmakla birlikte, burada yalnızca termal etkiler dikkate alınmaktadır. Lazer enerjisinin soğurulmasıyla, odak noktası çevresindeki malzeme ısınır ve buharlaşır. Termal şok ve diğer termal etkiler de yüzey morfolojisinde değişimlere neden olabilmektedir. Bu şekilde oluşan yüzey pürüzlülüğü hem malzeme özelliklerine hem de lazer parametrelerine bağlı olup, kontrol edilmesi zordur. Ayrıca plazma/lazer aşındırma yöntemi ardışık bir işlemlere bağlı olduğundan, geniş yüzeylerin işlenmesi için uygun değildir (Adamson Arthur W. ve . Gast Alice P., 1967; Toyserkani, Khajepour ve Corbin, 2005; Yilei Zhang, 2007).

2.5.3. Sol-jel Yöntemi

Sol-jel teknolojisi, cam ve seramik esaslı malzemelerin üretimi ve kaplanmasında yaygın olarak kullanılan, düşük işlem maliyeti ve düşük çalışma sıcaklığı gibi avantajlara sahip bir yöntemdir. Yöntem karmaşık geometrilere sahip alt tabaka yüzeylerine homojen kaplama uygulamaları için avantajlı olup, proses hidroliz ve yoğunlaşma olmak üzere iki temel kimyasal reaksiyona dayanmaktadır. Jel oluşumunun ardından uygulanan kurutma ve ısıtma işlem adımları ile nihai kaplama yapısı elde edilmektedir. Ancak klasik sol-jel kaplama yöntemlerinde ön çözelti yüzeye ince bir tabaka hâlinde yayılmakta ve tek uygulamada elde edilebilen kaplama kalınlıkları genellikle 100–200 nm aralığında olmaktadır, bu durum karmaşık metal yüzeylerin kaplanmasında dezavantaj yaratmaktadır (Ezz, Crouse, Li ve Liu, 2006). Sol-jel kaplamalar daldırma ve püskürtme yöntemleri ile uygulanmaktadır. Sol-jel yönteminde proses parametreleri ve reaksiyon bileşimi değiştirilerek yüzey pürüzlülüğü kontrollü olarak ayarlanabilmekte, elde edilen sol-jel kaplamalar genellikle yüksek sıcaklıklara karşı iyi bir termal dayanım göstermektedir (D. M. Liu ve diğerleri, 2002).

Literatürde, tek adımlı sol-jel yaklaşımları kullanılarak flor içermeyen, yüksek temas açısına ve düşük kayma açısına sahip süperhidrofobik ve şeffaf silika esaslı yüzeylerin üretilbildiği rapor edilmektedir. Bu tür kompozit kaplamalarda, proses parametrelerinin uygun şekilde ayarlanmasıyla yüzey pürüzlülüğünün kontrol edilebildiği; artan silika içeriğine rağmen yüzey şeffaflığının büyük ölçüde korunduğu ve nemli çevre koşullarında uzun süreli dayanım sağlandığı belirtilmektedir (Değer ve Başak, 2023; Okay, 2022). Benzer şekilde, sol-jel matrisler içerisinde hidrofobik olarak modifiye edilmiş silika nanopartiküllerinin kullanıldığı nanokompozit kaplamalarda, partikül konsantrasyonu ve uygulama koşullarına bağlı olarak hidrofobikliğin belirgin biçimde artırılabilirdiği ve mikro–nano ölçekli hiyerarşik yüzey yapılarının oluşturulabilirdiği gösterilmiştir. Ayrıca kaplama yönteminin, elde edilen yüzey mikroyapısı ve ıslanabilirlik özellikleri üzerinde etkili olduğu vurgulanmaktadır (Basu ve diğerleri, 2010). Bu sonuçlar, sol-jel yönteminin yalnızca geleneksel koruyucu kaplamalarla sınırlı kalmayıp; çevre dostu, şeffaf ve yüksek performanslı süperhidrofobik yüzeylerin geliştirilmesinde etkili, esnek ve ölçeklenebilir bir üretim tekniği olduğunu ortaya koymaktadır.

2.5.4. Elektrokimyasal Yöntemler (Anodizasyon / Elektrodepozisyon)

Elektrokimyasal yöntemler, yüzey özelliklerinin kontrollü biçimde değiştirilmesi amacıyla elektriksel potansiyel ve elektrolit ortamının birlikte kullanıldığı tekniklerdir. Bu yöntemler arasında elektrodepozisyon ve anodizasyon en yaygın kullanılan yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır. Elektro kaplamaya benzer şekilde, elektrostatik biriktirme yöntemi, moleküllerin (parçacıkların) zıt yüklü alt tabaka üzerinde elektrostatik kuvvetler aracılığıyla tutulmasına dayanır. Negatif yüklü ve pozitif yüklü katmanların ardışık olarak eklenebilmesi koşuluyla bu adım tekrarlanarak çok katmanlı kaplamalar oluşturulabilir. Genel olarak bu çok katmanlı kaplama süreci, katmanlı biriktirme olarak adlandırılır ve bu yöntemde hidrojen bağlanması gibi başka tutunma kuvvetleri de kullanılabilir. Kaplanmış yüzeylerin morfolojisi molekül şekline, biriktirme sırasında oluşan kusurlara ve moleküller arasındaki etkileşimlere bağlıdır. Ancak elektrostatik kuvvetler büyük parçacıkları tutmak için yeterince güçlü olmadığından, yüzey morfolojisinin bu yöntemle değiştirilmesi pratik uygulamalarda genellikle sınırlı kalmaktadır (Tam, Palumbo ve Erb, 2016; Yilei Zhang, 2007).

Anodizasyon yönteminde ise, metal bir alt tabaka elektrokimyasal bir hücrede anot olarak kullanılarak metal yüzeyinde kontrollü bir oksit tabakası oluşturulur. Bu teknik özellikle alüminyum, titanyum ve bunların alaşımlarında yaygın olarak uygulanmakta olup, düzenli gözenekli veya nanotüp yapılarının elde edilmesine olanak tanımaktadır. Anodizasyon sırasında uygulanan gerilim, elektrolit türü, sıcaklık ve işlem süresi gibi parametreler; oksit tabakasının kalınlığını, gözenek boyutunu ve yüzey morfolojisini doğrudan etkilemektedir, işlem sırasında metal yüzeyinde meydana getirilen oksit tabakasının kalınlığı ve yoğunluğu artar. Bu nedenle anodizasyon, yüzey pürüzlülüğünün kontrollü şekilde artırılması ve sonrasında yapılacak hidrofobik modifikasyonlar için uygun bir altyapı oluşturması açısından süperhidrofobik yüzeylerin hazırlanmasında sıklıkla tercih edilen basit ve ekonomik bir yöntemdir (Bozkurt Çırak ve Kavaklı, 2019).

2.5.5. Hidrotermal Yöntemler

Hidrotermal yöntem kullanılarak nanomalzemelerin sentezi, ortam sıcaklığından çok yüksek sıcaklıklara kadar geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleştirilebilmektedir.

Hidrotermal teknik, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında çeşitli avantajlar sunmaktadır. Örneğin, reaksiyonda yer alan ana bileşenin buhar basıncına bağlı olarak düşük veya yüksek basınç koşulları kullanılarak malzemelerin boyut ve şekil gelişimi kontrol edilebilmektedir. Bu özellik, süperhidrofobik yüzeylerin oluşumunda kritik öneme sahip olan mikro ve nano ölçekli yüzey pürüzlülüğünün tasarlanmasına olanak sağlamaktadır. Hidrotermal sentez, sıvı faz veya çok kademeli kimyasal süreçler sayesinde nanomalzemelerin bileşiminin hassas bir şekilde kontrol edilmesine olanak tanımakta ve yüksek sıcaklıklarda kararsız olan nanomalzemeler bu yöntemle üretilebilmektedir. Son yıllarda, nano kristallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin boyut, şekil, bileşim ve yapı gibi faktörlerden büyük ölçüde etkilenmesi nedeniyle, çeşitli nanoyapıların kontrollü biçimde şekillendirilmesine yönelik çalışmalar yoğunluk kazanmıştır (Akarken, Cengiz ve Bektaş, 2024; Ayeleru, Sadare, Idris, Pandey ve Olubambi, 2024).

2.6. Çelik Yüzeylerde Süperhidrofobik Yapı Geliştirilmesi

Çelik yüzeylerde süperhidrofobik yapıların geliştirilmesi, korozyon direncinin artırılması ve fonksiyonel performansın iyileştirilmesi açısından son yıllarda önemli bir araştırma konusu hâline gelmiştir. Süperhidrofobik yüzeyler, mikro- ve nano-ölçekli yüzey pürüzlülüğü ile düşük yüzey enerjili kimyasal modifikasyonun birlikte uygulanması sonucu elde edilmekte ve yüksek temas açısı ile düşük kayma açısı gibi karakteristik özellikler göstermektedir. Bu tür yüzeylerin çelik esaslı malzemelere uygulanması, özellikle endüstriyel ortamlarda uzun süreli dayanım açısından stratejik öneme sahiptir.

2.6.1. Çeliklerin Sınıflandırılması

İmalat endüstrisinde en çok kullanılan malzeme demir ve çeliktir. Dünyada en çok kullanılan metal demir olup, üretilen metallerin %95'ini oluşturur (Babalık ve Çavdar, 2012). Çelik, temel alaşım bileşenleri demir ve karbon olan bir metal alaşımdır ve yapısında yaklaşık %1,5 oranına kadar karbon içerir. Karbon çeliklerinin sınıflandırılması karbon miktarına göre yapılırken, alaşımlı çeliklerde sınıflandırma başlıca alaşım elementlerinin oranları esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Çok sayıda çelik türü mevcuttur ve yeni kullanım alanlarına bağlı olarak bu türlere sürekli olarak yenileri

eklenmektedir (Akdağ, 1992). Malzeme seçiminde işlem türüne ve ürüne bağlı olarak sıklıkla ele alınan kriterler Şekil 2.28.'de verilmektedir.



Şekil 2. 28. Malzeme seçim kriterleri (Babalık ve Çavdar, 2012)

Çeliklerin sınıflandırılması amacıyla DIN, SAE, AISI gibi çeşitli normlar geliştirilmiştir. Her normda özel semboller kullanılarak çeliğin özellikleri belirtilmektedir. Literatürde alaşım seviyesine göre, ısıtılma işlem türüne göre çeşitli sınıflandırmalar yapılmaktadır. Genel bir sınıflandırma ile çelikleri yedi grupta incelemek mümkündür (Akdağ, 1992);

1. Alaşımsız çelikler
2. Düşük alaşımlı- yüksek mukavemetli çelikler
3. Düşük alaşımlı yapı çelikleri
4. Dökme çelikler

5. Paslanmaz çelikler
6. Takım çelikleri
7. Özel maksatlı çelikler

Bu çalışmada C1040, St 37, AISI 304 ve AISI 316 çelikler kullanılmıştır. Çizelge 2. 2’de çeşitli özelliklerine göre bir karşılaştırma tablosu verilmektedir.

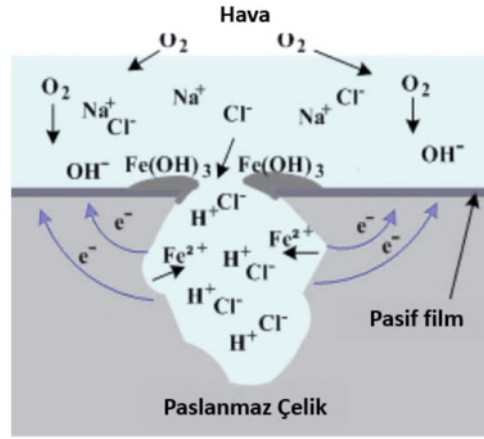
Çizelge 2. 2. C1040, St 37, AISI 304 ve AISI 316 karşılaştırma tablosu

Özellik	St 37 (S235JR)	C1040	AISI 304	AISI 316
Standart	DIN 17100 / EN 10025	AISI / SAE	AISI	AISI
Çelik türü	Düşük karbonlu yapı çeliği	Orta karbonlu çelik	Östenitik paslanmaz çelik	Östenitik paslanmaz çelik
Karbon oranı (%)	≈ 0,17–0,20	≈ 0,40	≤ 0,08	≤ 0,08
Alaşım elementi	Alaşımsız	Alaşımsız	~%18 Cr, ~%8 Ni	~%16–18 Cr, ~%10–14 Ni, ~%2–3 Mo
Çekme dayanımı	Orta	Yüksek	Orta	Orta
Korozyon direnci	Düşük	Düşük	Yüksek	Çok yüksek
Isıl işlem	Uygun değil	Uygun	Uygun değil	Uygun değil
Kaynak kabiliyeti	Çok iyi	Orta–zayıf	Çok iyi	Çok iyi
Tipik kullanım	Konstrüksiyon, profil	Mil, dişli, makine parçası	Gıda, mutfak, kimya	Denizcilik, medikal, kimya

2.6.2. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler ince bir yüzey oksit katmanı tarafından çevre etkilerinden korunurlar ancak lokal korozyon hasarının oluşması yine de bazı durumlarda önlenemez ve korozyona uğrarlar. Metalürjist Harry Brearly 1913 yılında, tüfek namlusu geliştirdiği bir proje çalışmasında düşük karbon çeliğine krom ilavesinin lekelenme dayanımını arttırdığını keşfetmiştir. Bu buluş, paslanmaz çeliğin geliştirilmesinde temel bir dönüm noktası olmuş ve Brearly’nin bu malzemenin öncüsü olarak anılmasına yol açmıştır.

Paslanmaz çelikler ağırlıkça %10,5’ten fazla krom ve en çok %1,2 oranında karbon (C) içeren demir esaslı alaşımlardır. Alaşımlarda bulunan nikel, molibden, niobyum ve krom paslanmaz çeliğin korozyon dayanımını artırır ve bu malzemelerde ortamın temiz olması durumunda paslanma ve lekelenme meydana gelmez. Paslanmaz (Stainless) adı buradan ileri gelmektedir. Bunun sebebi yüzey üzerinde oluşan pasif film tabaka ya da pasivasyon tabakası olarak adlandırılan krom-oksit (Cr_2O_3) tabakasıdır (Lynch, 2011).

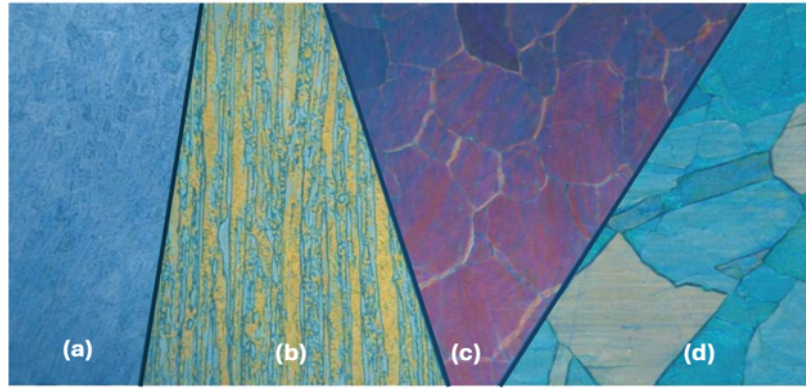


Şekil 2. 29. Paslanmaz çeliklerde pasivasyon tabakası (Nayır, 2017)

Paslanmaz çelikler sahip oldukları üstün mekanik özellikleri nedeniyle korozif ortamlarda kullanılan makine ve yapı elemanlarının en önemli malzemesidir. Bu malzemeler, havacılık, kimya, petro-kimya, gıda ambalajı, nükleer enerji santralleri gibi yüksek güvenlik gerektiren endüstriyel alanlarda, beyaz eşya endüstrisinde, basınçlı kaplarda ve bağlantı elemanlarında, bot pervaneleri, pompa ve şaft komponentleri, valfler ve hidrolik kontrol sistemlerinde korozyona olan dirençleri sebebiyle tercih edilir (Saklakoğlu, Gençalp İrizalp, Gökdemir ve Polat, 2016). Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde en yüksek pay östenitik paslanmaz çeliklere aittir. 200 ve 300 serilerini içeren östenitik paslanmaz çeliklerin temel alaşım elementleri krom ve nikeldir. Bu alaşımlar, sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540 °C' sıcaklığa kadar oksidasyona karşı dayanım gösterirler (Altan Özbek, Çiçek, Gülesin ve Özbek, 2017; Khamme ve Sakdanuphab, 2023).

Paslanmaz çeliklerin tamamında krom içeriği, korozyon dayanımını belirleyen en temel unsurdur. Paslanmaz çelik boru gibi malzemelerin üst yüzeyine parlaklık veren de kromdur. Cr oranının artırılmasıyla birlikte bu pasif tabaka daha kararlı hâle gelir ve kendini yenileyebilme yeteneği belirgin biçimde artar. Buna paralel olarak malzemenin korozyona karşı direnci de yükselir. Cr içeriğinin %11–12 seviyesinin altına düşmesi durumunda ise pasif tabakanın etkinliği ciddi biçimde zayıflamakta ve korozyon dayanımı olumsuz yönde etkilenmektedir. Nikel (Ni), pasif filmin oluşum hızını artırarak pasivasyon sürecine önemli ölçüde olumlu katkı sağlarken paslanmaz çeliğin yapısını stabilize eder ve mekanik özellikleri ile imalat özelliklerini geliştirir. Krom yanında

kullanılan molibden Mo pasif tabakanın kararlılığını güçlendirmenin yanı sıra, özellikle çukurcuk korozyonu ve gerilim korozyonu çatlağı gibi lokal korozyon türlerine karşı direnci artırmaktadır. Molibdenin krom ile etkileşimi, paslanmaz çeliğin yapımında stabilizasyon ve korozyon direncinde büyük artış sağlar. Paslanmaz çeliklerde Titanyum (Ti) duyarlılaşma eğilimini azaltmak amacıyla alaşıma ilave edilerek C ile reaksiyona girer ve kararlı karbürler oluşturur, böylece Cr'un katı çözeltili içerisinde kalmasını sağlar. Bu mekanizma sayesinde tane sınırlarında meydana gelebilecek taneler arası korozyon riski önemli ölçüde düşürülür. C, paslanmaz çeliğin mikroyapısının stabilitesine katkı sağlayan ve malzemenin aşınma direncini artıran alaşım elementleri arasında yer almaktadır. Özellikle N, çeliğin mekanik dayanımını yükseltirken aynı zamanda korozyon direncini artırıcı etki göstermektedir. N ilavesi, alaşım içerisinde Mo miktarının yaklaşık %6 seviyelerine kadar yükseltilmesine olanak tanımakta ve bu durum korozyon dayanımının daha da iyileşmesini sağlamaktadır. Buna ek olarak, Bakır (Cu) ve Alüminyum (Al), özellikle Ti ile kullanıldıklarında paslanmaz çeliklerin sertleşme kinetiğini hızlandırmaktadır (Aran ve Temel, 2004; Basmacı, 2018; Cerit, 1996; Lynch, 2011; Mavi ve Uzun, 2017).



Şekil 2. 30. Paslanmaz çeliklerin iç yapıları (a)Martenzitik (b)Dubleks (c)Ferritik (d)Östenitik (Aran ve Temel, 2004)

İç yapılarına göre paslanmaz çelikler beş ana başlıkta sınıflandırılır.

1. Martenzitik paslanmaz çelikler
2. Ferritik paslanmaz çelikler
3. Östenitik paslanmaz çelikler
4. Dupleks (Ferritik-Östenitik) paslanmaz çelikler
5. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler

2.6.2.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Yaklaşık %0,2 oranında karbon ve %13 civarında Cr içeren martenzitik paslanmaz çelikler AISI 403, AISI 410, AISI 414, AISI 416 ve AISI 420 kalite sınıflarını barındırır. Korozyon dayanımları, alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklere kıyasla daha yüksek olmakla birlikte, östenitik paslanmaz çeliklere göre daha sınırlıdır. Atmosfer koşullarına, tatlı su ortamlarına, bazı asitlere ve çeşitli kimyasal maddelere karşı yeterli direnç gösterirler. Ayrıca yaklaşık 650 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda oksitlenmeye karşı yüksek bir performans sergilerler (Aran ve Temel, 2004; International Stainless Steel Forum (ISSF) / World Stainless Association, t.y.; Kobrin G., Lilly, Diarmid ve Moniz, 1998; Nayır, 2017; Verhoeven, 2007).

2.6.2.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

%15–30 oranında krom içeren, kübik hacim merkezli kristal yapıya sahip bu paslanmaz çelikler, faz dönüşümü göstermemeleri nedeniyle ısıtılma işlemle sertleştirilemezler. Atmosferik koşullar altında korozyona karşı yeterli dayanım sergilerler. Ancak östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla korozyon dirençleri daha düşüktür. Bu sebeple, yüksek seviyede paslanmazlık gereksiniminin bulunmadığı otomotiv sanayii gibi uygulama alanlarında yaygın olarak tercih edilmektedirler (International Stainless Steel Forum (ISSF) / World Stainless Association, t.y.; Nayır, 2017). Gıda sanayii, sıcak su tankları, mutfak gereçleri, dekoratif uygulamalar, otomobil şasi parçaları ve egzoz elemanlarının üretiminde kullanılır (Aran ve Temel, 2004).

2.6.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler, adlarını birincil fazları olan ve kübik yüzey merkezli kristal kafes yapısına sahip γ -demir (östenit) fazından almaktadır. Bu çelikler genellikle %16–26 oranında Cr ve %7–22 oranında Ni içermekte olup, alaşım bileşimine bağlı olarak Mo ve N gibi elementler de ihtiva eder. Bu gruba ait yaygın kalite sınıfları arasında AISI 301, AISI 302, AISI 304, AISI 316 ve AISI 321 yer almaktadır. AISI 304 kalite paslanmaz çelik, yaklaşık %18 Cr ve %10 Ni içeriğiyle yüksek korozyon direnci sunması nedeniyle en yaygın kullanılan östenitik paslanmaz çelik türlerinden biridir. AISI 316 ise yaklaşık %17 Cr, %12 Ni ve %2,2 Mo içeren bir alaşım olup, özellikle klorür içeren

ortamlarda AISI 304'ün yetersiz kaldığı durumlarda tercih edilmektedir ve daha zorlu korozyon koşullarına karşı üstün dayanım sağlamaktadır (Aran ve Temel, 2004; Nayır, 2017; Verhoeven, 2007). Gıda üretim tesislerinde, makine ve imalat sanayinde, asansör sistemlerinde, bina ve dış cephe kaplamalarında, mimari uygulamalarda, gıda işleme ekipmanlarında, mutfak araç ve gereçlerinde, kimya endüstrisine ait tesis ve ekipmanlarda, bilgisayar klavye mekanizmalarında yer alan yaylarda ve nükleer yapılarda reaktör, boru sistemleri, vanalar gibi sistemlerin tasarımında kullanılır (Akdağ, 1992; Aran ve Temel, 2004) .

2.6.2.4. Dupleks (Östenitik/Ferritik) Paslanmaz Çelikler

Yaklaşık %28 oranında Cr, %7–22 aralığında Ni, %3 civarında Mo ve yaklaşık %0,02 C içeren bu paslanmaz çelik türü kübik yüzey merkezli ve kübik hacim merkezli kristal yapıya sahip östenitik ve ferritik fazların birlikte bulunduğu bir mikroyapı sergiler. Korozyon direnci ve mekanik özellikler bakımından ferritik ve östenitik paslanmaz çelikler arasında konumlanmaktadır. Gerilmeli korozyon çatlağına ve tane sınırı korozyonuna karşı yüksek direnç göstermektedirler. Bu çelikler, östenitik paslanmaz çeliklerin sağladığı yüksek mekanik dayanım ile ferritik paslanmaz çeliklerin manyetik özelliklerini bir arada sunarak, dengeli ve etkin bir korozyon direnci sağlamaktadır (Nayır, 2017; Verhoeven, 2007). Genellikle kimyasal aparat imalatında, artma tesislerinde ve denizcilik teknolojisinde kullanılır (Aran ve Temel, 2004).

2.6.2.5. Çökelme Sertleşmesi Gösteren Paslanmaz Çelikler

Uçak, savunma ve uzay sanayilerinde talep edilen yüksek mukavemet özelliği ile üstün korozyon direnci gereksinimlerini karşılamak amacıyla geliştirilmişlerdir. Bu paslanmaz çelikler, mikroyapı özelliklerine göre martenzitik (Croloy 16-6PH, Custom 455 XM-16), yarı östenitik (17-7 PH, AM-350) ve östenitik (17-10 PN, HNM A-286) olmak üzere 3 ana grupta sınıflandırılır. Genellikle pompa ve vana şaftlarında kullanılır (Aran ve Temel, 2004; Nayır, 2017).

2.6.3. Karbon Çelikleri

Karbon çelikleri, esas olarak demir-karbon esaslı olup yapılarında mangan, silisyum, kükürt ve fosfor gibi elementleri de belirli oranlarda içeren alaşımlardır. Yapı ve imalat endüstrisinde yaygın şekilde kullanılmaları nedeniyle imalat çelikleri olarak da adlandırılmaktadırlar. Bu çeliklerin mekanik ve fiziksel özellikleri, bünyelerinde bulunan karbon miktarına doğrudan bağlı olarak değişim göstermektedir. Karbon oranındaki artışla birlikte çeliklerin sertliği ile akma ve çekme dayanımları yükselirken, süneklik ve darbe dayanımı gibi özelliklerinde azalma gözlenmektedir. Ayrıca karbon içeriğinin artması, çeliklerin plastik şekil alma yeteneğini olumsuz yönde etkilemektedir. Karbon içeriğine göre üç gruba ayrılır.

2.6.3.1. Düşük Karbonlu Çelikler

Yapılarında %0,20'ye kadar karbon bulunan çelikler bu sınıf içerisinde değerlendirilmektedir. Mekanik davranışları nedeniyle yumuşak çelikler olarak da adlandırılan bu malzemeler, dünya genelindeki çelik üretiminin en büyük payını oluşturmaktadır. Özellikle yassı mamuller ile inşaat sektöründe ve temel taşıyıcı sistemlerde kullanılan çelik çubuklar ve profiller, düşük karbonlu çelikler grubuna dâhildir. Düşük karbon içerikleri sebebiyle bu çelikler ısıtılma yoluyla yeterli sertlik seviyelerine ulaştırılamamakta; ancak sementasyon ve nitrasyon gibi yüzey sertleştirme yöntemleriyle yüzey özellikleri iyileştirilebilmektedir.

2.6.3.2. Orta Karbonlu Çelikler

Bu gruptaki çelikler yapılarında %0,20-0,60 arasında karbon içermektedir. Isıl işlemlerle sertleştirilebilme özellikleri nedeniyle başta makine imalat sanayi olmak üzere kullanım alanları oldukça geniştir. Bu gruptaki çeliklerin kaynak kabiliyetleri az karbonlu çeliklere göre daha düşüktür. Kaynak işlemleri sırasında oluşan kontrolsüz ısıtılma etkileri çeliğin yapısal değişiminin de kontrolsüz olmasına yol açmaktadır.

2.6.3.3. Yüksek Karbonlu Çelikler

Yapılarında %0,60'tan daha fazla karbon içeren çeliklerdir. Yüksek mukavemetli ve sünek olan yüksek karbonlu çelikler ısıtılıp soğutulmuş ve sertleştirilerek yüksek sertlik kazanırlar. Bu özellikleri nedeniyle yüksek aşınma direnci ve kesici nitelik sergilemektedirler. İşlenebilirlikleri ve plastik şekil alma yetenekleri düşük ve orta karbonlu çeliklere kıyasla daha sınırlıdır. Kaynaklanabilirlikleri de zayıf olup, özel kaynak yöntemleri uygulanarak birleştirilmektedirler. Bu sınıfta yer alan çelikler çoğunlukla takım imalatında tercih edilmektedir.

2.7. Yüzey Aktif Maddeler

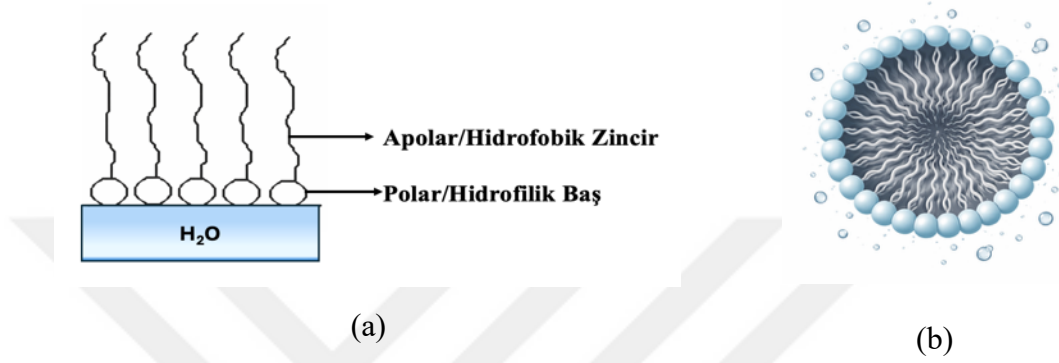
Yüzey aktif maddeler suda ya da sulu çözeltilerde çözündüğünde iki sıvı faz arasındaki yüzey gerilimini azaltan kimyasal bileşiklerdir. “Yüzey aktif madde” teriminin İngilizce karşılığı olan “surface active agent” ifadesinin kısaltması olarak kullanılan surfactant kavramı, literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2. 31. Yüzey aktif madde molekülünün yapısı

Yüzey aktif maddelerin en temel özelliği, uzun hidrokarbon zincirleri ile polar fonksiyonel grupları aynı molekül yapısı içerisinde birlikte bulundurmalarıdır. Uzun hidrokarbon zinciri, molekülün suyla etkileşimi zayıf olan hidrofobik bölümünü oluşturmakta ve yüzey aktif davranışın sağlamaktadır. Polar grup ise molekülün hidrofilik kısmını teşkil ederek sulu ortamda çözünürlüğü sağlar. Bu özellikler, bileşiklerin çözeltide misel oluşturma yeteneklerinden kaynaklanır. Misel oluşturma özellikleri nedeniyle deterjan ve sabun üretiminde yaygın olarak kullanılırlar. Yüzey aktif maddeler, düşük konsantrasyonlarda suda çözündüklerinde monomerler halinde bulunurlar. Konsantrasyon arttığında ve optimum konsantrasyona ulaşıldığında, monomerler bir araya gelerek miseller oluştururlar. Monomerler bir araya geldiğinde, hidrofobik kuyrukları miselin merkezine doğru, hidrofilik başları ise çözücüye doğru yerleşir. Misel

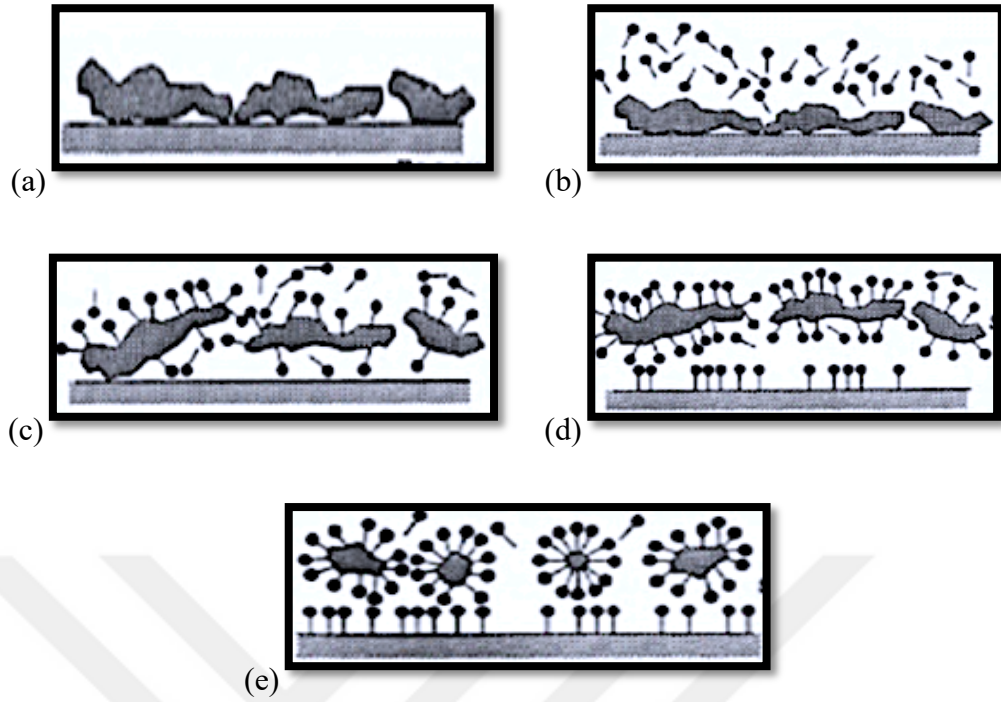
oluşumuyla birlikte, sistemin serbest enerjisi ve yüzey gerilimi azalır ve bu azalma bir noktada sabitlenir. Şekil 2.32.'de gösterildiği gibi misel oluşumu için gerekli olan yüzey aktif madde monomer konsantrasyonuna kritik misel konsantrasyonu (KMC) denir. Yüzey aktif maddelerin miselleşme derecesi, yapılarındaki hidrofobik grubun zincir uzunluğuna bağlıdır. Bu değer, hidrofobiklik arttıkça azalır (Nur Unal, Sadak, Erkmen, Zge Selcuk ve Uslu, t.y.).



Şekil 2. 32. Yüzey aktif madde davranışları (a)Yüzey aktif maddelerin sulu çözeltide davranışı (b) Misel oluşumu

Yüzey aktif maddeler kimya sektöründe nanoteknolojide (Sivaganesh ve diğerleri, 2020), farmasötik formülasyonlarda (Elmowafy ve diğerleri, 2022; Kumar ve diğerleri, 2022),deterjanlarda(Shaban, Kang ve Kim, 2020), korozyon inhibitörlerinde(Elaraby ve diğerleri, 2023; Verma, Hussain, Quraishi ve Alfantazi, 2023; Xie ve He, 2023) emülgatör sistemlerinde (P. Liu ve diğerleri, 2022; Salman, 2022) ve petrol endüstrisinde(Isaac, Pu, Oni ve Samson, 2022), nanomalzemelerle kaplanmış yüzeylerin kaplamasına eklenerek kaplamanın korozyon direncini artırarak korozyon inhibitörü olarak kullanılmaktadır.

Şekil 2.33.'de yüzey aktif maddelerin temizlik malzemelerinde kullanımına ilişkin yüzey temizleme prensipleri aşamam aşama gösterilmektedir. Yağı yani kiri seven kuyruk kısımları kiri çevrelemekte bu sırada suyu seven polar kısımlar suya doğru hareketlenince de hapsedilen kir yüzeyden uzaklaşmaktadır. Şekil 2.33 a-e arasında bu işlemin aşamaları verilmiştir. (a) Kirli yüzey (b) Yüzey aktif maddelerin çözünmesi (c)Yüzey aktif maddelerin kiri çevirerek absorbe etmesi (d) Yüzeyden kirin çözünmesi (e) Kirin stabilize olarak uzaklaştırılması.



Şekil 2. 33. Kirin yüzeyden temizlenmesinde yüzey aktif maddelerin çalışma prensibi

Yüzey aktif maddelerin çeşitli uygulamalardaki kullanımını anlamak için sınıflandırılmaları gereklidir. Ortak bir amaca hizmet etmelerine rağmen, yüzey aktif maddeler yapıları bakımından farklılık gösterir ve moleküler yapılarının hidrofilik baş kısmının taşıdığı yüke göre dört gruba ayrılırlar.

2.7.1. Anyonik Yüzey Aktif Maddeler

Bu gruptaki yüzey aktif maddeler, polar hidrofofik bir kısım, değişen uzunlukta bir alkil zinciri ve sulu çözeltilerde negatif yük kazanan hidrofilik bir kısımdan oluşur. Negatif yüklü oldukları için ortamdaki pozitif yüklerle etkileşime girerler. Kimyasal olarak kararlı ve yüksek oranda çözünür olup kimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Anyonik yüzey aktif maddeler, metal oksit sentezinde ve elektrokimyasal performanslarına katkıda bulunmak için, elektrokimyasal sensörlerde elektrotu değiştirmek için, lityum pillerde deşarj kapasitesini artırmak ve enerji verimliliği sağlamak için kullanılabilir (Nur Unal ve diğerleri, 2023). Bu gruptan Sodyum dodesil sülfat (SDS) bu tez çalışmasında anyonik yüzey aktif maddelerin süperhidrofobik yüzey davranışına etkilerini incelemek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 2. 34. Anyonik yüzey aktif madde molekül yapısı

2.7.2. Katyonik Yüzey Aktif Maddeler

Bu gruptaki yüzey aktif maddelerin yapılarında pozitif yüklü bir polar grup bulunmaktadır. Yumuşatıcılar, saç kremleri ve deterjanlar gibi çamaşır ürünlerinin üretiminde tercih edilen bu tip yüzey aktif maddeler, yüksek sıcaklıklarda çok kararlı olmayan bir gruptur. Tetrabutyl amonyum rodanid, N -dodesilpiridinyum klorür, dodesiltrimetilamonyum bromür (DTAB), tetradesiltrimetilamonyum bromür (TTAB), heksadesiltrimetilamonyum bromür (CTAB) bu gruba örnek verilebilir. CTAB gibi katyonik yüzey aktif maddeler, elektrokimyasal CO₂ indirgeme reaksiyonunda karbon ürün oluşumunu teşvik etmek için kullanılmış ve hidrojen oluşumunu baskıladığı tespit edilmiştir (Banerjee, Zhang, Hall ve Thoi, 2020; Sarkar, Maitra, Banerjee, Thoi ve Dawlaty, 2020). Bu tez çalışmasında katyonik yüzey aktif maddelerin süperhidrofobik yüzey davranışına etkilerini incelemek amacıyla anyonik yüzey aktif madde grubundan DTAB ve CTAB kullanılmıştır.



Şekil 2. 35. Katyonik yüzey aktif madde molekül yapısı

2.7.3. Noniyonik Yüzey Aktif Maddeler

Sulu çözeltilerde nötr olarak davranan yüzey aktif madde grubudur. Elektronik yüke sahip olmadıkları için hidrojen bağları oluşturarak suda çözünürler. Bu özellikler, yüksek sıcaklıklarda kararlılıklarının azalmasına neden olur. Triton X-100, polivinilpirolidon ve saponin noniyonik yüzey aktif madde grubuna örnek olarak

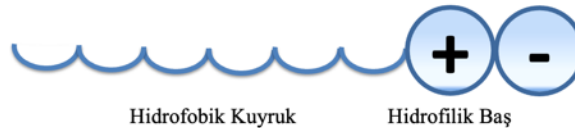
verilebilir. Elektropresipitasyon yoluyla yüksek özgül kapasite elde etmek için kaplamalarda elektrolit olarak (Devaraj ve Munichandraiah, 2007), elektrokristalizasyonda (Ghaemi, Ghafouri ve Neshati, 2006), elektrokimyasal sensörlerde (Kawakami, Tanaka, Uriuda ve Gondo, 2000) ve korozyon önleyici olarak kullanım alanları vardır (Aslam ve diğerleri, 2021).



Şekil 2. 36. Noniyonik yüzey aktif madde molekül yapısı

2.7.4. Amfoterik veya Zwitteriyonik Yüzey Aktif Maddeler

Pozitif ve negatif yükleri aynı anda barındıran yüzey aktif maddelerdir. Düşük toksisiteleri ve göz ve cilt uyumlulukları, birçok kozmetik ve farmasötik üründe kullanılmalarına imkân sağlar. Amfoterik yüzey aktif maddeler arasında sülfobetain, karboksibetain, sülfoimidazolium ve karboksimidazolium bulunur. Hem anyonik hem de katyonik grupların varlığı, artan su çözünürlüğü, düşük toksisite, kolay biyolojik bozunma ve sıcaklık değişimlerine karşı stabilite gibi özellikler sağlar. Amfoterik yüzey aktif maddeler, pillerde korozyonu önlemek için elektrolit çözeltisine katkı maddesi olarak, pil sistemlerinde stabilizatör madde olarak ve elektrokimyasal sensörlerde ve biyosensörlerde çalışma elektrotunu değiştirmek için kullanılmaktadır.



Şekil 2. 37. Amfoterik yüzey aktif madde molekül yapısı

Yüzey aktif maddeler, sentetik ve biyolojik yüzey aktif maddeler gibi üretildikleri kaynağa göre de sınıflandırılabilir. Kimyasal reaksiyonlar yoluyla üretilen sentetik yüzey aktif maddelerin çoğu, etilen oksit ve propilen oksit kopolimerleri, alkoksillenmiş alkilfenol türevleri, sorbitan esterleri, alkoller ve aminlerdir. Biyolojik yüzey aktif

maddeler biyolojik materyale dayanır ve sentetik çeşitlere göre çevreye daha az verirler. Sentetik ve biyolojik yüzey aktif maddeler, yapısal farklılıklarıyla ilişkili çeşitli kimyasal özelliklere sahiptir ve bu özelliklere dayalı olarak birçok farklı uygulama alanı ve elektrokimyasal çalışmanın konusu olmuştur (Nur Unal ve diğerleri, 2023).

2.8. Yüzey Aktif Maddelerin Korozyon Önleyici Olarak İncelenmesi

Korozyon, bir malzemenin çeşitli çevresel koşullarla teması sonucu oluşan bozulma olarak tanımlanır. Korozyon reaksiyonu durdurulmаса da yavaşlatılması maliyet etkin bir çözüme yol açabilir. Yüzey aktif maddeler, son yıllarda korozyon önleyici olarak kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Yüzey aktif maddeler, amfifilik yapıları, ucuzlukları, düşük toksisiteleri ve adsorpsiyon yoluyla metal korozyonuna karşı dirençleri nedeniyle diğer metal inhibitörlerine göre korozyon önleyici olarak tercih edilir (Aslam ve diğerleri, 2021).

Bu tez çalışmasında kullanılan CTAB, DTAB ve SDS yapı, iyonik karakter ve yüzeyle etkileşim mekanizmaları açısından birbirinden belirgin şekilde ayrılan yüzey aktif maddelerdir. SDS sülfat baş grubuna sahip tipik bir anyonik yüzey aktif madde olup, sulu ortamlarda negatif yüklü baş grubu sayesinde elektrostatik itmeler yoluyla stabilize olur. CTAB ve DTAB ise kuaterner amonyum baş grupları içeren katyonik yüzey aktif maddelerdir ve özellikle negatif yüklü yüzeylerle güçlü elektrostatik etkileşimler sergilerler. CTAB, DTAB'a kıyasla daha uzun hidrokarbon zincirine sahip olması nedeniyle daha düşük kritik misel konsantrasyonuna ve daha yüksek yüzey aktivitesine sahiptir (Holmberg, 2003).

Buna karşılık perflorodesiltrietoksisilan (PFDTES), flor içeren modifiye edici karakterli bir bileşiktir. PFDTES'in etkisi iyonik etkileşimlerden ziyade uzun perfloroalkil zincirinin sağladığı düşük yüzey enerjisi ve trietoksisilan grubunun hidroliz-sonrası yüzeye kovalent bağlanma yeteneğinden kaynaklanır. Bu nedenle PFDTES, sulu ortamda misel oluşturmaktan çok, yüzeylerde kalıcı hidrofobik ve süperhidrofobik tabakaların oluşturulmasında tercih edilir.

Literatürde modifiye edici olarak kullanılan PFOS, süperhidrofobik yüzey modifikasyonlarında yüksek temas açısı sağlayabilen güçlü bir florlanmış yüzey aktif

madde olmasına rağmen çevresel kalıcılığı, biyobirikim potansiyeli ve toksikolojik kısıtları nedeniyle kullanım alanı giderek daralmaktadır. Araştırmalarda PFOS'un yüzey suları, sedimentler, topraklar ve atıksu çamurlarında sürekli olarak tespit edildiği, çevresel konsantrasyonlarının biyofiziksel koşullara rağmen uzun süre bozulmadan kalabildiği bildirilmiştir (Yurtsever, 2025; Zhang ve diğerleri, 2020). PFDTES ise florosilan yapısı sayesinde benzer derecede düşük yüzey enerjisi sağlayabilmekte; ayrıca içerdiği tri-etoksisilan grupları ile metal yüzeylerdeki OH fonksiyonlarına kovalent bağlar oluşturma kapasitesine sahiptir. Bu bağ türü PFOS'un fiziksel adsorpsiyona dayalı tutunmasına kıyasla çok daha kararlı, dayanıklı ve uzun ömürlü bir modifikasyon mekanizması sunmaktadır. PFDTES'in daha uzun perflor alkil zinciri yüzey serbest enerjisini PFOS'a göre daha düşük değerlere indirebilmekte ve daha yüksek temas açısı potansiyeli oluşturmaktadır. Ayrıca PFDTES, PFOS'a kıyasla endüstriyel kullanımda daha güvenli kabul edilmekte, bu da çalışmanın hem çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine hem de güncel malzeme mühendisliği standartlarına uyum göstermesini sağlamaktadır (J. Zhang ve diğerleri, 2024).

Çizelge 2. 3. PFDTES, SDS, CTAB ve DTAB karşılaştırması

Bileşik	İyonik Karakter	Baş Grup	Hidrofobik Zincir	Etkileşim Mekanizması
PFDTES	Noniyonik	Silan	Perfloroalkil	Kovalent bağlanma
SDS	Anyonik	Sülfat ($-SO_4^-$)	C12 alkil	Elektrostatik
CTAB	Katyonik	Kuaterner amonyum (+)	C16 alkil	Elektrostatik
DTAB	Katyonik	Kuaterner amonyum (+)	C12 alkil	Elektrostatik

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Seçilen çelik alaşımlarında hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeylerin elde edilmesi amacıyla farklı reaktifler kullanılarak zamana bağlı kontrollü aşındırma deneyleri gerçekleştirilmiş ve yüzey pürüzlülüğündeki değişim incelenmiştir. Yüzey aktif maddelerin, pürüzlülüğe bağlı olarak yüzey enerjisi üzerindeki etkileri zamana bağlı deneylerle belirlenmiş, ön çalışmalar sonucunda optimize edilen malzeme ve yöntem ile nihai deneyler yürütülmüştür. Deneyler sonucunda elde edilen hidrofobik/süperhidrofobik yüzeyler ısıl/mechanik dayanım testlerine tabii tutularak oluşturulan yüzeylerin kalıcılığı incelenmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Metal Yüzeyler

Deneylerde metal yüzey numunesi olarak AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelikler ile C1040 ve St37 karbon çelikleri olmak üzere dört farklı çelik türü kullanılmıştır. Numuneler AS Çelik firmasından temin edilmiştir. Deney çalışmalarında kullanılacak çelik türleri endüstride kullanım sıklığı ve maliyet parametreleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Kimyasal içerikleri Çizelge 3.1 ve 3.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 3. 1. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri (%Ağırlık)(Saklakoğlu ve diğerleri, 2016)

Sınıf	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu
AISI 304	0,080	2,000	0,750	0,045	0,030	18,350	8,120	0,070	0,230
AISI 316	0,040	1,180	0,410	0,038	0,012	16,300	10,090	2,020	0,490

Çizelge 3. 2. Karbon çeliklerinin kimyasal bileşenleri (%Ağırlık) (Varpe ve Tajane, 2024)

Sınıf	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
St37	0,170	0,300	1,400	0,045	0,045	-
C1040	0,390	0,189	0,760	0,035	0,015	0,160

3.1.2. Reaktifler, Yüzey Aktif Maddeler ve Diğer Kimyasal Maddeler

Deneyisel çalışmalarda numune yüzeylerinin temizlenmesinde, yüzey pürüzlülük değerlerinin kontrollü bir şekilde artırılmasında ve malzeme yüzeyinin modifiye edilmesinde kullanılan tüm kimyasallar Sigma-Aldrich, Merck KGaA’ dan temin edilmiştir. Çizelge 3.3’te kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri özetlenmiştir.

Çizelge 3. 3. Deneylerde kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri

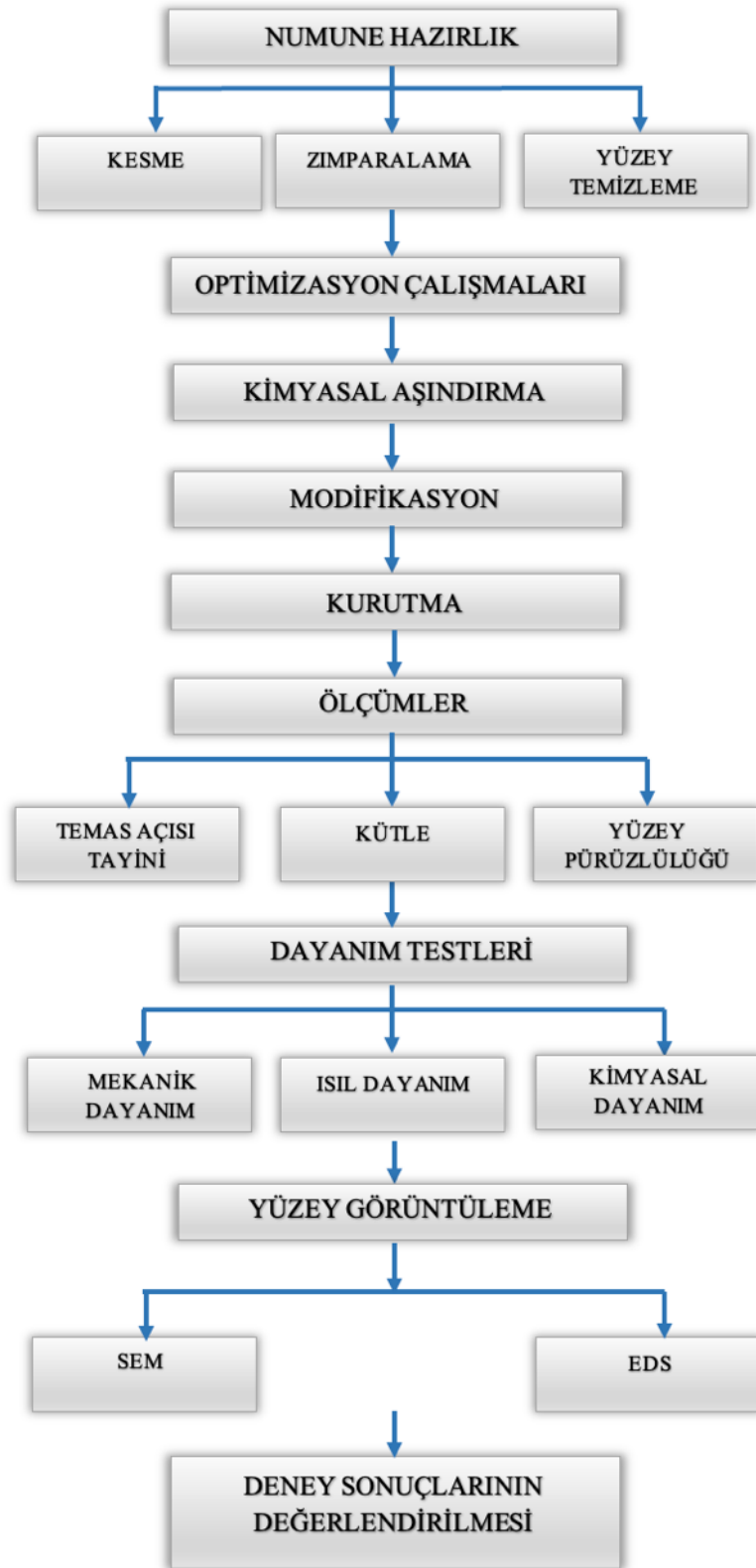
REAKTİFLER			
Kimyasal Adı	Moleküler Formül	Safılık	CAS No
Nitrik Asit	HNO ₃	65%	7697-37-2
Hidroklorik Asit	HCl	37%	7647-01-0
Hidroflorik Asit	HF	40%	7664-39-3
Hidrojenperoksit	H ₂ O ₂	30%	7722-84-1
Bakır (II) Klorür	CuCl ₂	97%	7447-39-4
Demir (III) Klorür	FeCl ₃	≥99.99%	7705-08-0
Silikondioksit	SiO ₂	≥99.99%	60676-86-0
MODİFİYE EDİCİLER			
Sodyumdodesilsülfat (SDS)	CH ₃ (CH ₂) ₁₁ OSO ₃ Na	99%	151-21-3
N, N'-Dicyclohexylcarbodiimide (DCC)	(C ₆ H ₁₁ N) ₂ C	99%	538-75-0
Heksadesiltrimetilamonyumbromür(CTAB)	CH ₃ (CH ₂) ₁₅ N(Br)(CH ₃) ₃	≥98%	57-09-0
Dodesiltrimetilamonyumbromür(DTAB)	CH ₃ (CH ₂) ₁₁ N(CH ₃) ₃ Br	≥98%	1119-94-4
1H,1H,2H,2H-Perflorodesiltrioksisisilan (PFDTES)	C ₁₄ H ₁₉ F ₁₃ O ₃ Si	≥97%	101947-16-4
Stearik Asit (STA)	C ₁₇ H ₃₅ COOH	98%	57-11-4
DİĞER			
Etanol	CH ₃ CH ₂ OH	99,8%	64-17-5

3.2. Metot

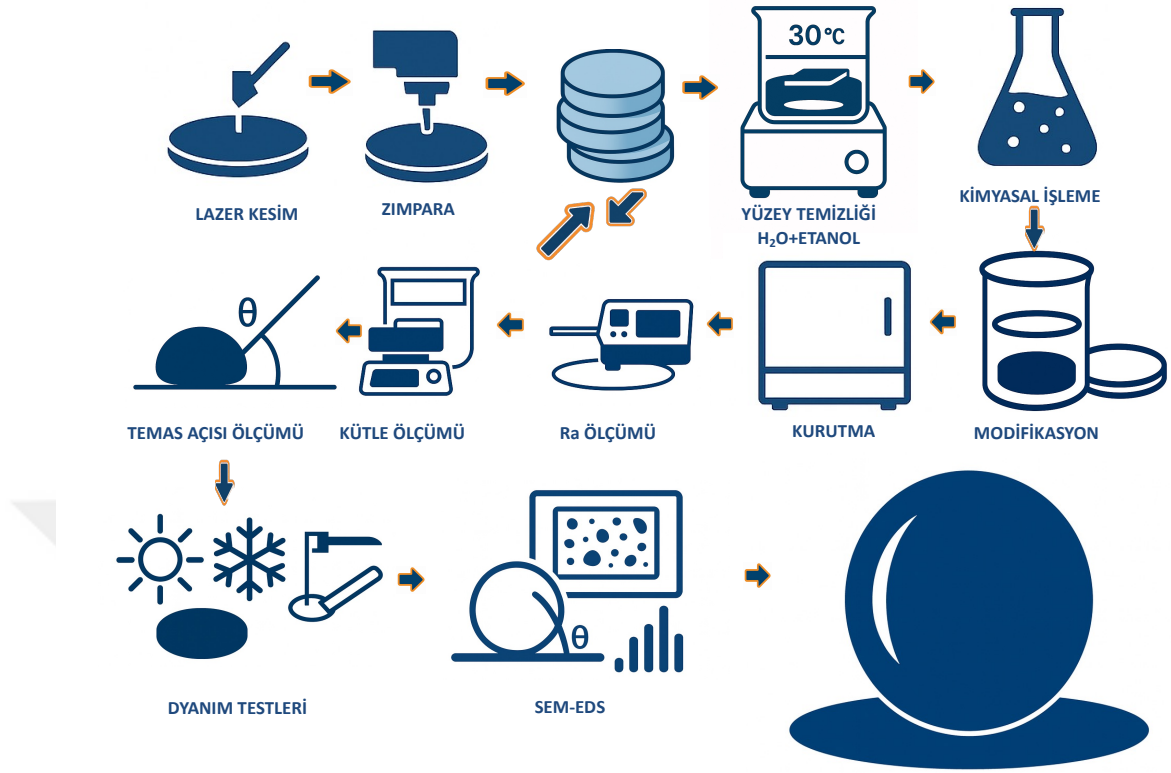
3.2.1. Deneysel Yaklaşım

Farklı metallerde hidrofobik ve süperhidrofobik yüzey elde edilmesi ve süperhidrofobik yapının dayanımını etkileyen parametrelerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma, belirlenen paslanmaz çelik ve karbon çeliği numunelerin yüzey özelliklerinin kimyasal işleme ve modifikasyon sonucunda nasıl değiştiğini belirlemek için iki aşamalı bir deneysel yaklaşım üzerine kurgulanmıştır. İlk aşamada kimyasal aşındırma ve modifikasyon süreleri, reaktif ve modifiye edici kimyasallar, sıcaklık, çözelti hacmi ve molarite gibi parametrelerin etkilerini belirlemek üzere optimizasyon çalışmaları yürütülmüştür. Bu aşamada konuyla ilgili literatür dikkate alınarak yöntem ve parametre aralıkları tasarlanmış ve deneysel parametreler belirlenmiştir. Optimizasyon aşamasında elde edilen bulgular doğrultusunda, ikinci aşamada deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar beş adımda gerçekleştirilmiştir. İlk adımda numune kesme ve yüzey hazırlık işlemleri tamamlanmıştır. İkinci adımda numuneler belirlenen optimum koşullarda kimyasal aşındırma işlemine tabi tutulmuş ve modifiye edici çözeltilerle yüzey modifikasyonu yapılmıştır. Üçüncü adımda numuneler etanol ve deiyonize su ile temizlenip kurutularak kütle değişimi, malzeme aşınma oranı, yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Dördüncü aşamada hidrofobik ve süperhidrofobik davranış sergileyen numuneler sırasıyla 72 saat düşük sıcaklık, yüksek sıcaklık ve buzlanma testlerine tabi tutulmuştur. Bant testi, zımpara testi ve tuzlu su testleri yapılarak oluşturulan yüzeylerin mekanik ve kimyasal dayanımları incelenmiştir. Beşinci adımda yüzey görüntüleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Sistemati olarak parametre optimizasyonundan başlayan ve yüzey karakterizasyonu ile tamamlanan deneysel süreç Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1. Deney sistematığı

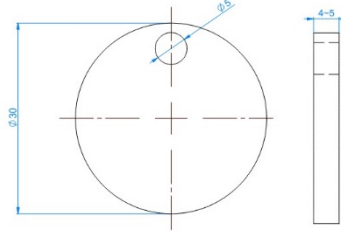


Şekil 3. 2. Şematik deney prosedürü

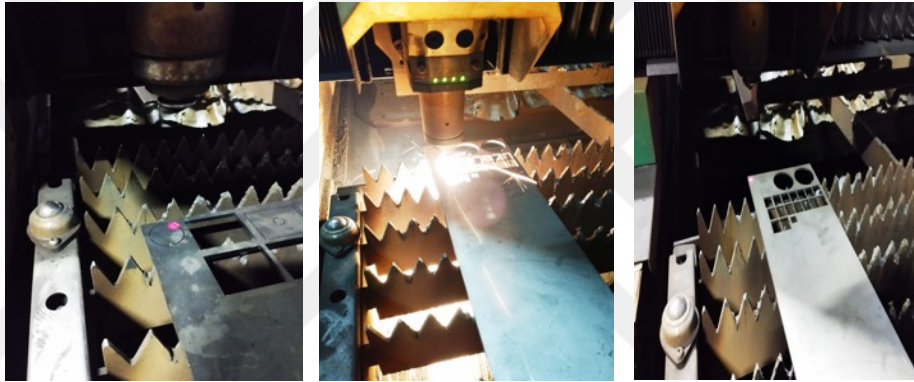
3.2.2. Numune Hazırlık

AISI 304, AISI 316, St37 ve C1040 malzemeler lazer kesim yöntemi ile Ø30x4mm ebatlarında kesilerek numuneler hazırlanmıştır ve numeratör ile gruplandırma yapılmıştır. Numunelerin gruplandırılmasında kullanılan yöntem Çizelge 3.1’de verilmiştir. Askı delikleri Ø6 mm çapında lazer ile delinmiştir. Lazer kesim yöntemi ile yapılan metal kesim işlemleri geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında daha başarılı sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Ürgüplü ve Köksal, 2015). Her bir numunenin yüzeyi, ISO 21920-2:2021 standartlarına göre satıh taşlama yöntemi ile 3 mm kalınlığa düşürülecek şekilde işlenmiş ve daha sonra numune yüzeyindeki pürüzlülüklerin giderilmesi ve tüm numunelerin başlangıç şartlarında eşitlenmesi amacıyla sırasıyla 180, 400, 800 ve 1200 mesh zımparalarla zımparalanarak $Ra = 0.3-0,7 \mu m$ aralığında pürüzlülük değerine sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu aralık, yaklaşık olarak N5–N6 yüzey kalite sınıfına karşılık gelmektedir (ISO 21920-2:2021). Kimyasal aşındırma işlemi öncesinde

numuneler 10 dakika saf su ve 10 dakika etanol ile ultrasonik su banyosunda yıkanarak yüzeylerinde bulunan kir, yağ, oksit vb. yabancı maddelerden arındırılmıştır.



Şekil 3. 3. Numune ölçüleri



Şekil 3. 4. Lazer kesim yöntemi

Çizelge 3. 4. Numune gruplandırması

Numune Grubu	Metal Türü
Y	AISI304
K	AISI316
C	C1040
G	St37



Şekil 3. 5. Gruplandırılmış numuneler

3.2.3. Optimizasyon Çalışmaları

Deneysel çalışmalara geçilmeden önce, işlem koşullarının ve kullanılacak kimyasal bileşenlerin belirlenebilmesi amacıyla kapsamlı bir optimizasyon süreci yürütülmüştür. Bu süreçte 260 adet çelik numune kullanılmıştır. Optimizasyon deneyleri, literatürde benzer çalışmaların bulguları dikkate alınarak tasarlanmış; parametre aralıklarının belirlenmesi ve kimyasal bileşen seçimi literatüre göre yapılandırılmıştır. Kontrollü yüzey pürüzlülüğü oluşturacak reaktif seçimi, süre, sıcaklık, çözelti hacmi ve molarite belirlenmiştir. Daha sonra modifiye edici çözeltilerin etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Deneysel planlama, parametrelerin birbirleriyle etkileşimini en aza indirecek şekilde kademeli bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir. Her deney setinde kontrollü yüzey pürüzlülüğü eldesine imkân verecek MRR değerinin hesaplanması amacıyla numunelerin işlem öncesi ve sonrası kütleleri ile Ra değerleri ölçülmüştür. Optimizasyon sürecinde yüzeydeki hidrofilik/hidrofobik davranış nitel olarak değerlendirilmiştir. Optimizasyon aşamasında elde edilen bilgiler, sistematik deneylerde kullanılacak parametre ve bileşen kombinasyonlarının belirlenmesinde referans olarak alınmıştır. Her bir parametre bağımsız değişken olarak ele alınmış; MRR, Ra ve temas açısı sonuçları yanıt değişkenleri olarak değerlendirilmiştir. Optimize edilen işlem parametreleri;

- Aşındırıcı kimyasal türü: HNO_3 , $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, FeCl_3 , HCl , Kallings, $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}_2$
- Aşındırıcı çözeltinin molaritesi,
- İşlem süresi,

- Modifikasyon çözeltisinin türü,
- Modifikasyon çözeltisinin konsantrasyonu,
- Yüzey aktif madde katkısıdır.

3.2.4. Yüzey İşlemleri

3.2.4.1. Kimyasal Aşındırma

Malzemelerin kontrollü bir şekilde güçlü reaktiflerle çözündürülmesine dayanan bir imalat yöntemi olan kimyasal aşındırma yönteminde, numunenin aşındırıcı kimyasal ile temas etmesi sonucunda malzeme yüzeyleri çözünmektedir. Bu çözünme sürecinde, malzeme yüzeyinden bir miktar tabaka aşınarak uzaklaşmaktadır. Bu yöntem, özellikle karmaşık geometrilere sahip ince ve düz parçalarda yaygın olarak kullanılır. Malzeme kaldırma oranı (MRR), işlenen malzemeden birim zamanda uzaklaştırılan kütle miktarıdır ve kimyasal aşındırma verimliliğini belirleyen en kritik parametrelerden biridir (Abd, Fattah El-Awadi, Enab, Abdel-Samad ve Elhalwany, 2016).

$$MRR = \frac{(\text{İlk kütle} - \text{Son kütle})}{\text{İşlem Süresi}}$$

$$MRR(g/dk) = \frac{(m_i - m_f)}{\Delta t}$$

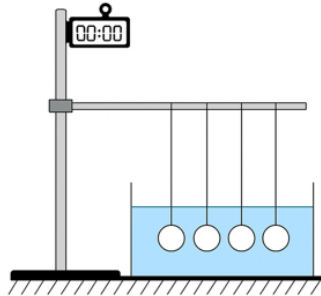
Çelik numunelerin yüzey pürüzlülüğünün ve morfolojisinin kontrollü olarak değiştirilmesi amacıyla farklı kimyasal aşındırıcılar kullanılarak zamana bağlı aşındırma deneyleri gerçekleştirilmiş ve farklı aşındırıcı çözelti içerisnde bekletilen numuneler için MRR değerleri hesaplanmıştır. Kullanılan aşındırıcı kimyasallar, işlem süreleri ve çözelti derişimleri Çizelge 3.5’te özetlenmiştir. Bu parametreler, literatürde yaygın olarak kullanılan değerler esas alınarak belirlenmiş ve sistematik alt ve üst sınırlar eklenerek deneysel aralık genişletilmiştir.

HNO₃ ile yapılan aşındırma deneyleri, 5–35 dakika aralığında değişen sürelerde gerçekleştirilmiş olup, 2,8 M ve 5 M HNO₃ çözeltileri kullanılmıştır. Ayrıca yüzey aktif maddenin etkisini incelemek amacıyla 5 M HNO₃ içerisine 1,2×10⁻³ M CTAB ilavesi yapılan çözelti ile deneyler tekrarlanmıştır. FeCl₃ çözeltileri ile yapılan aşındırma işlemleri de iki farklı zaman aralığında uygulanmıştır. İlk grupta 3–15 dakika arasında

değişen sürelerde, 30 g FeCl_3 'nin 100 ml ve 200 ml saf su içerisinde çözündürülmesiyle hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır. İkinci grupta ise 5–30 dakika süre aralığında, 40 g FeCl_3 içeren çözeltiler tercih edilmiş; ayrıca bazı deneylerde çözeltiye 20 ml HNO_3 ilavesi yapılarak aşındırma davranışı incelenmiştir. Kallings çözeltisi ile aşındırma işlemleri, kısa süreli (1–5 dakika) ve uzun süreli (5–25 dakika) olmak üzere iki farklı zaman aralığında gerçekleştirilmiştir. Kallings çözeltisi; 33 ml distile su, 1,5 g CuCl_2 , 33 ml HCl ve 33 ml etanol karışımından hazırlanmıştır. $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}_2$ tabanlı aşındırma, 15 dakika süreyle uygulanmış olup, çözelti bileşimi 1,1 ml HF , 0,43 ml H_2O_2 ve 23,9 ml saf sudan oluşacak şekilde hazırlanmıştır.

Çizelge 3. 5. Aşındırıcı kimyasallar ve işlem süreleri

AŞINDIRICI KİMYASAL	İŞLEM SÜRESİ (dakika)	ÇÖZELTİ DERİŞİMİ
HNO_3	5-10-15-20-25-30-35	2,8 M 5 M 5M HNO_3 + $1,2 \times 10^{-3}$ M CTAB
FeCl_3	3-6-9-12-15	30 g FeCl_3 + 200 ml H_2O 30 g FeCl_3 + 100 ml H_2O
FeCl_3	5-10-15-20-25-30	40 g FeCl_3 + 100 ml H_2O 40 g FeCl_3 + 100 ml H_2O + 20 ml HNO_3
Kallings Çözeltisi	1-2-3-4-5	33 ml Distile Su+ 1,5 g CuCl_2 + 33 ml HCl + 33 ml Etanol
Kallings Çözeltisi	5-10-15-20-25	33 ml Distile Su+ 1,5 g CuCl_2 + 33 ml HCl + 33 ml Etanol
$\text{HF}/\text{H}_2\text{O}_2$	15	0,2/1 HF (mol)/ H_2O_2 (mol) 1,1 ml HF + 0,43 ml H_2O_2 + 23,9 ml H_2O



Şekil 3. 6. Kimyasal aşındırma deney düzeneği şematik gösterimi

Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 3.6'da verilmiştir. Düzenekte numunelerin aşındırma işlemi sırasında çözelti içinde eşit şartların sağlanabilmesi için yükseklik ayarlı bir sistem kullanılmıştır. Numuneler paslanmaz çelik tutucular ile düzeneğe takılarak kimyasal çözelti içerisine daldırılmıştır.

3.2.4.2. Modifiye İşlemleri

Yapılan araştırmalarda su damlacıklarının yüzeyler üzerindeki ıslatma davranışının yüzey kimyası ve topolojinin optimum birleşimiyle yönetildiği ortaya konmuştur. Düşük yüzey enerjisine sahip yüzeylerde süperhidrofobik özellik sağlanabilmektedir (Özdemir ve diğerleri, 2018). Bu yüzey modelleri ilk olarak Wenzel ve Cassie -Baxter tarafından tanımlanmıştır (Cassie ve Baxter, 1944; Wenzel, 1949).

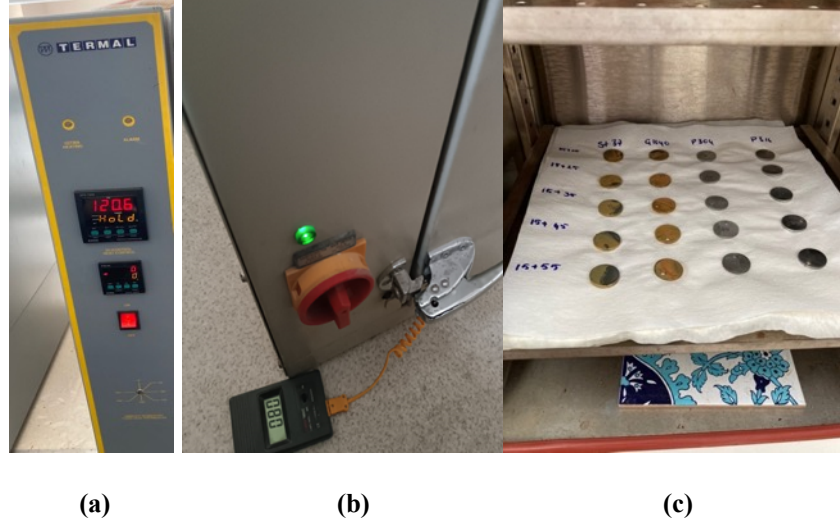
Bu çalışmada hidrofobik / süperhidrofobik yüzey oluşturma amacıyla iki aşamalı (ardışık) ve tek aşamalı (hibrit) olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Ardışık yöntemde metal yüzeyler farklı aşındırıcı kimyasallar ile belirlenen sürelerde ve sabit sıcaklıkta kimyasal aşındırma işlemine tabi tutulmuş, optimum MRR aralıkları elde edildikten sonra yüzeylerde süperhidrofobik yapı oluşturulabilmek için yüzey enerjisi düşük kimyasal çözeltiler ile modifiye edilmiştir. Deneylerde kullanılan modifiye edici kimyasallar ve modifikasyon süreleri Çizelge 3.6 'da verilmiştir.

Hibrit olarak adlandırılan kimyasal işleme yönteminde ise kimyasal aşındırma işlemi devam ederken modifiye edicilerin ilavesi gerçekleştirilerek hem aşınma işlemi hem de modifikasyon işleminin beraber devam etmesi için iki aşamalı işlem birleştirilmiştir. Ön denemelerde hibrit yöntem için temas açısı aralığı 15 dakika olarak tespit edilmiş ve modifikasyon süreleri de bu sürenin üzerine eklenecek şekilde işlem gerçekleştirilmiştir. Modifiye ediciler 1/100 PFDTES (g)/ HF(g), 1/100 CTAB (g)/ HF(g), 1/100 SDS (g)/ HF(g), 1/100 DTAB(g)/ HF(g) çözeltileri olarak hazırlanmıştır. Ardışık yöntemde ise modifikasyon için oda sıcaklığında Hekzan içinde 5 mmol/l STA ve DCC çözeltisi ve süre olarak da 24 saat uygulanmıştır.

Çizelge 3. 6. Reaktif türüne göre kullanılan modifikasyon çözeltileri ve işlem süreleri

Yöntem	Aşındırıcı Kimyasal	İşlem Süresi	Modifikasyon Çözeltisi
Ardışık	HNO ₃	24 saat	Hekzan içinde 5 mmol/l STA- DCC Çözeltisi
	FeCl ₃	24 saat	Hekzan içinde 5 mmol/l STA- DCC Çözeltisi
	Kallings Çözeltisi	24 saat	Hekzan içinde 5 mmol/l STA- DCC Çözeltisi
Hibrit	HF/H ₂ O ₂	15-25-35-45-55 dakika	1/100 PFDTES (g)/ HF(g)
			1/100 CTAB (g)/ HF(g)
			1/100 SDS (g)/ HF(g)
			1/100 DTAB(g)/ HF(g)

Hibrit yöntem ile yapılan işlemlerde AISI 304, AISI 316, St37 ve C1040 numuneler sırasıyla 10 dakika boyunca etanol ve deiyonize su ile ultrasonik olarak yıkanmış, 0,2/1 HF (mol)/H₂O₂ (mol) aşındırıcı çözelti içeren (1.1 ml HF + 0,43 ml H₂O₂ +23,857 ml H₂O) 30 °C'de termostatlı su banyosunda 15 dakika dağlanmış ardından çözeltiye modifikasyon çözeltisi olarak 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) (180 µl PFDTES+ 22 ml HF) eklenmiş ve reaksiyon sırasıyla 15-25-35-45-55 dakika daha devam etmiştir. İkinci etapta 1/100 CTAB (g)/ HF(g) (25g CTAB+ 22 ml HF) çözeltisi, üçüncü etapta 1/100 SDS (g)/ HF(g) (25g CTAB+ 22 ml HF) çözeltisi, dördüncü etapta 1/100 DTAB (g)/ HF(g) (25g CTAB+ 22 ml HF) çözeltisi eklenerek aynı işlemler tekrar edilmiştir. Son olarak numuneler deiyonize su ile yıkanarak numune yüzeyinde kalabilecek sıvı ve nemin uzaklaştırılması için 120 °C'de 45 dakika kurutulmuştur.



Şekil 3. 7. Kurutma işlemi (a) Etüv b) Etüv içi sıcaklık ölçümü (c) Kurutma işlemi



Şekil 3. 8. Deney aşamaları görüntüleri

3.2.5. Ölçüm ve Karakterizasyon

3.2.5.1. Kütle Ölçümleri

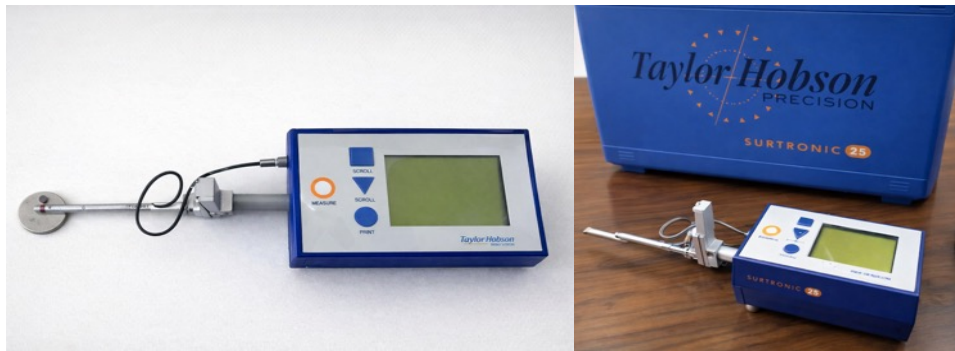
Reaktiflerin MRR değerleri kütle kaybına göre g/dk cinsinden belirlenmiştir. MRR hesaplanabilmesi için kimyasal aşındırma işleminden önce ve sonra numune kütleleri Mettler Toledo marka (1/10000 g hassasiyet) ile n=3 tekrar ile ölçülmüştür.



Şekil 3.8. Hassas terazi

3.2.5.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Numunelerin yüzey pürüzlülüklerindeki değişimin belirlenmesi için kimyasal işlem öncesinde ve sonrasında yüzey pürüzlülükleri μm cinsinden n=3 tekrar ile ölçülmüştür. Ölçümlerde Ra (Ortalama mutlak pürüzlülük değeri) parametresi kullanılmıştır. Sabit bir zemin üzerinde yapılan ölçümlerde Şekil 3.5'te verilen Taylor Hobson Precision markasının Surtronic 25 model yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

3.2.5.3. Temas Açısı Ölçümleri

Kimyasal işleme ve modifikasyon sonrasında numunelerin yüzey temas açısı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçümler Attension ThetaLite marka optik temas açısı ölçüm cihazı kullanılarak durgun damla (sessile drop) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında dispenser kontrollü hipodermik bir şırınga yardımıyla her bir numune yüzeyinin üç farklı noktasına hacmi 3–7 µl arasında değişen saf su damlatılmıştır. Damlaların görüntüleri kaydedilmiş ve temas açısı değerleri bu görüntüler üzerinden analiz edilerek belirlenmiştir. Şekil 3.7.'de deneylerde kullanılan temas açısı ölçüm cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3. 10. Temas açısı ölçüm cihazı

3.2.5.4. Yüzey Görüntüleme İşlemleri

AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik numunelerine PFDTES, CTAB, SDS ve DTAB olmak üzere dört farklı yüzey modifiye edici uygulanmış olup, her numune iki yüzey bölgesine (A ve B) sahip olacak şekilde toplam sekiz yüzey incelenmiştir. Numunelere süperhidrofobik özellik kazandıran modifiye edicilerin oluşturduğu mikro/nano ölçekli topografik yapılarda flor içeren modifiye edicilerin yüzeye adsorpsiyonunun belirlenmesi amacıyla yapılan SEM ve Enerji Dağılımlı Spektroskopi (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS) yüzey görüntüleme işlemleri yapılmıştır.

SEM incelemeleri yüksek vakum koşullarında gerçekleştirilmiş, her numunenin A ve B bölgeleri teknik tekrar niteliğinde değerlendirilmiştir. Literatürde süperhidrofobik yüzey karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan çok ölçekli inceleme yaklaşımına uygun olarak, her yüzey için aşağıdaki dört büyütme seviyesi uygulanmıştır:

- x500: Genel yüzey morfolojisinin değerlendirilmesi
- x1000: Genel yüzey morfolojisinin değerlendirilmesi
- x2500: Mikro yapı oluşumlarının gözlenmesi
- x 5000: Nano ölçekli yapıların ve modifiye edici tabakanın incelenmesi

EDS analizleri, süperhidrofobik ve hidrofobik davranış gösteren modifiye edicilere sahip yüzeylerde modifiye edici grupların yüzeye adsorbe olup olmadığını belirlemek için uygulanmıştır. EDS ölçümleri süperhidrofobik davranış gösteren PFDTES ile kontrol niteliğinde olan CTAB, SDS ve DTAB modifiye edicilerin kullanıldığı yüzeylerde gerçekleştirilmiştir. Seçilen her yüzeyde üç farklı noktadan EDS spektrumu alınmış ve elementlerin lokal varlığını ve nicel seviyesini belirlemek amacıyla Fe, Cr, Ni, O, F elementleri ölçülmüştür. Elementlerin yüzeydeki konumsal dağılımının belirlenebilmesi için her yüzeyde element haritalama yapılmıştır.



Şekil 3. 11. SEM ve EDS analizleri

3.2.6. Dayanım Testleri

Tüm dayanım testleri süperhidrofobik özellik kazandırılmış 304 ve 316 numuneler üzerinde yürütülmüştür. Kimyasal testlerde kullanılan sulu çözeltiler için analitik saflıkta NaCl, NaOH ve HCl kullanılmış, çözeltiler deiyonize su ile hazırlanmıştır. Kimyasal dayanım testlerinde pH 3 (asidik), pH 11 (bazik) ve %3,5 (kütlece) NaCl çözeltileri kullanılmıştır. Daldırma testlerinin tasarımında, laboratuvar daldırma korozyon deneyleri için kılavuz niteliğindeki ASTM G31 (ASTM International, 2021) ile alternatif tuzlu çözelti daldırma deneyini tanımlayan TS EN ISO 11130 (Türk Standartları Enstitüsü [TSE], 2018) dikkate alınmıştır.

Isıl testler için 200 °C'ye kadar çalışabilen havalı etüv, düşük sıcaklık deneyleri için ise -20 °C'ye kadar çalışan derin dondurucu kullanılmıştır. Islanabilirlik ölçümleri optik temas açısı ölçer ile gerçekleştirilmiş ve ASTM D7334 standardında belirtilen yaklaşım esas alınarak belirlenmiştir (ASTM International, 2022). Her test koşulu için iki adet AISI 304 ve iki adet AISI 316 numune kullanılmıştır.

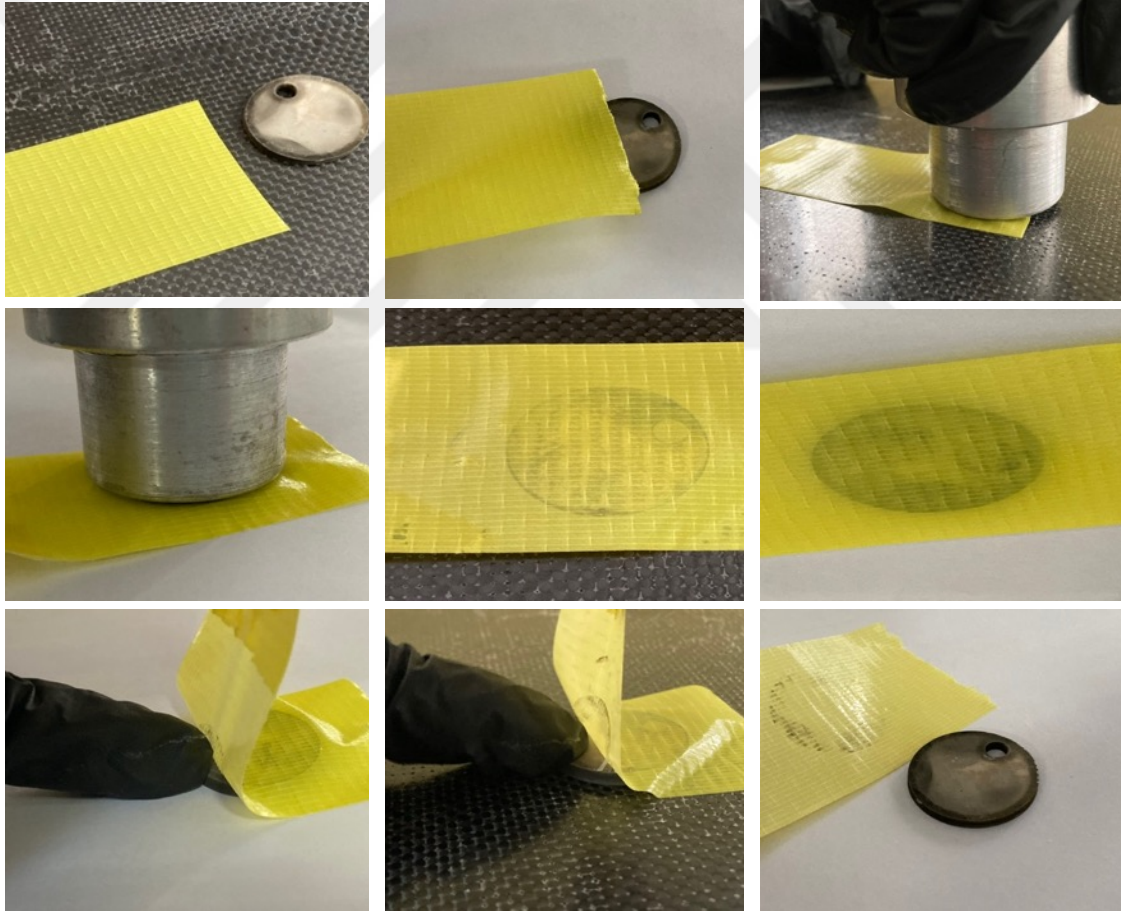
Tüm numunelerin statik temas açısı ölçümleri kimyasal aşındırma işlemleri öncesinde gerçekleştirilmiştir. Her numune üzerinde en az 3 farklı noktadan ölçüm alınmış ve aritmetik ortalama değerler raporlanmıştır. Ölçümler ASTM D7334 standardında verilen ıslanabilirlik değerlendirme prensipleri dikkate alınarak yürütülmüştür (ASTM International, 2022).

3.2.6.1. Mekanik dayanım testleri

Bant (tape) testi

Kaplamanın mekanik dayanımını ve bant ile soyulmaya karşı direncini belirlemek amacıyla, yapışma değerlendirme yöntemleri için yaygın olarak kullanılan ASTM D3359 standardı (ASTM International, 2023) ile çapraz kesme deneyini tanımlayan TS EN ISO 2409 standardı (TSE, 2013) referans alınarak bant testi uygulanmıştır. Bu amaçla, çelik yüzeye yapışması yaklaşık 33–44 N/100 mm olan, şeffaf, basınca duyarlı bir bant kullanılmıştır. Bant tipinin seçiminde üretici tarafından beyan edilen çeliğe yapışma değerleri ve literatürde önerilen bant sınıfları dikkate alınmıştır.

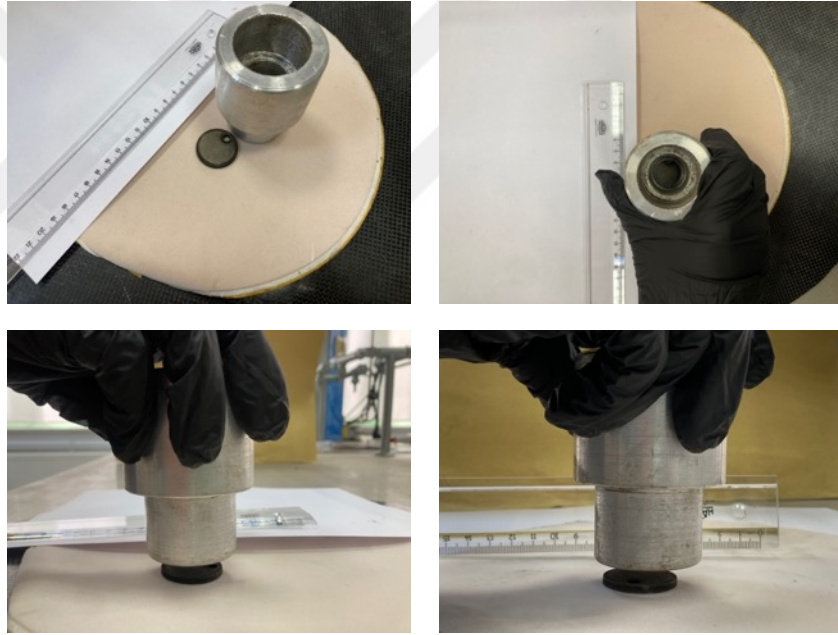
Test öncesinde numune yüzeyi etanol ile hafifçe silinerek temizlenmiştir. Her numune için bant, numune yüzeyinin orta bölgesine uygulanmıştır. Banttan yaklaşık 10–15 cm uzunluğunda bir parça kesilmiş, süperhidrofobik yüzeye yerleştirildikten sonra parmakla bastırılmış ve ardından bant üzerinde birkaç kez düz, sert bir cisim gezdirilerek homojen temas sağlanmıştır. Uygulamadan 60 saniye sonra, bant ucu 90°'ye yakın bir açıyla, tek hamlede ve sabit hızda çekilmiştir (ASTM D3359'a uygun şekilde). Her numune üzerinde üç farklı bölgede bant uygulaması yapılmış, bant ve yüzeyde kaplama soyulması, yer yer ada şeklinde kalkma veya çıplak metalin açığa çıkması olup olmadığı optik olarak incelenmiştir. Bant testi öncesi ve sonrası için STA değerleri ölçülerek bant uygulamasının süperhidrofobik özellik üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.



şekil 3. 12. Bant testi uygulama aşamaları

Mekanik aşındırma testi

Kaplamanın aşınmaya karşı dayanımını belirlemek için lineer aşındırma testi uygulanmıştır. Deney, boyalar ve vernikler için aşınma mukavemeti tayininde kullanılan TS EN ISO 7784-3 standardında tarif edilen doğrusal aşındırma prensiplerine benzer şekilde tasarlanmıştır (TSE, 2017). Bu amaçla keçe kâğıdı kullanılmıştır. Numune, kaplanmış yüzeyi keçe kâğıdına temas edecek şekilde yerleştirilmiş ve üzerine toplam 300 g'lık bir yük uygulanmıştır. Numune, yaklaşık 10 cm ileri ve 10 cm geri olacak şekilde lineer olarak hareket ettirilmiş, her gidiş-dönüş çiftine karşılık gelen toplam aşındırma mesafesi kaydedilmiştir. Her numune için öncesi ve sonrasında temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Aynı işlem AISI 304 ve AISI 316 numuneler için ayrı ayrı uygulanmıştır.



Şekil 3. 13. Aşındırma testi uygulama aşamaları

3.2.6.2. Kimyasal dayanım testleri

Asidik ve bazik ortam daldırma testleri

Kaplamanın asidik ve bazik ortamlara karşı stabilitesini değerlendirmek için pH 3 ve pH 11 sulu çözeltiler hazırlanmıştır. pH 3 çözeltisi 0,1 M HCl ile, pH 11 çözeltisi ise

0,1 M NaOH ile hazırlanmıştır. Tüm daldırma çalışmaları oda sıcaklığında (25 ± 2 °C) yürütülmüştür. Daldırma deneylerinde numune hazırlanması, çözelti bileşimi, sıcaklık kontrolü ve süre tayini konusunda rehberlik sağlayan ASTM G31 standardı (ASTM International, 2021) ile tuzlu çözeltilerde alternatif daldırma yaklaşımını tanımlayan TS EN ISO 11130 (TSE, 2018) dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu standartlar doğrudan pH 3/pH 11 değerlerini tanımlamamakla birlikte, daldırma deneylerinin tasarımında referans alınmıştır.

Her pH değeri için iki AISI 304 ve iki AISI 316 numune kullanılmıştır. Numuneler dikey pozisyonda, tamamı çözelti içerisinde kalacak şekilde askıya alınmış ve 60 dakikalık daldırma sürelerine tabi tutulmuştur. Belirlenen süre sonunda numuneler çözeltilerden çıkarılmış, deiyonize su ile durulanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutma sonrası her numune için STA değerleri tekrar ölçülmüş, kaplamanın süperhidrofobik özelliğindeki değişim zamana ve pH'a bağlı olarak değerlendirilmiştir.

%3,5 NaCl daldırma testi

Nötr tuz ortamında korozyon ve ıslanabilirlik dayanımını değerlendirmek amacıyla, kütlece %3,5 NaCl çözeltisi kullanılmıştır. Çözelti, doğal deniz suyu koşullarını temsil etmek için 35 g/L NaCl içerecek şekilde hazırlanmıştır. Testler, laboratuvar daldırma korozyon deneyleri için ASTM G31 (ASTM International, 2021) ve tuzlu çözeltilerde alternatif daldırma yöntemi için TS EN ISO 11130 (TSE, 2018) standartlarında verilen prensiplere uygun olacak şekilde yürütülmüştür.

Her alaşım için iki numune, tamamen %3,5 NaCl içerisine daldırılmış ve oda sıcaklığında 2 saat bekletilmiştir. Süre sonunda numuneler deiyonize su ile durulanmış, oda sıcaklığında kurutulmuş ve sonrasında STA ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yüzeyde korozyon ürünü oluşumu, lekelenme veya kaplama hasarı olup olmadığı görsel olarak değerlendirilmiştir (ASTM G31'de tanımlanan kütle kaybı esaslı yaklaşım kullanılarak).



Şekil 3. 14. Kimyasal dayanım testleri

3.2.6.3. Isıl dayanım testleri

Yüksek sıcaklık testi (200 °C)

Kaplamanın 200 °C seviyesindeki sıcaklığa dayanımını belirlemek amacıyla, yüksek sıcaklıkta servis gören kaplamaların değerlendirilmesine yönelik ASTM D2485 standardında (ASTM International, 2018) tarif edilen yaklaşım referans alınarak modifiye bir ısı dayanım testi uygulanmıştır.

Her alaşım için iki numune olmak üzere toplam dört numune 200 °C'ye ayarlanmış havalı etüve yerleştirilmiş ve 2 saat bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Isıl işlem öncesinde ve sonrasında numunelerin STA değerleri ölçülmüş, yüzey temas açılarındaki değişim belirlenmiştir.

Düşük sıcaklık ve termal döngü testi (–20 °C)

Süperhidrofobik yüzeylerin düşük sıcaklık ve termal şok koşullarına karşı stabilitesini değerlendirmek amacıyla –20 °C'de termal döngü testi uygulanmıştır. Her alaşım için iki numune, plastik bir kap içinde derin dondurucuya yerleştirilmiş ve –20 °C'de 1 saat bekletilmiştir. Süre sonunda numuneler dondurucudan çıkarılarak oda sıcaklığında yaklaşık 30 dakika bekletilmiş, ardından tekrar –20 °C'ye alınarak ikinci 1 saatlik döngü uygulanmıştır.

Toplam iki soğutma ve bir ısınma döngüsünün tamamlanmasının ardından numuneler oda sıcaklığında stabilize edilmiş ve STA ölçümleri tekrarlanmıştır. Termal döngü sonrası yüzeylerde çatlama, soyulma veya renk değişimi olup olmadığı görsel olarak değerlendirilmiştir. Bu test, belirli bir TS EN ISO standardına doğrudan bağlı olmaksızın, literatürde süperhidrofobik kaplamaların termal şok dayanımını değerlendirmek için kullanılan düşük sıcaklık/oda sıcaklığı çevrimlerine benzer şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3. 15. Isıl dayanım testleri

BÖLÜM 4

DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Optimizasyon Çalışmaları Bulguları ve Değerlendirilmesi

Bu çalışmada gerçekleştirilen optimizasyon deneyleri, farklı kimyasal aşındırıcılar ve yüzey modifikasyon ajanları kullanılarak metal yüzeylerde kontrollü çözünme ve hedeflenen yüzey fonksiyonelliğinin elde edilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda HNO_3 , $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ karışımı, FeCl_3 , HCl , Kallings çözeltisi ve $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}_2$ sistemleri gibi farklı aşındırıcı ortamlar kullanılarak AISI 304, AISI 316, C1040 ve St37 çeliklerinin kimyasal çözünme davranışları incelenmiştir. Ayrıca, yüzey aktif madde katkılı ve modifikasyon destekli işlemler kapsamında CTAB, SDS ve PFDTES gibi bileşiklerin, aşındırma kinetiği, MRR, yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Optimizasyon sürecinde temel yaklaşım, en yüksek MRR değerlerine ulaşmaktan ziyade, aşırı dağlamadan kaçınılarak pasivasyon–aktif çözünme dengesinin kontrol altına alındığı, tekrarlanabilir ve homojen yüzey morfolojilerinin elde edilmesi olmuştur. Bu bölümde, kullanılan farklı reaktiflerin ve işlem parametrelerinin metal türüne bağlı etkileri karşılaştırmalı olarak tartışılarak, süperhidrofobik yüzey üretimi açısından en uygun işlem parametreleri ortaya konulmuştur.

HNO_3 çözeltisinin dağlayıcı reaktif olarak kullanıldığı çalışmalarda literatüre uygun olarak numuneler farklı konsantrasyonlarda HNO_3 temelli aşındırıcı çözelti ile kimyasal olarak dağlanmış ve ardından modifiye edilmiştir. Uygulanan kimyasal dağlama, yüzeyde mikro-ve nano ölçekli pürüzlülük kazandırmayı ve yüzeyin ıslanma

özelliğini kontrol edilebilir hâle getirmeyi amaçlamaktadır (Wang ve diğerleri, 2008). Deneylerde farklı HNO_3 molariteleri ile ön çalışmalar yürütülmüş, aşındırıcı çözeltiye CTAB ve H_2O_2 ilave edilerek reaktif bileşiminin ve molarite artışının MRR, Ra ve temas açısına etkileri incelenmiştir (Pan ve diğerleri, 2010b). Son olarak işlem süresi değiştirilerek zamanın etkisi incelenmiştir. Ön çalışma sonuçları, karbon çeliklerinde $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ çözeltisinin 3–7 dakika arasında kontrollü mikro-pürüzlenme sağladığını göstermiştir. Bu nedenle bu aşındırıcı için en düşük süre olarak 5dk ve yüzeyin tamamen bozunduğu 35 dk süreleri alt ve üst sınır olarak seçilmiştir.

FeCl_3 metal yüzeyinde kontrollü aşınma sağlama ve çözünmüş metal iyonlarını taşıyabilmesi nedeniyle kimyasal aşındırma uygulamalarında kullanılmaktadır. El-Awadi ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, FeCl_3 çözeltisinin paslanmaz çelik, alüminyum ve bakır levhalarda yüzey pürüzlülüğü ve MRR üzerindeki etkileri incelenmiş ve derişimin MRR'ı yükselttiği, işlem süresinin ise en belirleyici parametre olduğu rapor edilmiştir. Benzer şekilde İbrahim ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada da FeCl_3 'ün paslanmaz çeliklerde düşük MRR değerleri oluşturduğu, buna karşılık alüminyum ve bakır gibi metallerde çözünmenin daha hızlı gerçekleştiği ortaya konmuştur (Abd, Fattah El-Awadi, Enab, Abdel-Samad ve Elhalwany, t.Dk.; İbrahim, Abdulwahhab ve Shabeeb, 2021). FeCl_3 çözeltisinin kullanıldığı çalışmalarda farklı FeCl_3 derişimleri ve H_2O miktarları ile AISI 304 ve AISI 316 numunelerin MRR değerleri incelenmiş, böylece aşındırma hızına en fazla etki eden parametreler belirlenmiştir. Daha sonra, yüzey enerjisini iyileştirmek amacıyla çözeltiye yüzey aktif madde CTAB eklenmiş, işlem süreleri kademeli olarak artırılarak Ra ve temas açısı derişimleri izlenmiştir. Son aşamada HNO_3 ilavesinin etkisi değerlendirilmiş, FeCl_3 'ün aşındırma hızını dengeleyerek yüzeyi yeniden pasifleştirdiği görülmüştür. Çalışmalarda FeCl_3 derişimi, süre ve katkı maddesi oranları optimize edilerek, paslanmaz çelik yüzeylerde kontrollü mikro-pürüzlendirme ve yüksek temas açılı hidrofobik yüzey oluşumu için uygun koşullar belirlenmiştir.

HCl çözeltisinin kullanıldığı optimizasyon çalışmalarında farklı sürelerde uygulanan işlem boyunca malzemelerde anlamlı bir kütle kaybı, yüzey morfolojisinde belirgin bir derişim veya modifikasyon davranışı gözlenmemiş, sadece C1040 numunelerde ihmal edilebilir düzeyde aşınma ölçülmüştür. Bu bulgular, HCl temelli yüzey işleminin çalışılan koşullarda bu malzemelerde reaktif olarak kullanılmasının

sınırlı fayda sunduğunu ve alternatif kimyasal reaktifler ile farklı modifikasyon çözeltilerinin değerlendirilmesinin gerekli olduğunu ortaya koymaktadır.

Kallings çözeltisinin aşındırıcı olarak kullanıldığı araştırmalarda çözeltinin FeCl_3 çözeltisinde olduğu gibi dengeli ve kontrollü bir çözünme sağladığı tespit edilmiştir (Cheraghali ve Aberoomand, 2016). Kallings çözeltisi ile yapılan optimizasyon çalışmalarında farklı işlem süreleri ve modifikasyon çözeltileri ile ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Optimum 3 koşul belirlenerek parametrik deneyler için ön hazırlıklar tamamlanmıştır.

HF ve H_2O_2 çözeltilerinin reaktif olarak kullanıldığı çalışmalarda aşındırıcı çözeltiye nano- SiO_2 (%1,76) ilavesi, kimyasal işleme süresi, aşındırıcı ve modifiye edici çözelti molaritelerinin etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda nano- SiO_2 ilavesinin kullanılan çelik çeşitlerinde kontrollü yüzey aşındırma için uygun olmadığı tespit edilmiştir.

HF ve H_2O_2 çözeltilerinin reaktif olarak kullanıldığı çalışmalarda kimyasal işleme süresi, aşındırıcı ve modifiye edici çözelti molaritelerinin belirlenmesi amacıyla 176 ön deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerde modifiye edici çözelti olarak belirlenen anyonik, katyonik ve noniyonik yüzey aktif maddelerle çalışılarak hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeyler elde edilmiştir (Y. Chen ve diğerleri, 2022b; Zongbo Zhang ve diğerleri, 2020). Bu çalışmalar sonucunda parametrik çalışmalar için işlem süreleri ve çözelti konsantrasyonları belirlenmiştir. MRR'nin çok yüksek olduğu koşullar yüzey bütünlüğünü bozduğu için elenmiştir, temas açısı $<90^\circ$ olan koşullar hidrofobik modifikasyon için yetersiz sayılmıştır. Dayanım testleri için bu şartlarda hazırlanan numuneler kullanılmıştır.

4.2. Farklı Kimyasal Aşındırıcılar ve İşlem Parametrelerinin MRR Üzerine Etkisi

Bu bölümde, farklı kimyasal aşındırıcılar ve işlem parametrelerinin çelik yüzeylerde MRR üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, maksimum malzeme uzaklaştırma hızının elde edilmesinden ziyade, yüzey pürüzlülüğünün kontrollü, tekrarlanabilir ve öngörülebilir biçimde değiştirilebildiği bir MRR aralığının belirlenmesidir. Bu doğrultuda, aşındırıcı türü, çözelti derişimi ve işlem süresi birlikte değerlendirilerek, yüzey kontrolünün sağlanabildiği aşındırma koşulları analiz edilmiştir.

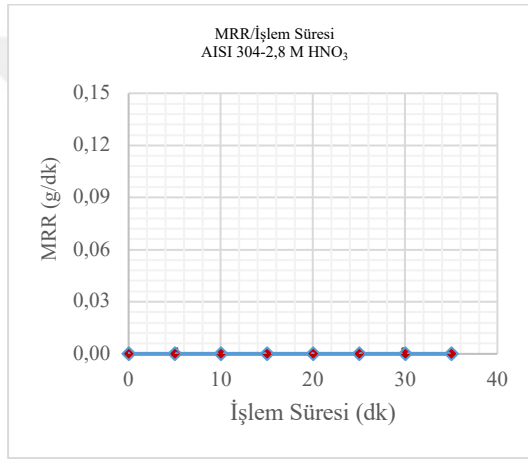
Çelik alaşımlarında ve paslanmaz çeliklerin kimyasal olarak işlenmesinde kullanılan reaktif türleri ve çözelti derişimleri içerisinde zamana bağı olarak farklı çelik yüzeylerin aşınma hızlarının belirlenmesinde ilk olarak 2,8 M HNO₃ çözeltisi kullanılmıştır. C1040 ve St37 numunelerinde belirgin bir kütle kaybı ve dolayısıyla ölçülebilir MRR değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.1c–d). C1040 çeliğinde, özellikle ilk 5 dakikalık işlem süresinde MRR değerinin yaklaşık 0,14 g/dk seviyesine ulaşması, başlangıçta pasif film oluşumunun gerçekleşmediğini ve metalin aktif çözünme rejiminde davrandığını göstermektedir. İlerleyen sürelerde MRR değerlerinde dalgalı ancak genel olarak daha düşük seviyelerde bir değişim gözlenmiş, bu durum yüzeyde kısmi ürün birikimi veya reaksiyon kinetiğinin zamanla sınırlanmasıyla ilişkilendirilmiştir. Wang ve arkadaşlarının karbon çeliği ve alüminyum yüzeylerde yaptıkları çalışmada da benzer sonuçlar görülmüş olup bu sonuç, pasif film oluşumunun gerçekleşmediğini ve malzemenin aktif olarak çözündüğünü göstermektedir (Wang, Zhang, Qu, Zhang ve He, 2008b). St37 çeliği için elde edilen MRR değerleri C1040’a kıyasla daha düşük olup, 0,06–0,09 g/dk aralığında değişmektedir. Bu durum, iki karbon çeliği arasındaki kimyasal bileşim ve mikro yapı farklılıklarının aşındırma kinetiğini etkilediğini göstermektedir. Her iki karbon çeliğinde de işlem süresi arttıkça MRR değerlerinde belirgin bir doğrusal artış gözlenmemesi, aşındırma sürecinin yalnızca süreye değil, aynı zamanda yüzeyde oluşan reaksiyon ürünlerine ve lokal çözünme mekanizmalarına da bağı olduğunu ortaya koymaktadır.

AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik numune yüzeylerinde ise ölçülebilir düzeyde kütle kaybı saptanmamıştır (Şekil 4.1.a-b). Bu durum, paslanmaz çelik yüzeylerinde nitrik asit ortamında kararlı bir pasif oksit tabakasının oluştuğunu ve metal çözünmesinin baskılandığını göstermektedir.

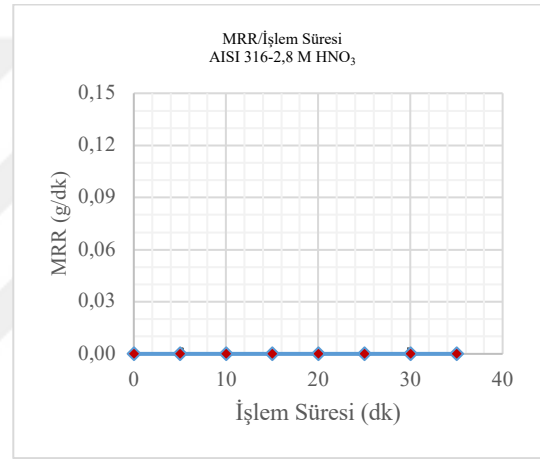
Elde edilen bu sonuçlar, paslanmaz çeliklerin oksitleyici asit ortamlarındaki yüksek korozyon dirençleriyle uyumludur. HNO₃ ile kimyasal aşındırma işleminde paslanmaz çelikler yüksek korozyon direnci sergilerken, karbon çeliklerinin aktif olarak çözündüğü gözlenmiştir. Bu sonuçlar, paslanmaz ve karbon çeliklerin klasik korozyon davranışıyla uyum içerisinde. Değerler Şekil 4.1.’de grafik olarak gösterilmektedir.

Çizelge 4. 1. Farklı çeliklerde 2,8 M HNO_3 çözeltisi ile kimyasal işlem süresinin MRR üzerine etkisi

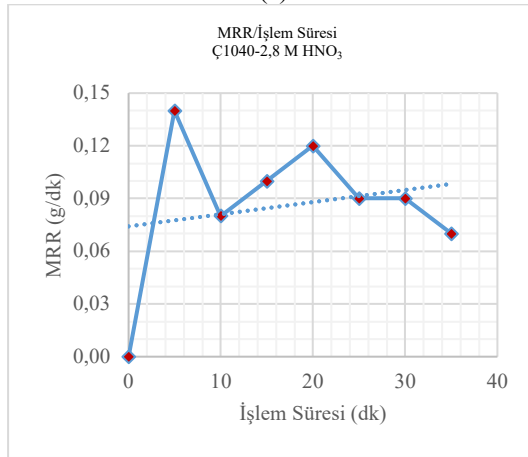
İşlem Süresi (dk)	2,8 M HNO_3											
	İşlem Öncesi Kütle m_i (g)				İşlem Sonrası Kütle m_f (g)				MRR (g/dk)			
	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37
5	15,015	13,211	16,883	14,278	15,015	13,211	16,196	13,854	0,000	0,000	0,140	0,090
10	15,015	13,211	16,197	13,853	15,015	13,211	15,798	13,472	0,000	0,000	0,080	0,080
15	15,015	13,211	15,798	13,472	15,015	13,211	15,296	13,032	0,000	0,000	0,100	0,090
20	15,015	13,211	15,296	13,031	15,015	13,211	14,690	12,755	0,000	0,000	0,120	0,060
25	15,015	13,211	14,691	12,755	15,015	13,211	14,258	12,468	0,000	0,000	0,090	0,060
30	15,015	13,211	14,258	12,468	15,015	13,211	13,786	12,019	0,000	0,000	0,090	0,090
35	15,015	13,211	13,786	12,019	15,015	13,211	13,414	11,698	0,000	0,000	0,070	0,060



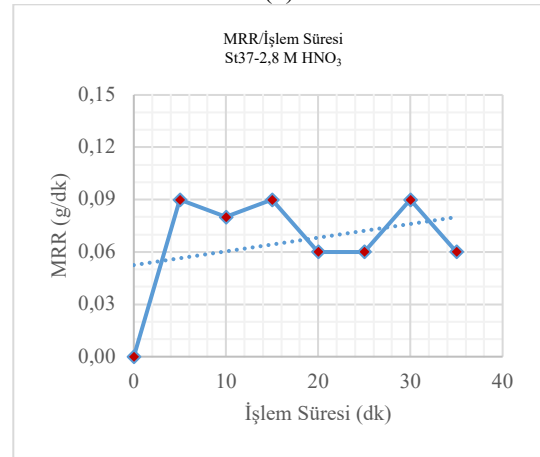
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4. 1. Farklı çeliklerde 2,8 M HNO_3 çözeltisi ile kimyasal işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

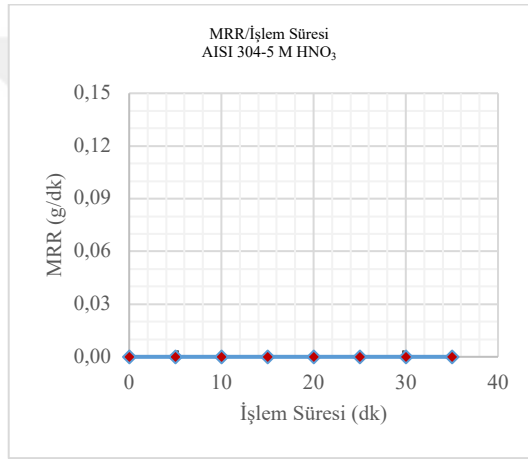
2,8 M HNO₃ çözeltisi ile elde edilen sonuçların ardından, nitrik asit derişiminin artışının aşınma hızı üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla deneyler 5 M HNO₃ çözeltisi kullanılarak tekrarlanmıştır. AISI 304, AISI 316, C1040 ve St37 çeliklerinde, 5 M HNO₃ çözeltisi ile oda sıcaklığında gerçekleştirilen kimyasal işlemlerde işlem süresinin malzeme uzaklaştırma hızı (MRR) üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, C1040 ve St37 çelik yüzeylerinde aşınma hızının sırasıyla 0,09–0,14 g/dk ve 0,05–0,07 g/dk aralıklarında değiştiği tespit edilmiştir. Özellikle C1040 numunelerinde, işlem süresinin ilk 10 dakikasında yüksek çözünme hızının meydana geldiği gözlemlenmiştir. Buna karşılık, AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik numunelerinde tüm işlem süreleri boyunca ölçülebilir düzeyde bir kütle kaybı saptanmamıştır.

Wang ve arkadaşlarının çelik yüzeyler üzerinde benzer nitrik asit derişimleri kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada da benzer eğilimler rapor edilmiş olup, bu durum paslanmaz çeliklerde pasif film oluşumunun kararlılığını ve karbon çeliklerinde aktif çözünme davranışını doğrulamaktadır (Wang ve diğerleri, 2008b). 5 M HNO₃ çözeltisi, paslanmaz çeliklerde belirgin bir pasifleştirici etki gösterirken, karbon çeliklerinde daha kuvvetli bir koroziif etki sergilemiştir. Nitrik asit derişiminin 2,8 M’den 5 M’ye yükseltilmesiyle birlikte, karbon çeliklerinde MRR değerlerinin arttığı; buna karşın paslanmaz çeliklerin her iki derişimde de tamamen pasif kaldığı belirlenmiştir. Bu bulgu, nitrik asidin paslanmaz çelikler için pasifleştirici, karbon çelikler için ise koroziif karaktere sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Elde edilen MRR değerleri Şekil 4.2’de grafiksel olarak sunulmuştur.

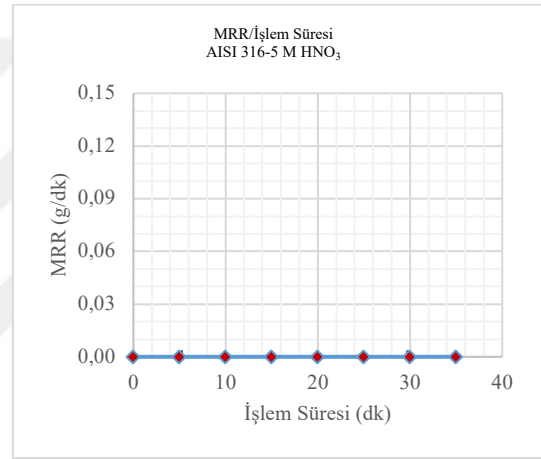
Bu çalışmada amaç, maksimum aşınma hızının elde edilmesinden ziyade, yüzey pürüzlülüğünün kontrollü ve tekrarlanabilir biçimde değiştirilebildiği bir MRR aralığının belirlenmesidir. Bu nedenle, özellikle yüksek MRR değerlerinin gözlemlendiği agresif aşındırma koşulları yerine, yüzey kontrolünün sağlanabildiği ve pürüzlülüğün hedeflenen aralıkta tutulabildiği parametreler tercih edilecektir.

Çizelge 4. 2. Farklı çeliklerde 5 M HNO₃ çözeltisi ile kimyasal işlem süresinin MRR üzerine etkisi

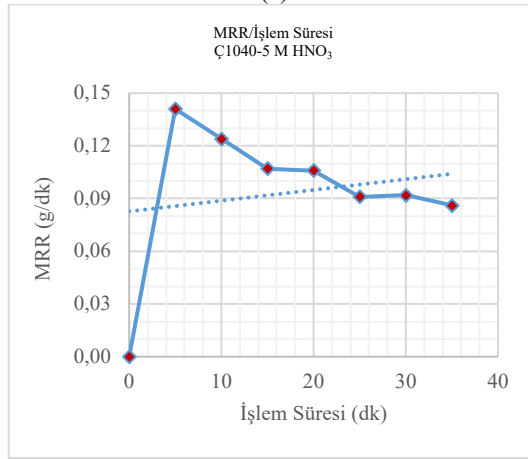
İşlem Süresi (dk)	5 M HNO ₃											
	İşlem Öncesi Kütle <i>mi</i> (g)				İşlem Sonrası Kütle <i>mf</i> (g)				MRR (g/dk)			
	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37
5	15,032	13,233	15,957	14,221	15,031	13,233	15,254	13,944	0,000	0,000	0,141	0,055
10	15,031	13,233	15,254	13,944	15,031	13,233	14,635	13,652	0,000	0,000	0,124	0,059
15	15,031	13,233	14,635	13,652	15,031	13,233	14,101	13,372	0,000	0,000	0,107	0,056
20	15,031	13,233	14,101	13,372	15,032	13,232	13,572	13,121	0,000	0,000	0,106	0,050
25	15,032	13,232	13,572	13,121	15,032	13,233	13,118	12,750	0,000	0,000	0,091	0,074
30	15,032	13,233	13,118	12,750	15,031	13,233	12,657	12,431	0,000	0,000	0,092	0,064
35	15,031	13,233	12,657	12,431	15,031	13,233	12,225	12,131	0,000	0,000	0,086	0,060



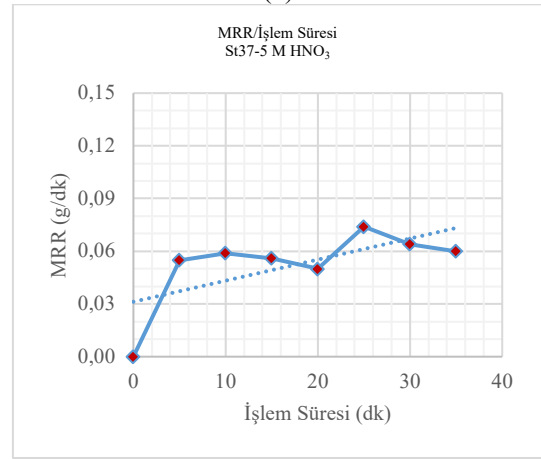
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4. 2. Farklı çeliklerde 5 M HNO₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

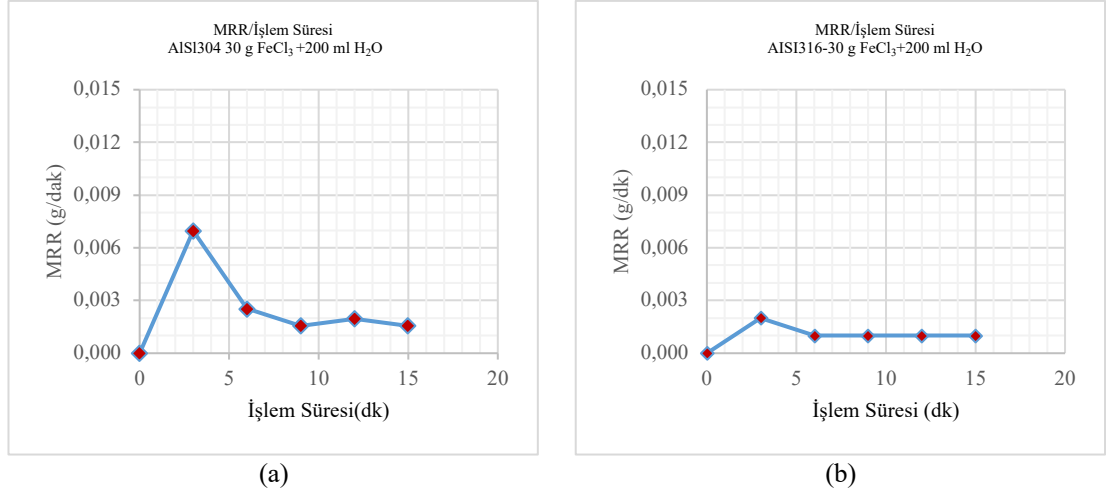
FeCl₃ esaslı çözeltiler, literatürde paslanmaz çeliklerin kimyasal işlenmesi ve yüzey pürüzlülüğünün kontrolü amacıyla yaygın olarak kullanılan aşındırıcı sistemler arasında yer almaktadır (Lampman ve diğerleri, 2004).

Bu çalışmada kullanılan 30 g FeCl₃ + 200 ml H₂O çözeltisi, literatürde kimyasal işleme yönteminde sıklıkla tercih edilen aşındırıcı asitlerden biri olan FeCl₃ esas alınarak seçilmiştir. Deneysel çalışmalarda AISI 304 ve AISI 316 numunelerinde 3–15 dakika süre ile FeCl₃ çözeltisi ile oda sıcaklığında kimyasal işleme yapılarak MRR'ın zamana bağlı değişimi gözlemlenmiştir.

AISI304 ve AISI316 paslanmaz çeliklerinde 30 g FeCl₃+200 ml H₂O çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.3.'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda AISI304 aşınma hızının 0,00 g/dk ile 0.01 g/dk arasında değiştiği, AISI316 kütlesinin işlem süresi boyunca sabit kaldığı tespit edilmiştir. 30 g FeCl₃ + 200 ml H₂O ortamında her iki paslanmaz çelik de pasif davranış sergilemiştir. AISI 304 numunesi ilk dakikalarda çok düşük miktarda malzeme uzaklaştırma göstermiş, daha sonra dengeye ulaşmıştır. El-Awadi ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, FeCl₃ çözeltisinin paslanmaz çelik, alüminyum ve bakır levhalarda yüzey pürüzlülüğü ve MRR üzerindeki etkileri incelenmiş ve derişimin MRR'ı yükselttiği, işlem süresinin ise en belirleyici parametre olduğu rapor edilmiştir. FeCl₃ çözeltisinin paslanmaz çelikler üzerindeki davranışının literatürle karşılaştırmalı olarak incelendiği ve FeCl₃ çözeltisinin değişik konsantrasyonlarda kullandığı ardışık deneylerde FeCl₃ ile kimyasal işleme tabi tutulan AISI304 ve AISI316 paslanmaz çeliklerde düşük fakat kontrol edilebilir MRR değerleri elde edildiği doğrulanmıştır. Değerler Şekil 4.3.'de grafik olarak gösterilmektedir.

Çizelge 4. 3 Farklı paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl₃+200 ml H₂O çözeltisi ile kimyasal işlem süresinin MRR üzerine etkisi

İşlem Süresi (dk)	30 g FeCl ₃ +200 ml H ₂ O					
	İşlem Öncesi Kütlesi (g)		İşlem Sonrası Kütlesi (g)		MRR (g/dk)	
	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316
3	14,986	13,280	14,965	13,274	0,007	0,002
6	14,965	13,274	14,958	13,271	0,003	0,001
9	14,958	13,275	14,953	13,270	0,002	0,001
12	14,960	13,286	14,954	13,280	0,002	0,001
15	14,954	13,287	14,949	13,284	0,002	0,001



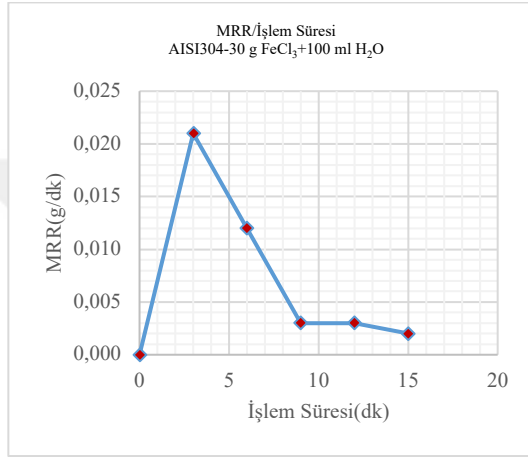
Şekil 4. 3. Farklı paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl_3 +200 ml H_2O çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316

Bir sonraki aşamada derişim arttırılarak MRR değışimi izlenmiştir. AISI304 ve AISI316 paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl_3 +100 ml H_2O çözeltisi ile oda sıcaklığında işlem süresinin MRR üzerine etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.4’te verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda AISI304 ve AISI 316 aşınma hızlarının 0,00-0.02 g/dk ile 0,00-0.01 g/dk aralıklarında değıştiğı tespit edilmiştir. Deneylerde FeCl_3 miktarı sabit tutulup çözücü miktarı 200 ml’den 100 ml’ye düşürüldüğünde, çözelti derişimi artmış ve buna bağılı olarak her iki paslanmaz çelikte de MRR değerlerinde artış gözlenmiştir. Özellikle işlem süresinin ilk 3 dakikasında, AISI 304 çeliğinde MRR değeri 0,007 g/dk’dan 0,021 g/dk’ya, AISI 316 çeliğinde ise 0,002 g/dk’dan 0,014 g/dk’ya yükselmiştir. Bu durum, çözelti derişiminin artmasıyla birlikte Fe^{3+} iyonlarının etkinliğinin artmasına bağılı olarak metal çözünme kinetiğinin hızlandığını göstermektedir.

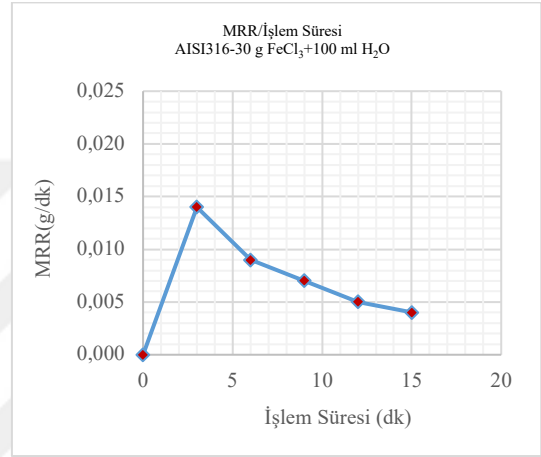
Bununla birlikte, işlem süresinin ilerlemesiyle paslanmaz çelik yüzeylerinde yeniden pasif film oluşumunun başlaması sonucu MRR değerleri giderek azalmıştır. Derişik FeCl_3 çözeltisi kısa süreli işlemlerde daha yüksek MRR değerleri sağlamakla birlikte, bu etkinin işlem süresine bağılı olarak sürdürülemediğı belirlenmiştir. İşlem süresinin ilerlemesiyle MRR değerlerinin azalması ve ölçüm hassasiyeti sınırlarına yaklaşması, paslanmaz çelik yüzeylerinde yeniden pasif film oluşumunun çözünme kinetiğini sınırladığını göstermektedir. Şekil 4.4’te, yüksek FeCl_3 derişiminde MRR’nin kısa süreli bir artış sergilediğı, daha uzun işlem sürelerinde ise her iki paslanmaz çelikte de azaldığı açıkça görülmektedir.

Çizelge 4. 4. AISI304 paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl₃+100 ml H₂O çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi

İşlem Süresi (dk)	30 g FeCl ₃ +100 ml H ₂ O					
	İşlem Öncesi Kütle (ort.) mi (g)		İşlem Sonrası Kütle(ort.) mf (g)		MRR (g/dk)	
	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316
3	14,990	13,235	14,928	13,193	0,021	0,014
6	14,928	13,193	14,932	13,165	-0,001	0,009
9	14,932	13,165	14,922	13,144	0,003	0,007
12	14,922	13,144	14,913	13,129	0,003	0,005
15	14,913	13,129	14,907	13,118	0,002	0,004



(a)



(b)

Şekil 4. 4. Farklı paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl₃ +100 ml H₂O çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316

Çözelti derişiminin paslanmaz çeliklerde MRR üzerindeki etkisini daha ileri düzeyde incelemek amacıyla, FeCl₃ miktarı artırılarak deneyler 40 g FeCl₃ + 100 ml H₂O çözeltisi ile tekrarlanmıştır. AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik yüzeylerinde bu çözelti ile oda sıcaklığında gerçekleştirilen kimyasal işlemlerde işlem süresinin MRR üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.5.'de sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre, AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çeliklerde aşınma hızlarının 0,00–0,01 g/dk aralığında kaldığı tespit edilmiştir. Çözelti derişiminin artmasıyla birlikte işlem süresinin ilk dakikalarında MRR değerlerinde artış gözlenmiş, ancak işlem süresi ilerledikçe paslanmaz çelik yüzeylerinde yeniden pasif film oluşumu nedeniyle MRR değerleri azalma eğilimi göstermiştir.

Her iki paslanmaz çelikte de MRR değerleri yaklaşık 0,011–0,006 g/dk aralığında kalmış ve işlem süresi boyunca düzenli bir azalma eğilimi göstermiştir. Bu davranış,

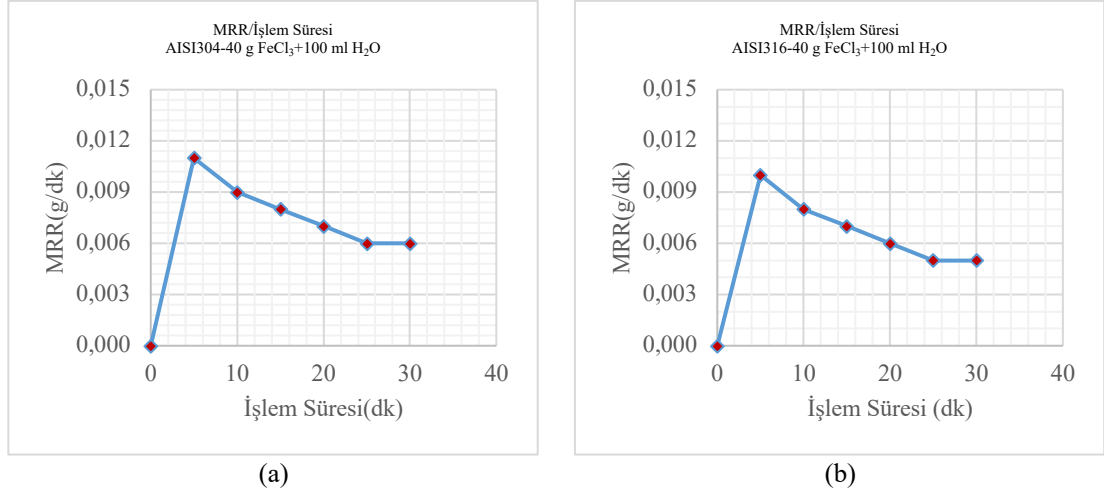
işlem süresinin ilerlemesiyle birlikte yüzeyde pasif film oluşumunun yeniden baskın hale gelmesiyle ilişkilendirilmektedir. Elde edilen MRR değerleri Şekil 4.5.'de grafiksel olarak gösterilmektedir.

$FeCl_3$ derişiminin artırılmasına rağmen MRR değerlerinde kalıcı bir artış gözlenmemesi, paslanmaz çelik yüzeylerinde pasif film oluşumunun yüksek derişimlerde daha hızlı devreye girdiğini göstermektedir. AISI 316 paslanmaz çeliğinde MRR değerlerinin AISI 304'e kıyasla daha düşük seyretmesi, molibden katkısının pasif film kararlılığını artırıcı etkisiyle ilişkilendirilmektedir. Literatürde de rapor edildiği üzere, paslanmaz çeliklerde oksitleyici ortamlarda kısa süreli aktif çözünmenin ardından pasif film oluşumu çözünme hızını belirgin biçimde sınırlandırmaktadır (Revie ve Uhlig, 2008).

Pasif film oluşumu, bu çalışmada doğrudan ölçülmemekle birlikte; işlem süresinin ilerlemesiyle MRR değerlerinin azalması, $FeCl_3$ derişiminin artırılmasına rağmen çözünmenin sınırlı kalması ve AISI 316 paslanmaz çeliğinde AISI 304'e kıyasla daha düşük MRR değerlerinin elde edilmesi gibi deneysel bulgular üzerinden dolaylı olarak doğrulanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, paslanmaz çeliklerde pasivasyon–depasivasyon dengesinin kimyasal işleme davranışını belirlediğini göstermekte olup literatürle uyumludur.

Çizelge 4. 5. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g $FeCl_3$ +100 ml H_2O çözeltisi ile kimyasal işlem süresinin MRR üzerine etkisi

İşlem Süresi (dk)	40 g $FeCl_3$ +100 ml H_2O					
	İşlem Öncesi Kütle (ort.) mi (g)		İşlem Sonrası Kütle(ort.) mf (g)		MRR (g/dk)	
	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316
5	15,045	13,235	14,991	13,183	0,011	0,010
10	14,991	13,183	14,947	13,142	0,009	0,008
15	14,947	13,142	14,905	13,104	0,008	0,007
20	14,905	13,104	14,869	13,075	0,007	0,006
25	14,869	13,075	14,838	13,048	0,006	0,005
30	14,838	13,048	14,809	13,023	0,006	0,005

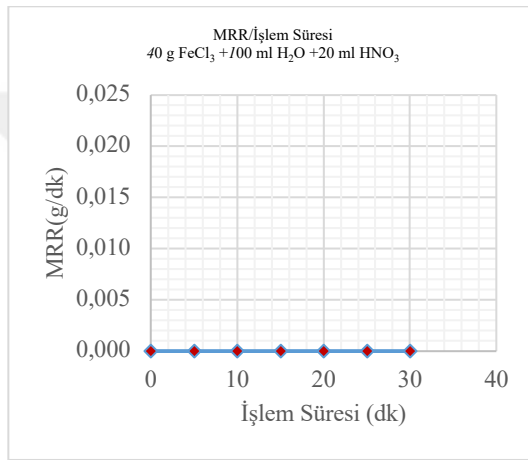


Şekil 4. 5. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g FeCl_3 +100 ml H_2O çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316

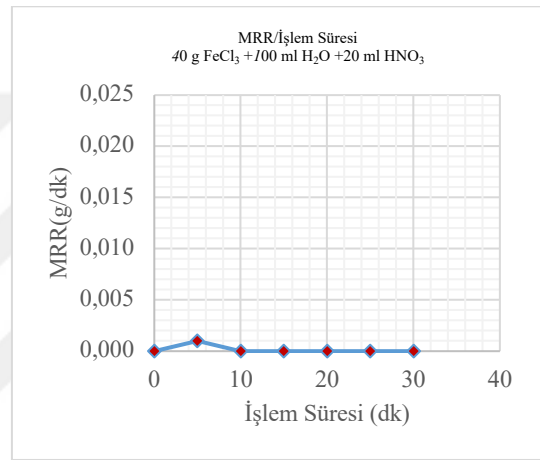
Bu aşamada çözeltiye 20 ml HNO_3 ilavesi yapılmıştır ilavenin amacı; ortamın oksitleyici gücünü artırarak paslanmaz çelik yüzeylerinde pasif film oluşumunun baskılanıp baskılanamayacağını incelemektir. Bu ilave ile FeCl_3 çözeltisinin daha agresif bir kimyasal işleme ortamı oluşturması hedeflenmiştir. Ancak elde edilen sonuçlar, HNO_3 ilavesinin paslanmaz çelik yüzeylerinde çözünmeyi artırmak yerine, oksitleyici karakteri nedeniyle pasif film oluşumunu güçlendirdiğini ve MRR değerlerinin ölçüm hassasiyeti sınırları içerisinde kalmasına neden olduğunu göstermiştir. Bu durum, nitrik asidin paslanmaz çelikler üzerindeki bilinen pasifleştirici etkisiyle uyumludur. AISI304 ve AISI316 paslanmaz çeliklerde 40 g FeCl_3 +100 ml H_2O +20 ml HNO_3 çözeltisi ile oda sıcaklığında kimyasal işlem süresinin MRR üzerine etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.6. ve Şekil 4.6.'da verilmiştir. AISI304 ve AISI 316 aşınma hızlarının deney süresince sabit kaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde İbrahim ve ark. (2021), Abd ve ark.(2016) tarafından yapılan çalışmalarda da FeCl_3 'ün paslanmaz çeliklerde düşük MRR değerleri oluşturduğu, buna karşılık alüminyum ve bakır gibi metallerde çözünmenin daha hızlı gerçekleştiği ortaya konmuştur (Abd, Fattah El-Awadi, Enab, Abdel-Samad ve Elhalwany, 2016.; İbrahim, Abdulwahhab ve Shabeeb, 2021). Değerler grafik olarak gösterilmektedir.

Çizelge 4. 6. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g + FeCl₃+100 ml H₂O+20 ml HNO₃ çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi

İşlem Süresi (dk)	40 g FeCl ₃ +100 ml H ₂ O+20 ml HNO ₃					
	İşlem Öncesi Kütle (ort.) m _i (g)		İşlem Sonrası Kütle(ort.) m _f (g)		MRR (g/dk)	
	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316
5	14,883	13,296	14,882	13,293	0,000	0,001
10	14,882	13,293	14,882	13,292	0,000	0,000
15	14,882	13,292	14,882	13,292	0,000	0,000
20	14,882	13,292	14,882	13,292	0,000	0,000
25	14,882	13,292	14,882	13,292	0,000	0,000
30	14,882	13,292	14,882	13,292	0,000	0,000



(a)



(b)

Şekil 4. 6. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g FeCl₃ +100 ml H₂O 20 ml HNO₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316

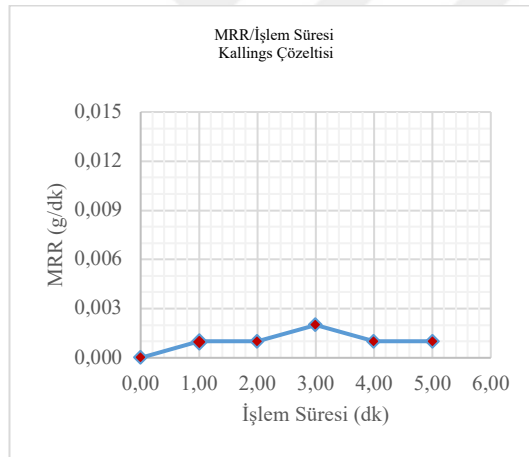
FeCl₃ ve HNO₃ esaslı çözeltilerle gerçekleştirilen deneylerde paslanmaz çelik yüzeylerinde pasivasyonun çözünme davranışı üzerinde belirleyici olduğu gözlemlendiğinden, pasif film etkisini sınırlı süreli olarak zayıflatabilen farklı bir kimyasal ortamın etkisini değerlendirmek amacıyla Kallings çözeltisi kullanılmıştır. Bu çözeltinin, paslanmaz çeliklerde kısa süreli ve kontrollü bir çözünme sağlaması beklenmiş ve böylece pasivasyon–depasivasyon dengesinin MRR üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

AISI304 ve AISI316 paslanmaz çelik yüzeylerde Kallings Çözeltisi ile 0-5 dakika oda sıcaklığında kimyasal işlem süresinin MRR üzerine etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.7.'de verilmiştir. AISI304 aşınma hızının 0,001 g/dk ile 0,012 g/dk arasında, AISI 316 aşınma hızının 0,000 g/dk ile 0,001 g/dk arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kallings çözeltisi ile yapılan çalışmada MRR değerlerinde anlamlı bir değişiklik tespit edilmemiştir,

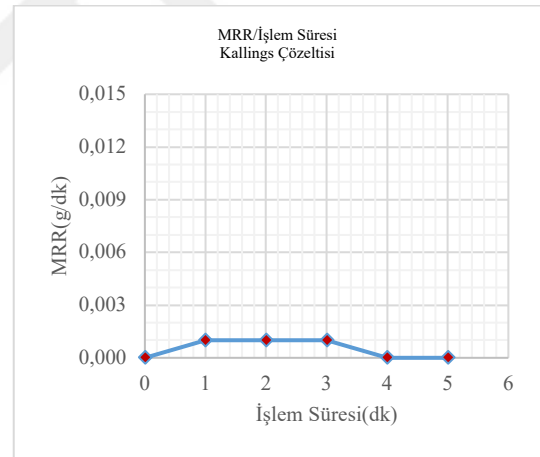
modifikasyon sonrasında yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkileri incelenmiştir. Değerler Şekil 4.7.'de grafik olarak gösterilmektedir. Literatürde Kallings çözeltisinin aşındırıcı olarak kullanıldığı araştırmalarda çözeltinin $FeCl_3$ çözeltisinde olduğu gibi dengeli ve kontrollü bir çözünme sağladığı gözlenmektedir (Cheraghali ve Aberoomand, 2016).

Çizelge 4. 7. Farklı paslanmaz çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi (0-5 dk)

İşlem Süresi (dk)	Kallings Çözeltisi					
	İşlem Öncesi Kütle (ort.) m_i (g)		İşlem Sonrası Kütle(ort.) m_f (g)		MRR (g/dk)	
	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316
1	14,990	13,268	14,989	13,267	0,001	0,001
2	14,990	13,269	14,988	13,268	0,001	0,001
3	15,061	13,254	15,056	13,252	0,002	0,001
4	15,061	13,260	15,057	13,259	0,001	0,000
5	15,020	13,286	15,015	13,285	0,001	0,000



(a)



(b)

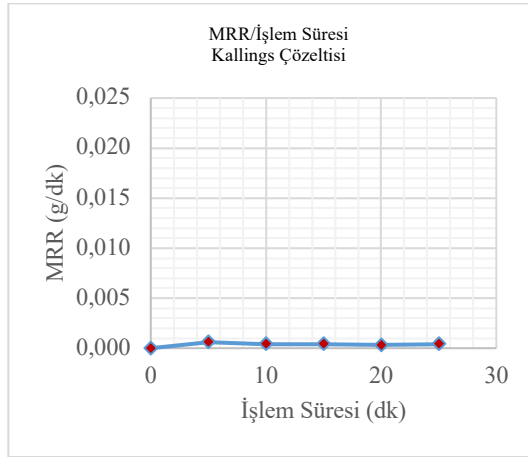
Şekil 4. 7. Farklı paslanmaz çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316

Kallings çözeltisi ile gerçekleştirilen ilk deneylerde 0–5 dakika aralığında MRR değerlerinin oldukça düşük seviyelerde kaldığı ve malzemeler arasındaki çözünme farklarının sınırlı olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, paslanmaz çelik yüzeylerinde pasif film kararlılığının zamana bağlı davranışını daha net ortaya koymak ve çözünmenin süreye duyarlılığını değerlendirmek amacıyla işlem süresi 25 dakikaya kadar uzatılmıştır. Böylece Kallings çözeltisinin uzun süreli etkisi altında pasivasyon–depasivasyon dengesinin MRR üzerindeki rolü karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

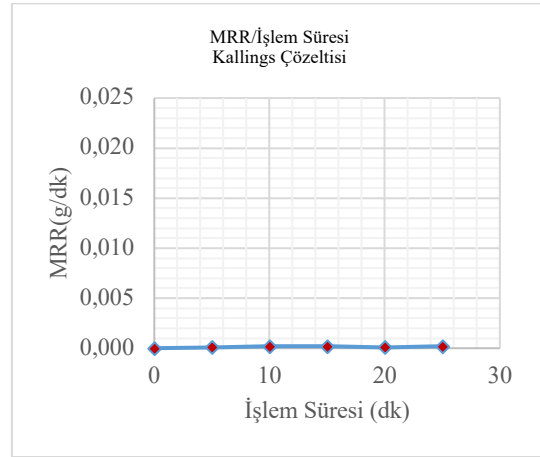
Çizelge 4.8. ve Şekil 4.8’de AISI304 ve AISI316 paslanmaz çeliklerde Kallings Çözeltisi ile 0-25 dakika oda sıcaklığında kimyasal işlem süresinin MRR üzerine etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda AISI304 ve AISI 316 aşınma hızlarının AISI304 aşınma hızının 0,003- 0.006 g/dk arasında, AISI 316 aşınma hızının 0,0001-0.0002 g/dk arasında değiştiği tespit edilmiştir. 0–5 dakika aralığında Kallings çözeltisi kısa süreli bir aktif çözünme etkisi göstermiş, ancak 0–25 dakika aralığında yüzey tamamen pasifleşmiş ve MRR değeri düşmüştür. Bu durum, Kallings çözeltisinin paslanmaz çeliklerde başlangıçta bir aşındırma yarattığını, uzun süreli işlemde ise çözünme mekanizmasının yavaşladığını göstermektedir.

Çizelge 4. 8. Farklı paslanmaz çeliklerde 200 ml Kallings çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi (0-25 dk)

İşlem Süresi (dk)	Kallings Çözeltisi					
	İşlem Öncesi Kütle (ort.) mi (g)		İşlem Sonrası Kütle(ort.) mf (g)		MRR (g/dk)	
	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316	AISI 304	AISI 316
5	15,002	13,252	15,000	13,251	0,0006	0,0001
10	14,998	13,243	14,995	13,241	0,0004	0,0002
15	14,983	13,239	14,976	13,236	0,0004	0,0002
20	15,008	13,243	15,001	13,241	0,0003	0,0001
25	15,010	13,258	15,000	13,254	0,0004	0,0002



(a)



(b)

Şekil 4. 8. Farklı paslanmaz çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316

Genel olarak, kimyasal aşındırma parametrelerinin MRR üzerindeki etkisi paslanmaz çeliklerde pasivasyon davranışı tarafından sınırlandırılmakta olup, derişim ve süre artışı her koşulda çözünme hızını artırmamaktadır. Bu nedenle kimyasal aşındırma

süreçlerinde optimum parametrelerin belirlenmesi, kontrollü çözünme rejiminin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

4.3 Yüzey Aktif Madde İlavesinin Kimyasal Aşındırma Davranışı Üzerine Etkisi

Kimyasal aşındırma süreçlerinde çözelti bileşiminin modifiye edilmesi, çözünme davranışının ve yüzey morfolojisinin kontrol edilebilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Yüzey aktif maddelerin aşındırıcı çözeltilere ilavesi, metal-çözelti arayüzeyinde gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonları düzenleyerek MRR ve yüzey bütünlüğü üzerinde belirleyici rol oynayabilmektedir. Literatürde, yüzey aktif maddelerin metal ve çözelti ara yüzeyinde adsorbe olarak çözünme kinetiğini düzenlediği, reaksiyon ürünlerinin yüzeyden uzaklaştırılmasını kolaylaştırdığı ve daha homojen bir yüzey çözünmesi sağladığı rapor edilmiştir. Pan ve arkadaşları, bakır yüzeyler üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada HNO_3 çözeltisine CTAB ilavesinin çözünme davranışını daha kararlı hale getirdiğini ve yüzey çözünmesinin uniformluğunu artırdığını göstermiştir (Pan ve diğerleri, 2010a).

Çalışmanın bu aşamasında, kimyasal aşındırma sürecinde yüzey pürüzlülüğünün kontrollü ve tekrarlanabilir biçimde değiştirilebilmesini sağlamak amacıyla, nitrik asit çözeltilerine katyonik bir yüzey aktif madde olan CTAB ilavesi yapılmıştır. AISI 304, AISI 316, C1040 ve St37 çeliklerinin 5 M HNO_3 + $1,2 \times 10^{-3}$ M CTAB çözeltisi ile oda sıcaklığında gerçekleştirilen kimyasal işlemlerinde, işlem süresinin MRR üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.9. ve Şekil 4.9’da sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, C1040 ve St37 çelik yüzeylerinde aşınma hızının sırasıyla yaklaşık 0,19–0,22 g/dk ve 0,17–0,19 g/dk aralıklarında değiştiği tespit edilmiştir. Buna karşılık, AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik numunelerinde tüm işlem süreleri boyunca ölçülebilir düzeyde bir kütle kaybı gözlenmemiştir.

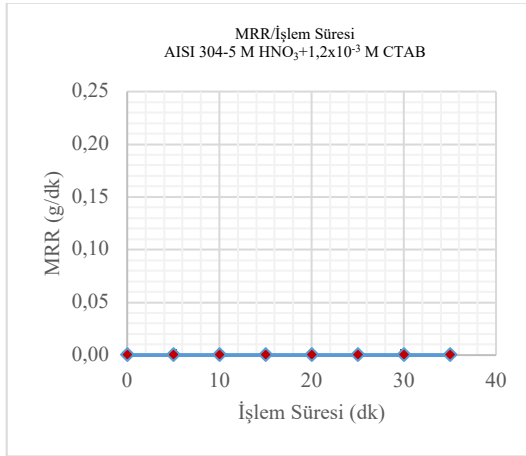
CTAB ilavesinin, paslanmaz çeliklerin nitrik asit ortamındaki pasif davranışını etkilemediği; buna karşın C1040 ve St37 karbon çeliklerinde belirgin bir kütle kaybına ve MRR değerlerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Özellikle karbon çeliklerinde, CTAB varlığında MRR değerlerinin 5 M HNO_3 çözeltisine kıyasla daha yüksek seviyelere ulaştığı ve belirli bir süre aralığında nispeten kararlı bir aşındırma davranışı sergilediği gözlemlenmiştir. Bu durum, CTAB’nin yüzey gerilimini düşürerek reaksiyon

ürünlerinin yüzeyden uzaklaştırılmasını kolaylaştırması ve metal çözünme kinetiğini hızlandırmasıyla ilişkilendirilmektedir.

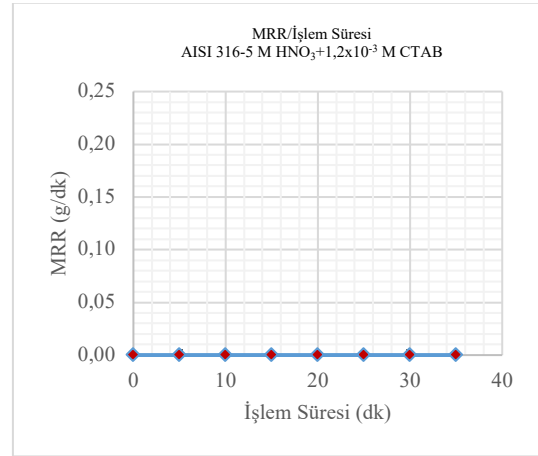
Pan ve arkadaşlarının bakır yüzeyler üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada da CTAB ilavesinin benzer şekilde metal çözünmesini artırdığı ve yüzey reaksiyonlarını etkilediği rapor edilmiştir (Pan ve diğerleri, 2010a). Bu bağlamda, 5 M HNO₃ + CTAB sistemi, paslanmaz çeliklerde pasifliği korurken karbon çeliklerinde daha yüksek ve kontrollü MRR değerlerinin elde edilmesine olanak sağlamış olup, yüzey pürüzlülüğünün hedeflenen aralıkta ayarlanabilmesi açısından etkili bir aşındırma ortamı sunmaktadır.

Çizelge 4. 9. Farklı çeliklerde 5 M HNO₃+1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi

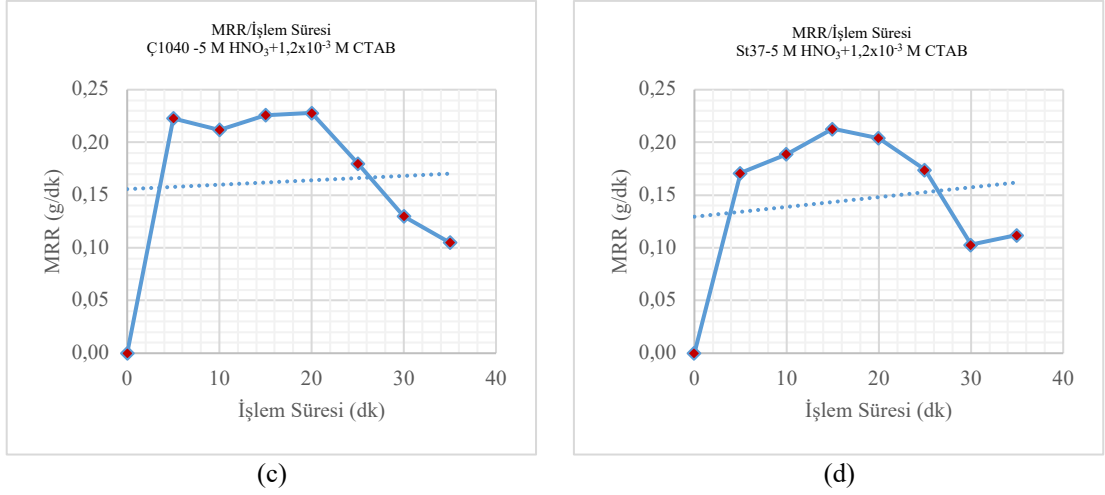
İşlem Süresi (dk)	5 M HNO ₃ +1,2x10 ⁻³ M CTAB											
	İşlem Öncesi Kütle mi (g)				İşlem Sonrası Kütle mf (g)				MRR (g/dk)			
	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37
5	14,998	13,252	16,355	14,224	14,997	13,251	15,242	13,369	0,000	0,000	0,223	0,171
10	14,997	13,251	15,242	13,369	14,998	13,252	14,182	12,422	0,000	0,000	0,212	0,189
15	14,998	13,252	14,182	12,422	14,998	13,252	13,055	11,358	0,000	0,000	0,226	0,213
20	14,998	13,252	13,055	11,358	14,998	13,252	11,913	10,337	0,000	0,000	0,228	0,204
25	14,998	13,252	11,913	10,337	14,998	13,252	11,016	9,466	0,000	0,000	0,180	0,174
30	14,998	13,252	11,016	9,466	14,999	13,252	10,365	8,951	0,000	0,000	0,130	0,103
35	14,999	13,252	10,365	8,951	14,998	13,251	9,841	8,393	0,000	0,000	0,105	0,112



(a)



(b)

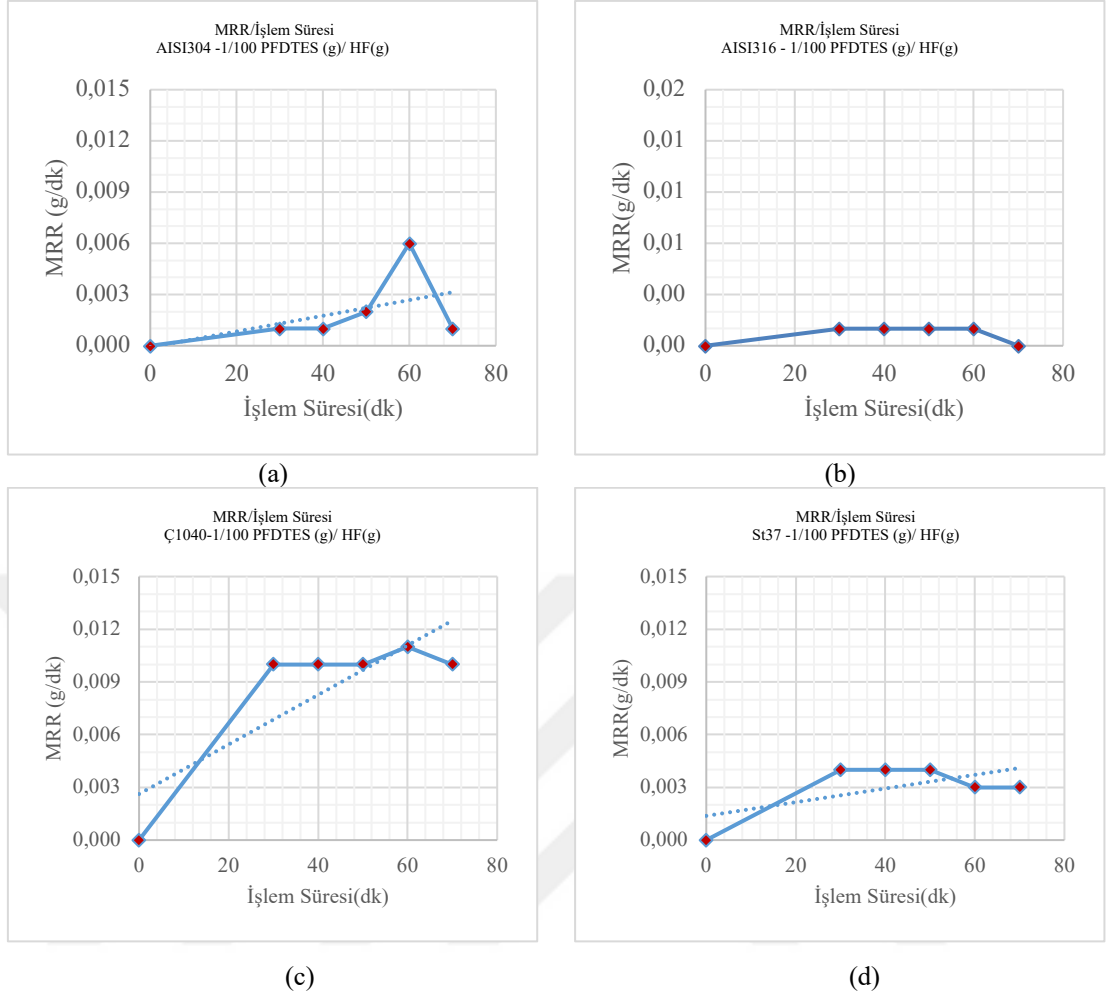


Şekil 4. 9. Farklı çeliklerde 5 M HNO₃+1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

Tek basamaklı kimyasal aşındırma işleminin paslanmaz çelikler üzerinde etkilerinin incelendiği bir çalışmada florlu bileşik PFOS kullanılmıştır (Y. Chen ve diğerleri, 2022c). Bu aşamada PFOS ile benzer özellikler taşıyan PFDTES kullanılarak, AISI304, AISI316, C1040 ve St37 çeliklerinde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkilerine ilişkin bulgular incelenmiş ve bu işlemlere ilişkin bulgular Çizelge 4.10. ve Şekil 4.10'da verilmiştir. AISI304 ve AISI316 aşınma hızlarının sırasıyla 0.001-0.006 g/dk ile 0-0.001 g/dk, C1040 ve St37 aşınma hızlarının ise 0.010-0.011 g/dk ile 0.003-0.004 g/dk aralıklarında değiştiği tespit edilmiştir. Paslanmaz çeliklerde yüzey kısa sürede pasifleştiği için MRR değerleri çok düşük ölçülmüştür. Karbon çeliklerinde ise deney süresi boyunca yüksek ve kararlı MRR değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4. 10. Farklı çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi

İşlem Süresi (dk)	1/100 PFDTES (g)/ HF(g)											
	İşlem Öncesi Kütle (ort.) m _i (g)				İşlem Sonrası Kütle (ort.) m _f (g)				MRR (g/dk)			
	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37
30	16,030	16,347	15,165	21,167	16,005	16,315	14,850	21,055	0,001	0,001	0,010	0,004
40	16,044	16,375	15,068	21,142	16,004	16,329	14,679	20,984	0,001	0,001	0,010	0,004
50	16,050	16,370	15,331	21,248	15,966	16,314	14,807	21,069	0,002	0,001	0,010	0,004
60	16,042	16,336	15,287	21,140	15,689	16,275	14,646	20,938	0,002	0,001	0,011	0,003
70	16,056	16,374	15,281	21,233	15,961	16,347	14,592	21,021	0,001	0,000	0,010	0,003

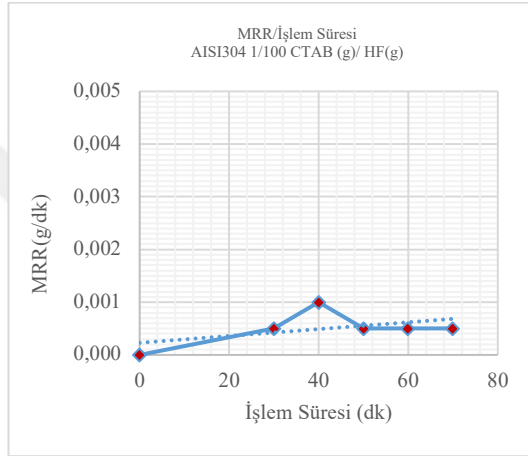


Şekil 4. 10. Farklı çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

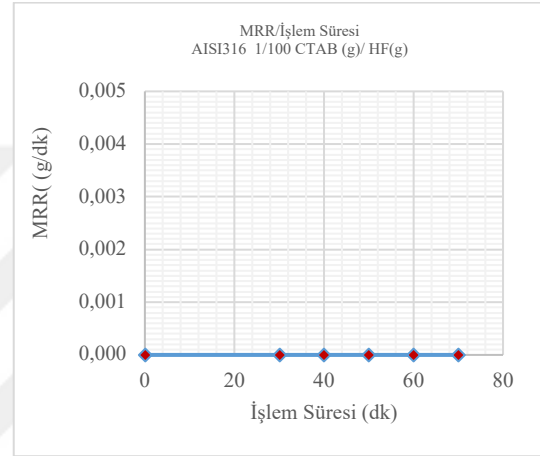
Farklı yüzey aktif maddelerin etkilerini incelemek amacıyla katyonik yüzey aktif maddelerin kullanıldığı deneylerde HF+H₂O₂ ortamında başlatılan reaksiyon CTAB+HF ilavesi ile devam etmiştir. AISI304, AISI316, C1040 ve St37 çeliklerinde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.11. ve Şekil 4.11’de verilmiştir. AISI304 aşınma hızının 0,000-0,001 g/dk, C1040 aşınma hızının 0,002-0,004 g/dk, St37 aşınma hızının 0,001-0,002 g/dk aralıklarında değiştiği, AISI316 aşınma hızının ise sabit kaldığı tespit edilmiştir. AISI 316 her iki ortamda da en dirençli malzemedir. Molibden katkısı, film kararlılığını artırmaktadır. Anyonik yüzey aktif maddeye kıyasla katyonik yüzey aktif madde kullanıldığında MRR değerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. 11. Farklı çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi

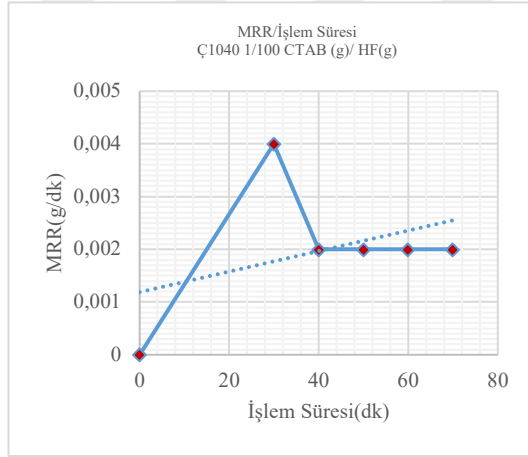
İşlem Süresi (dk)	1/100 CTAB (g)/ HF(g)											
	İşlem Öncesi Kütle (ort.) m _i (g)				İşlem Sonrası Kütle (ort.) m _f (g)				MRR (g/dk)			
	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37
30	16,315	16,373	15,033	21,190	16,315	16,360	14,912	21,126	0,000	0,000	0,004	0,002
40	16,038	16,376	15,256	21,188	16,018	16,361	15,176	21,129	0,001	0,000	0,002	0,001
50	16,068	16,376	15,416	21,181	16,048	16,355	15,321	21,113	0,000	0,000	0,002	0,001
60	16,044	16,324	15,268	21,221	16,015	16,301	15,177	21,126	0,000	0,000	0,002	0,002
70	16,052	16,334	15,261	21,146	16,020	16,309	15,153	21,064	0,000	0,000	0,002	0,001



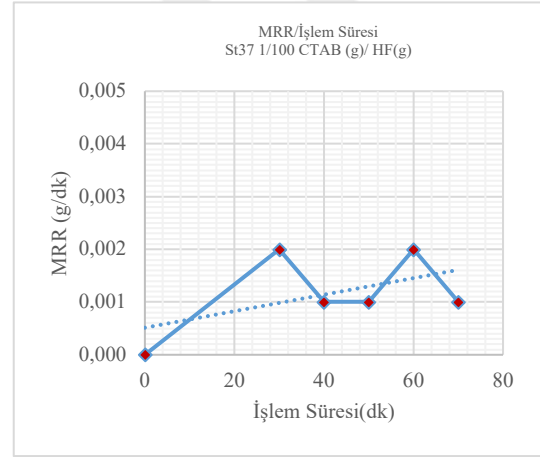
(a)



(b)



(c)



(d)

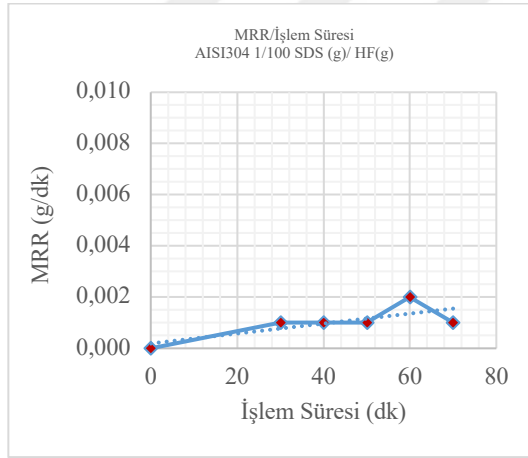
Şekil 4. 11. Farklı çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

Anyonik yüzey aktif madde kullanılarak yapılan deneylerde katyonik yüzey aktif maddeye oranla daha yüksek ve kontrollü MRR değerleri ölçülmesi sebebi ile bu aşamada SDS kullanılmıştır. HF+H₂O₂ ortamında başlatılan reaksiyon SDS+HF ilavesi ile devam

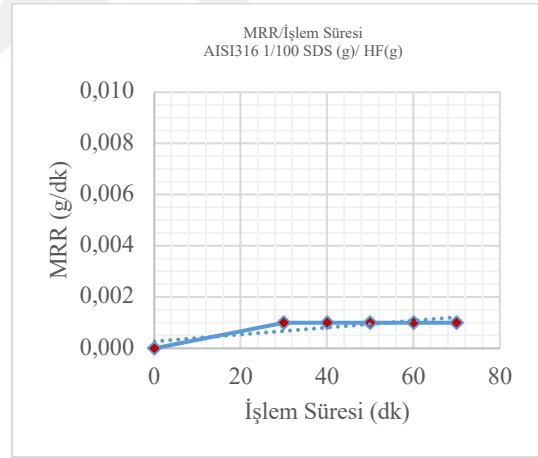
etmiştir. AISI304, AISI316, C1040 ve St37 çeliklerinde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.12. ve Şekil 4.12’de verilmiştir. AISI304, C1040 ve St37 aşınma hızlarının sırasıyla 0.001-0.002 g/dk, 0.005-0.007 g/dk ve 0.002-0.003 g/dk aralıklarında değiştiği, AISI316 aşınma hızının deney süresince sabit kaldığı tespit edilmiştir. Katyonik yüzey aktif maddeye göre daha hızlı olan malzeme kaldırma oranı PFDTES kullanılarak yapılan diğer anyonik yüzey aktif madde deneyine göre düşük MRR sonuçları vermiştir.

Çizelge 4. 12. Farklı çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi

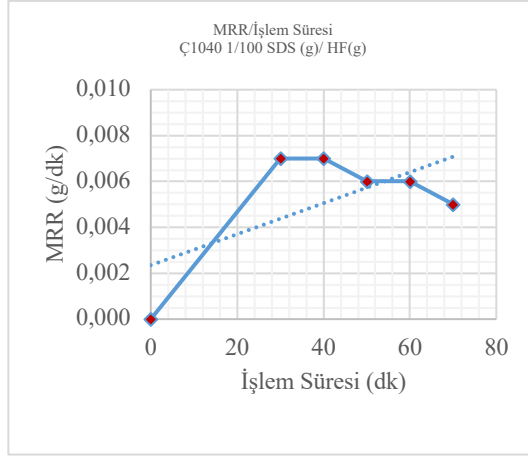
İşlem Süresi (dk)	1/100 SDS (g)/ HF(g)											
	İşlem Öncesi Kütle (ort.) mi (g)				İşlem Sonrası Kütle (ort.) mf (g)				MRR (g/dk)			
	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37
30	16,057	13,269	15,096	21,155	16,024	13,241	14,889	21,051	0,001	0,001	0,007	0,003
40	16,058	16,314	15,382	21,152	16,010	16,288	15,106	21,025	0,001	0,001	0,007	0,003
50	16,067	16,304	15,283	21,168	16,000	16,270	14,961	21,018	0,001	0,001	0,006	0,003
60	16,073	16,333	15,369	21,208	15,978	16,289	14,986	21,046	0,002	0,001	0,006	0,003
70	16,049	16,328	15,237	21,156	15,947	16,273	14,862	20,988	0,001	0,001	0,005	0,002



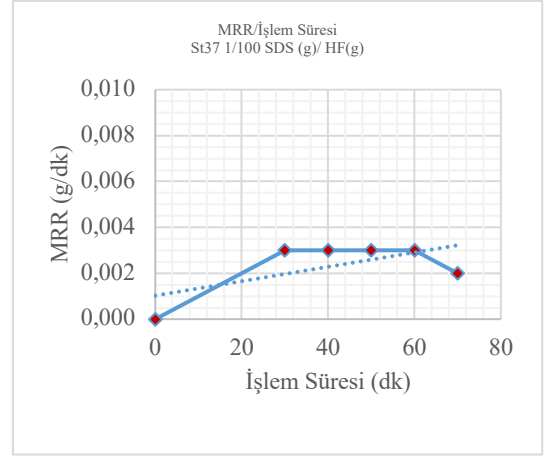
(a)



(b)



(c)



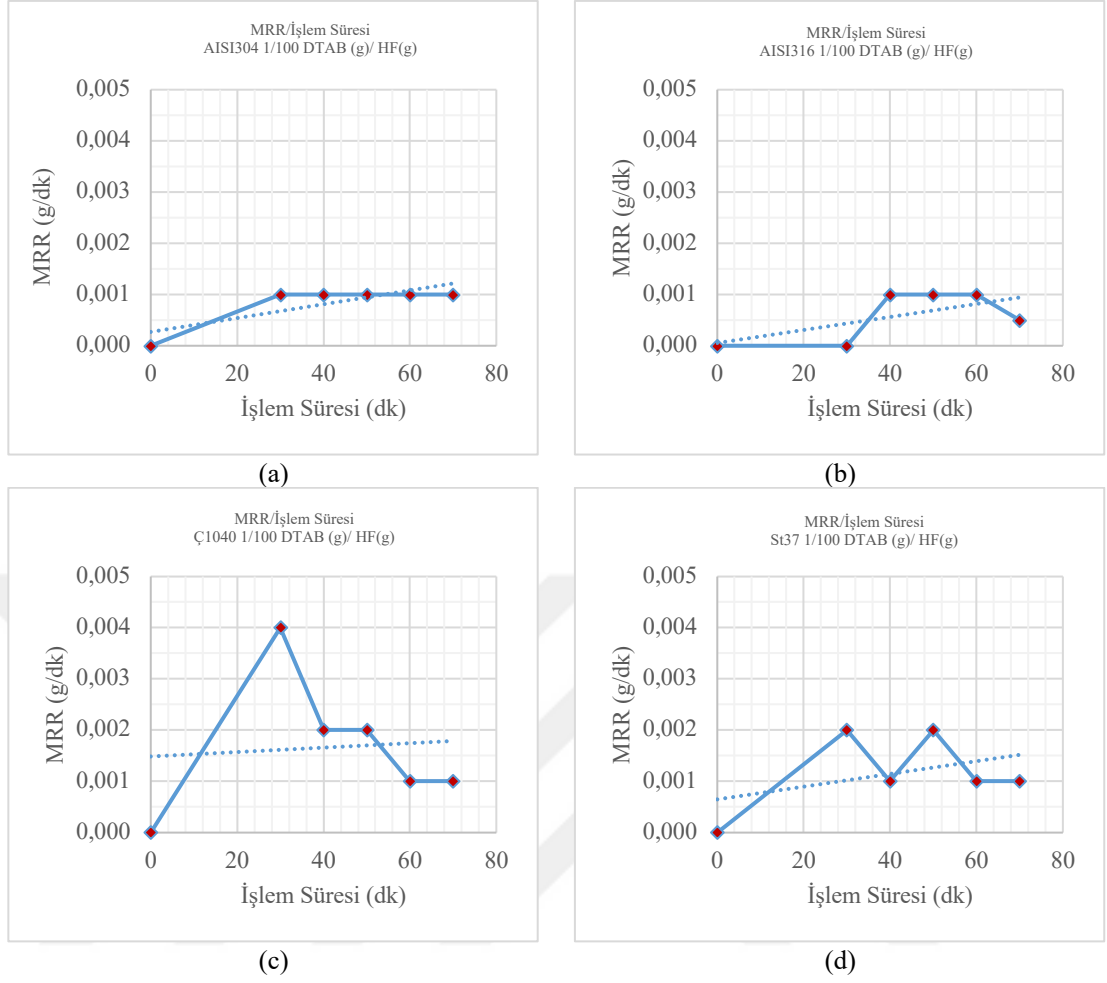
(d)

Şekil 4. 12. Farklı çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

Çizelge 4.13.ve Şekil 4.13.'de AISI304, AISI316, C1040 ve St37 çeliklerinde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda AISI304 ve AISI316 aşınma hızının 0,000 g/dk ile 0.001 g/dk arasında, C1040 aşınma hızının 0.001 g/dk ile 0.004 g/dk arasında, St37 aşınma hızının 0.001 g/dk ile 0.002 g/dk arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 13. Farklı çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin MRR üzerine etkisi

İşlem Süresi (dk)	1/100 DTAB (g)/ HF(g)											
	İşlem Öncesi Kütle (ort.) mi (g)				İşlem Sonrası Kütle (ort.) mf (g)				MRR (g/dk)			
	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37	AISI 304	AISI 316	C1040	St37
30	16,061	16,377	15,297	21,158	16,035	16,365	15,192	21,090	0,001	0,000	0,004	0,002
40	16,051	16,353	15,336	21,208	16,019	16,328	15,271	21,164	0,001	0,001	0,002	0,001
50	15,997	16,367	15,162	21,181	15,960	16,337	15,062	21,097	0,001	0,001	0,002	0,002
60	16,044	16,374	15,198	21,227	16,003	16,335	15,135	21,153	0,001	0,001	0,001	0,001
70	16,076	16,365	15,298	21,231	16,062	16,342	15,212	21,141	0,000	0,000	0,001	0,001



Şekil 4. 13.Farklı çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen MRR değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

4.4. Kimyasal Aşındırma ve Modifikasyon Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Temas Açısı Üzerine Etkisi

Çizelge 4.14-4.17 arasında sırasıyla AISI304, AISI316, C1040 ve St37 çelik numunelerde 2,8 M HNO_3 çözeltisi ile oda sıcaklığında kimyasal işlemenin ardından STA-DCC çözeltisi ile 24 saat modifikasyonun yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda AISI 304 paslanmaz çelik numunelerde işlem süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinde anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Başlangıç pürüzlülük değerleri 1,07–1,13 μm aralığında iken, işlem sonrası pürüzlülük değerleri 1,00–1,20 μm arasında sabit kalmıştır. Bu durum, nitrik asit ortamında Cr_2O_3 esaslı pasif filmin kararlılığını koruduğunu ve çözeltinin yüzey üzerinde belirgin bir aşındırıcı etki yaratmadığını göstermektedir. Başlangıçta 50° olan

ve 35. dakikada 85,41° ölçülen temas açısı, yüzeyin hidrofilik karakterini sürdürdüğünü, ortaya koymaktadır. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerin de yüzey pürüzlülüğü değerlerinde sınırlı bir değişim gözlenmektedir. Başlangıç pürüzlülük (Rai) değerleri 0,67–0,93 µm aralığında, işlem sonrası pürüzlülük değerleri 0,80–1,20 µm aralığında değişmiştir. Başlangıçta 35° olan ve 35 dakikalık işlem sonunda 71,66° ölçülen temas açısı, yüzeyin belirgin biçimde hidrofilik karakter taşıdığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar bu ortamda AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çeliklerin yüksek kimyasal direnç sergilediğini ve kimyasal işleme ve modifikasyonun yüzey morfolojisinde önemli bir değişikliğe sebep olmadığını göstermektedir. AISI 316 Mo içeriği nedeniyle AISI304 malzemelere göre daha dirençlidir. C1040 çeliğinde ilk 5 dakikada pürüzlülük değerinin 0,93 µm'den 2,67 µm düzeyine yükselmesi ve devamında 2,67–3,53 µm aralığında kalması, bu çeliğin nitrik asitte aktif olarak çözündüğünü ortaya koymaktadır. St37 çeliğinde 0,80 µm'lik başlangıç yüzey pürüzlülüğü 5 dakikada 5,60 µm'ye çıkmış ve devamında 6,00–11,06 µm arasında değişmiştir. Bu durum St37 çeliklerin homojen olarak çözünmediğini ve yüzey morfolojilerinin düzensiz değiştiğini göstermektedir. Temas açısı verileri ile de desteklenen bu durum paslanmaz çeliklerde yüzeylerin hidrofilik olduğunu yani yüzey enerjisinin yüksek olduğunu gösterirken; yoğun çözünme ve kaba pürüzlenme geliştiren St37'de 138° ve C1040'ta 126° derece olarak ölçülen temas açıları, pürüzlülükle birlikte yüzeylerin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Değerler Şekil 4.14.-4.16. arasında grafik olarak gösterilmektedir.

Çizelge 4. 14. AISI 304 paslanmaz çeliklerde 2,8 M HNO₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

AISI304		2,8 M HNO ₃ + STA, DCC çözeltisi								
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Raf (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	1,13	1,00	1,00	1,20	1,07	-5,88	46,45	53,24	50,31	50,00
10	1,07	1,20	1,00	1,00	1,07	0,00	—	—	—	—
15	1,07	1,00	1,00	1,20	1,07	0,00	—	—	—	—
20	1,07	1,20	1,00	1,00	1,07	0,00	—	—	—	—
25	1,07	1,20	1,00	1,20	1,13	0,00	—	—	—	—
30	1,13	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	—	—	—	—
35	1,00	1,00	0,80	1,20	1,00	0,00	85,40	85,23	85,59	85,41 ± 0,18

Çizelge 4. 15. AISI 316 paslanmaz çeliklerde 2,8 M HNO₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

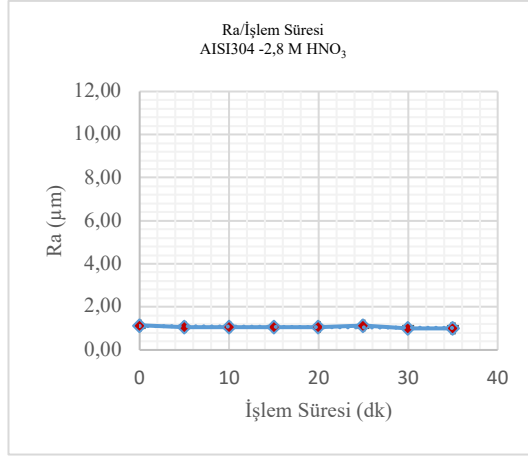
AISI316	2,8 M HNO ₃ + STA, DCC çözeltisi									
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	0,93	1,00	0,40	1,20	0,87	-6,81	33,18	36,65	35,17	35,00
10	0,87	0,60	0,80	1,20	0,87	0,78	—	—	—	—
15	0,87	1,00	1,00	0,80	0,93	8,53	—	—	—	—
20	0,93	1,00	0,80	1,00	0,93	0,36	—	—	—	—
25	0,93	0,60	0,60	0,80	0,67	-28,31	—	—	—	—
30	0,67	0,80	0,80	0,80	0,80	21,21	—	—	—	—
35	0,80	1,20	0,80	1,20	1,07	33,33	72,05	72,07	70,88	71,66 ± 0,68

Çizelge 4. 16. C1040 çeliklerde 2,8 M HNO₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

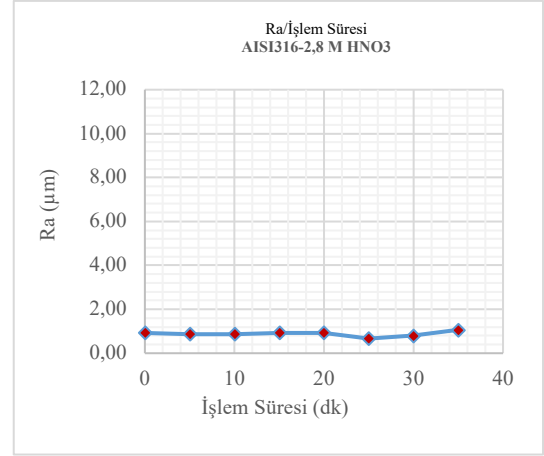
C1040	2,8 M HNO ₃ + STA, DCC çözeltisi									
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	0,93	2,60	2,60	2,80	2,67	185,72	78,57	84,12	86,37	83,02
10	2,67	2,60	2,60	3,00	2,73	0,00	—	—	—	—
15	2,73	2,80	2,20	2,60	2,53	0,01	—	—	—	—
20	2,53	3,00	2,60	2,80	2,80	0,00	—	—	—	—
25	2,80	2,80	2,60	3,40	2,93	0,00	—	—	—	—
30	2,93	3,00	2,80	3,00	2,93	0,00	—	—	—	—
35	2,93	3,60	3,80	3,20	3,53	0,00	126,04	126,04	125,87	125,99 ± 0,10

Çizelge 4. 17. St37 çeliklerde 2,8 M HNO₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

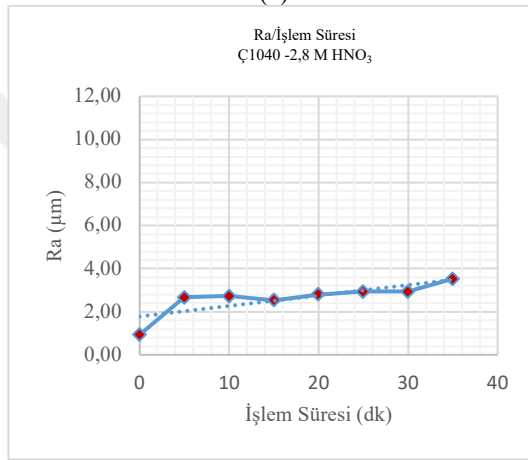
St37	2,8 M HNO ₃ + STA, DCC çözeltisi									
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	0,80	4,40	6,40	6,00	5,60	600,00	37,72	38,87	45,12	40,57
10	5,60	9,60	9,20	8,60	9,13	63,09	—	—	—	—
15	9,13	6,20	8,80	6,00	7,00	-23,33	—	—	—	—
20	7,00	10,60	11,60	8,00	10,07	43,81	—	—	—	—
25	10,07	9,00	9,20	9,00	9,07	-9,87	—	—	—	—
30	9,07	11,00	10,20	10,20	10,47	15,53	—	—	—	—
35	10,47	9,80	12,60	10,80	11,07	5,80	138,13	138,78	137,95	138,29 ± 0,43



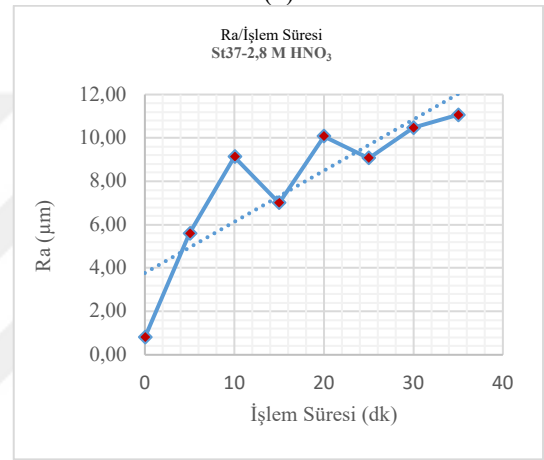
(a)



(b)

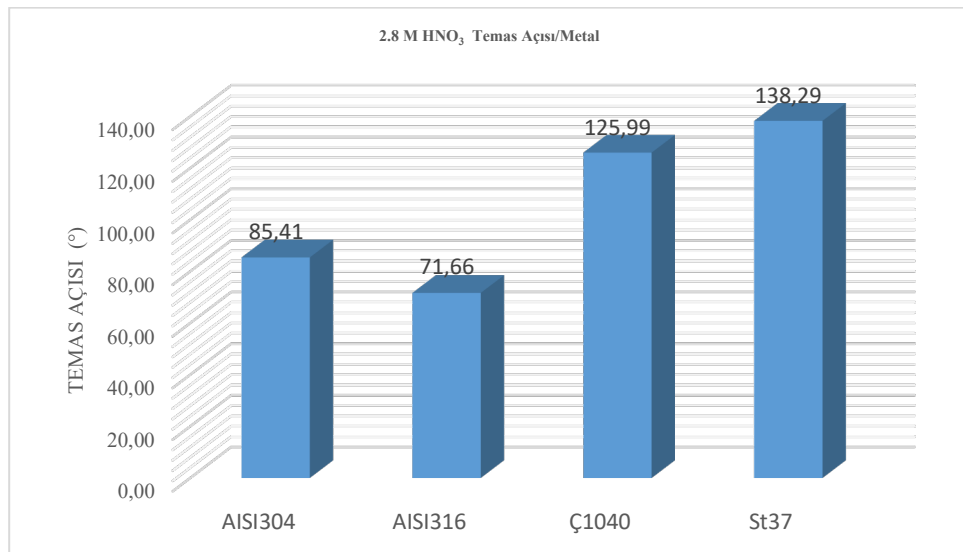


(c)

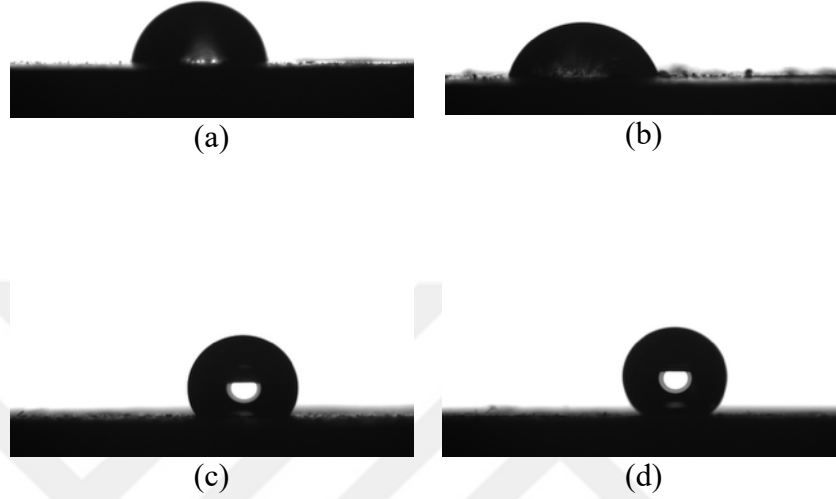


(d)

Şekil 4. 14. Farklı çeliklerde 2.8 M HNO₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37



Şekil 4. 15. Farklı çeliklerde 2.8 M HNO₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri



Şekil 4. 16. Farklı çelik numunelerin 2.8 M HNO₃ ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

Çizelge 4.18-4.21 arasında sırasıyla AISI304, AISI316, C1040 ve St37 çelik numunelerde 5 M HNO₃ çözeltisi ile oda sıcaklığında kimyasal işlemenin ardından Hekzan içinde 5 mmol/l STA çözeltisi ile 24 saat modifikasyonun yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda AISI 304 paslanmaz çelik numunelerde işlem süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinde 0,02 µm bir artış görülürken, AISI 316 paslanmaz çelik numunelerde Ra değerleri sabit kalmıştır. Bu durum, nitrik asit ortamında Cr₂O₃ esaslı pasif filmin kararlılığını koruduğunu ve çözeltinin yüzey üzerinde belirgin bir aşındırıcı etki yaratmadığını göstermektedir. AISI 304 temas açısı 64,8° AISI 316 temas açısı 85,5° olarak ölçülmüştür. Her iki yüzey de hidrofiliktir. Elde edilen sonuçlar bu ortamda AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çeliklerin yüksek kimyasal direnç sergilediğini ve kimyasal işleme ve modifikasyonun yüzey morfolojisinde önemli bir değişikliğe sebep olmadığını göstermektedir. Karbon çeliklerinde aşındırma daha etkili olmuştur. C1040 numunesinde pürüzlülük 1,00 µm'den 4,00 µm'ye yükselmiştir, bu sonuç çeliğin nitrik asitte aktif olarak çözüldüğünü ortaya koymaktadır. Başlangıçta 83,2° olan temas açısı 118,2° olarak ölçülmüştür. Bu sonuç, yüzeyin hidrofobik karakter kazandığını göstermektedir. St37

numunesinde en yüksek değişim gözlenmiştir; pürüzlülük 0,60 μm 'den 23,07 μm 'ye çıkmıştır. Başlangıçta 40,57° olan temas açısı 134,1°'ye çıkmış ve yüzey hidrofobik özellik kazanmıştır. 5 M HNO_3 ortamı paslanmaz çeliklerde kontrollü çözünme oluştururken karbon çeliklerinde belirgin aşındırma sağlamıştır. 24 saatlik STA + DCC modifikasyonu, bu pürüzlü yüzeylerde temas açısını artırarak hidrofobik yüzey davranışı oluşturmuştur. Değerler Şekil 4.17., 4.18. ve 4.19.'da grafik olarak gösterilmektedir.

Çizelge 4. 18. AISI 304 paslanmaz çeliklerde 5 M HNO_3 çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

AISI304		5 M HNO_3 + STA, DCC çözeltisi								
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi R_{a_i} (μm)	İşlem Sonrası R_{af} (μm)			İşlem Sonrası R_{af} (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	0,40	0,60	0,80	0,80	0,73	83,33	46,45	53,24	50,31	50,00
10	0,73	0,60	0,60	0,60	0,60	-18,18	—	—	—	—
15	0,60	0,80	0,80	0,80	0,80	33,33	—	—	—	—
20	0,80	0,40	0,40	0,40	0,40	-50,00	—	—	—	—
25	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,00	—	—	—	—
30	0,40	0,40	0,60	0,60	0,53	33,33	—	—	—	—
35	0,53	0,60	0,60	0,60	0,60	12,50	64,80	64,50	64,54	64,80 \pm 0,15

Çizelge 4. 19. AISI 316 paslanmaz çeliklerde 5 M HNO_3 çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

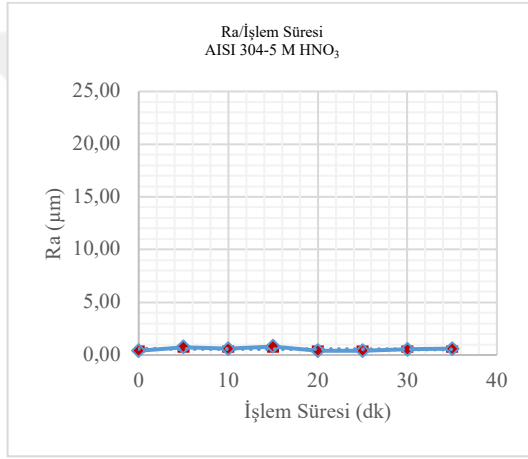
AISI316		5 M HNO_3 + STA, DCC çözeltisi								
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi R_{a_i} (μm)	İşlem Sonrası R_{af} (μm)			İşlem Sonrası R_{af} (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00	33,18	36,65	35,17	35,00
10	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00	—	—	—	—
15	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00	—	—	—	—
20	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00	—	—	—	—
25	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00	—	—	—	—
30	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00	—	—	—	—
35	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00	85,46	85,75	85,70	85,46 \pm 0,15

Çizelge 4. 20. C1040 çeliklerde 5 M HNO_3 çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

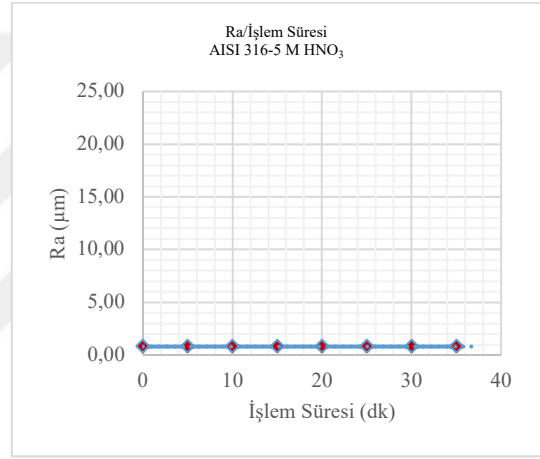
C1040		5 M HNO_3 + STA, DCC çözeltisi								
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi R_{a_i} (μm)	İşlem Sonrası R_{af} (μm)			İşlem Sonrası R_{af} (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	1,00	2,20	2,40	2,40	2,33	133,33	78,57	84,12	86,37	83,02
10	2,33	2,60	2,60	2,60	2,60	11,43	—	—	—	—
15	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	0,00	—	—	—	—
20	2,60	3,00	3,00	3,00	3,00	15,38	—	—	—	—
25	3,00	3,20	3,00	3,20	3,13	4,44	—	—	—	—
30	3,13	6,20	6,40	6,20	6,27	100,00	—	—	—	—
35	6,27	4,00	4,00	4,00	4,00	-36,170	118,17	118,60	118,01	118,17 \pm 0,30

Çizelge 4. 21. St37 çeliklerde 5 M HNO₃ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

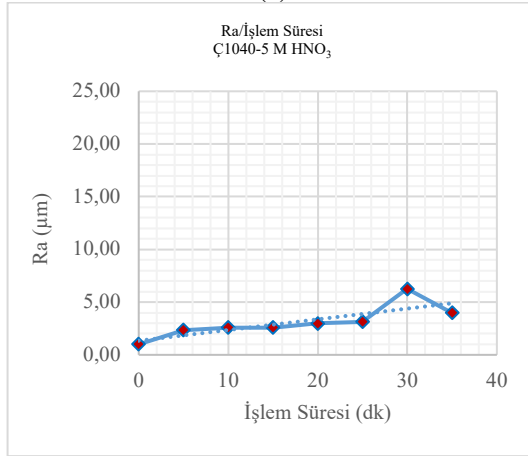
St37		5 M HNO ₃ + STA, DCC çözeltisi								
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Raf (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	0,60	7,20	7,20	7,40	7,27	1111,11	37,72	38,87	45,12	40,57
10	7,27	11,20	11,20	11,20	11,20	54,13	—	—	—	—
15	11,20	15,40	15,20	15,20	15,27	36,31	—	—	—	—
20	15,27	15,20	15,20	15,60	15,33	0,44	—	—	—	—
25	15,33	21,40	20,80	20,60	20,93	36,52	—	—	—	—
30	20,93	22,00	21,80	21,80	21,87	4,46	—	—	—	—
35	21,87	23,00	23,20	23,00	23,07	5,49	134,13	134,73	133,69	134,13 ± 0,52



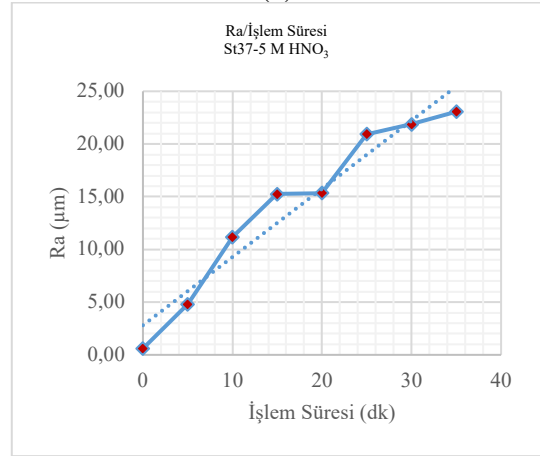
(a)



(b)

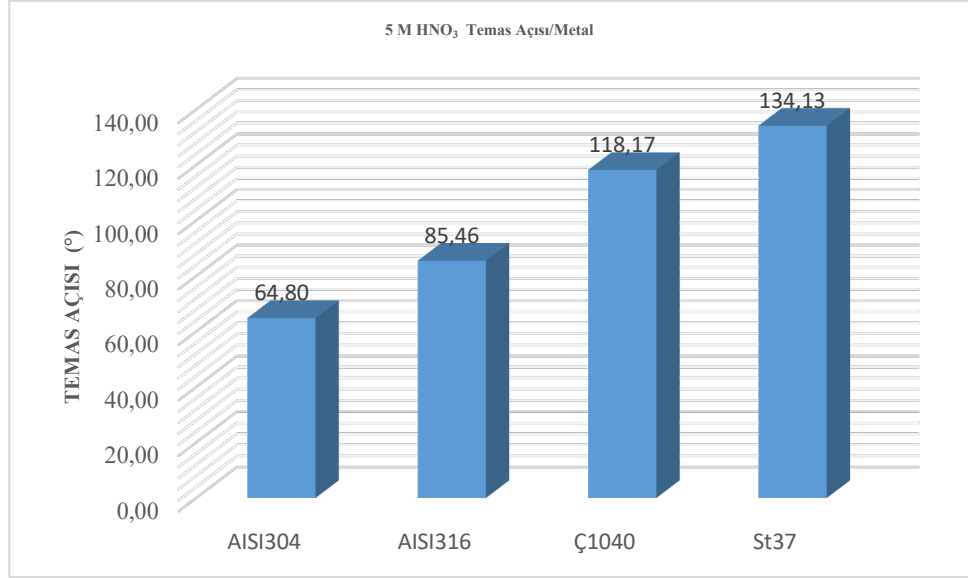


(c)

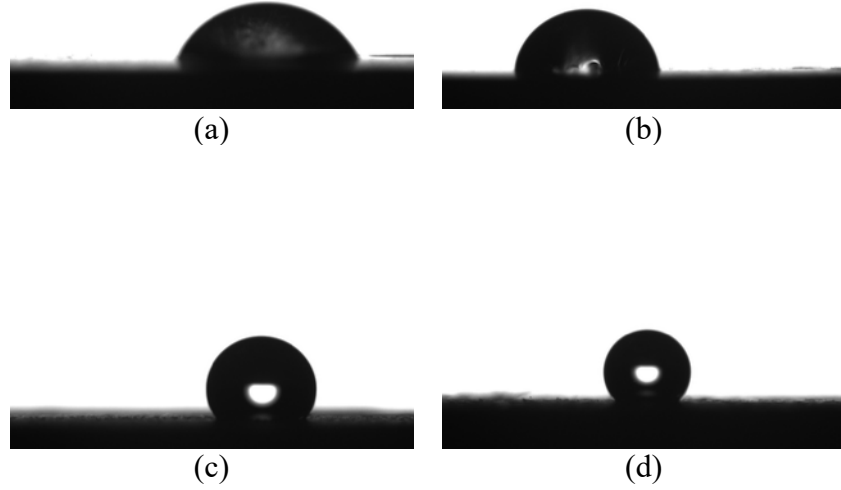


(d)

Şekil 4. 17. Farklı çeliklerde 5 M HNO₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37



Şekil 4. 18. Farklı çeliklerde 5 M HNO₃ + STA, DCC Çözeltileri ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri



Şekil 4. 19. Farklı çelik numunelerin 5 M HNO₃ ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

Çizelge 4.22-4.25 arasında sırasıyla AISI304, AISI316, C1040 ve St37 çelik numunelerde 5 M HNO₃ çözeltisi ile oda sıcaklığında kimyasal işlemenin ardından He STA, DCC çözeltisi ile 24 saat modifikasyonun yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda AISI 304 numunelerde işlem

süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinde 0,2 μm bir artış görülürken temas açısı 86,9°, AISI 316 numunelerde Ra değerleri sabit kalırken, temas açısı 89,7° olarak ölçülmüştür. C1040 numunesinde pürüzlülük 0,930 μm 'den 3,333 μm 'ye yükselmiştir, bu sonuç çeliğin nitrik asitte aktif olarak çözündüğünü ortaya koymaktadır. Temas açısı 119,4° olarak ölçülmüştür. Bu deneyde de en yüksek değişim St37 numunesinde gözlenmiştir; pürüzlülük 0,800 μm 'den 8,533 μm 'ye çıkarken, temas açısı 136,2° olarak ölçülmüştür. CTAB ilavesi literatürde raporlanan şekilde çözünmeyi kısmen sınırlandırmış, pürüzlülük artışını kontrollü hale getirmiştir (Arjmand, Wang ve Zhang, 2016; Fouda, Migahed, Atia ve Mousa, 2016).

Çizelge 4. 22. AISI 304 paslanmaz çeliklerde 5M HNO₃ + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

AISI304	5M HNO ₃ + 1,2x10 ⁻³ M CTAB+ STA, DCC Çözeltisi									
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Ra _i (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00	46,45	53,24	50,31	50,00
10	0,80	1,00	0,80	1,00	0,93	16,67	—	—	—	—
15	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	7,14	—	—	—	—
20	1,00	0,80	0,80	1,00	0,87	-13,33	—	—	—	—
25	0,87	0,80	0,80	0,80	0,80	-7,69	—	—	—	—
30	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	25,00	—	—	—	—
35	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	86,86	87,06	86,83	86,92 ± 0,13

Çizelge 4. 23. AISI 316 paslanmaz çeliklerde 5M HNO₃ + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

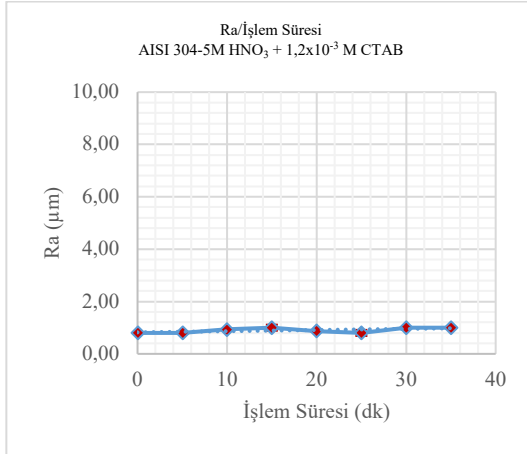
AISI316	5M HNO ₃ + 1,2x10 ⁻³ M CTAB+ STA, DCC Çözeltisi									
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Ra _i (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	1,00	1,00	1,20	1,00	1,07	33,33	33,18	36,65	35,17	35,00
10	1,07	1,40	1,00	1,00	1,13	-25,00	—	—	—	—
15	1,13	1,00	1,00	1,00	1,00	-38,09	—	—	—	—
20	1,00	0,60	0,80	0,80	0,73	38,46	—	—	—	—
25	0,73	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	—	—	—	—
30	1,00	1,20	1,00	1,00	1,07	-16,67	—	—	—	—
35	1,07	1,00	1,00	1,00	1,00	66,67	89,74	89,59	89,86	89,73 ± 0,14

Çizelge 4. 24. C1040 çeliklerde 5M HNO₃ + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

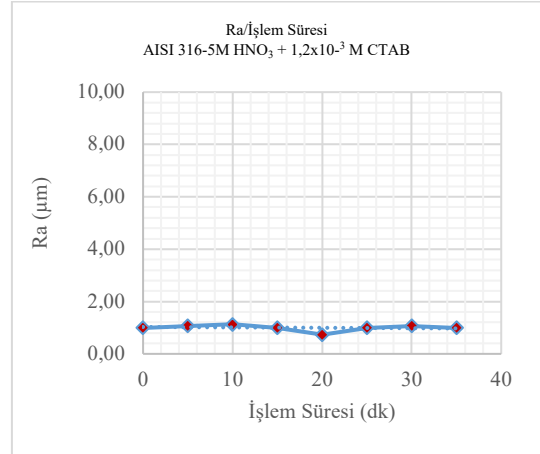
C1040 5M HNO ₃ + 1,2x10 ⁻³ M CTAB+ STA, DCC Çözeltisi										
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Ra _i (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Ra _f (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	0,93	2,60	2,60	2,60	2,60	178,57	78,57	84,12	86,37	83,02
10	2,60	3,40	3,40	3,40	3,40	30,77	—	—	—	—
15	3,40	4,00	3,80	3,80	3,87	13,72	—	—	—	—
20	3,87	3,40	3,40	3,40	3,40	-12,07	—	—	—	—
25	3,40	2,80	2,80	2,80	2,80	-17,65	—	—	—	—
30	2,80	2,80	2,60	2,60	2,67	-4,76	—	—	—	—
35	2,67	3,20	3,40	3,40	3,33	25,00	119,19	119,29	119,72	119,40 ± 0,28

Çizelge 4. 25. St37 çeliklerde 5M HNO₃ + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

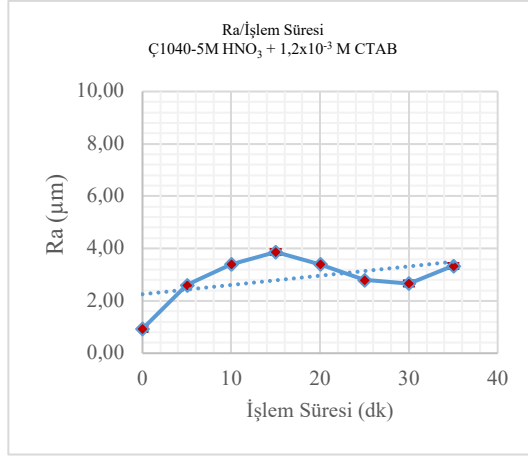
St37 5M HNO ₃ + 1,2x10 ⁻³ M CTAB+ STA, DCC Çözeltisi										
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Ra _i (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Ra _f (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	0,80	2,60	2,60	2,60	2,60	6,67	37,72	38,87	45,12	40,57
10	2,60	4,20	4,00	4,20	4,13	6,25	—	—	—	—
15	4,13	7,20	7,20	7,20	7,20	-11,76	—	—	—	—
20	7,20	6,40	6,00	6,20	6,20	-26,67	—	—	—	—
25	6,20	5,20	5,20	5,20	5,20	36,36	—	—	—	—
30	5,20	9,20	9,40	9,20	9,27	6,67	—	—	—	—
35	9,27	8,80	8,40	8,40	8,53	-6,20	136,23	135,77	136,63	136,21 ± 0,43



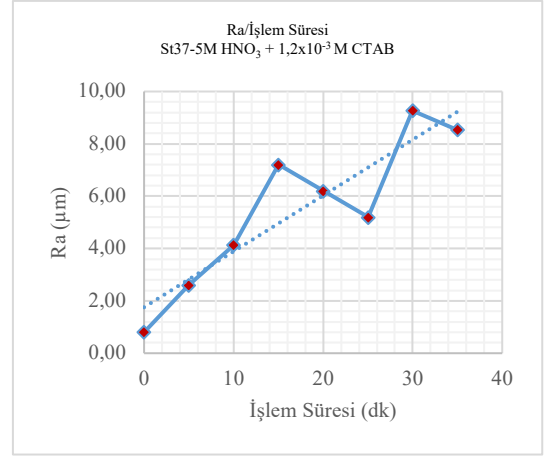
(a)



(b)

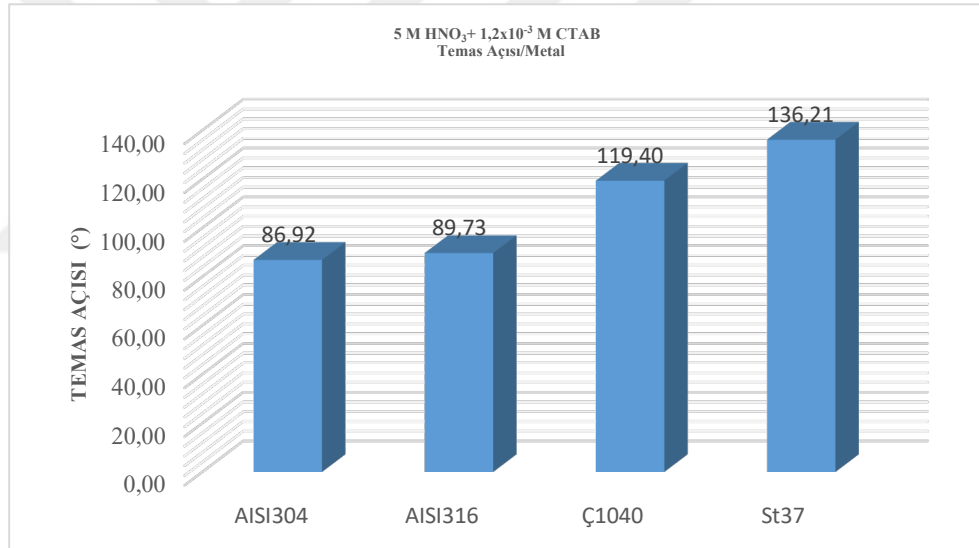


(c)

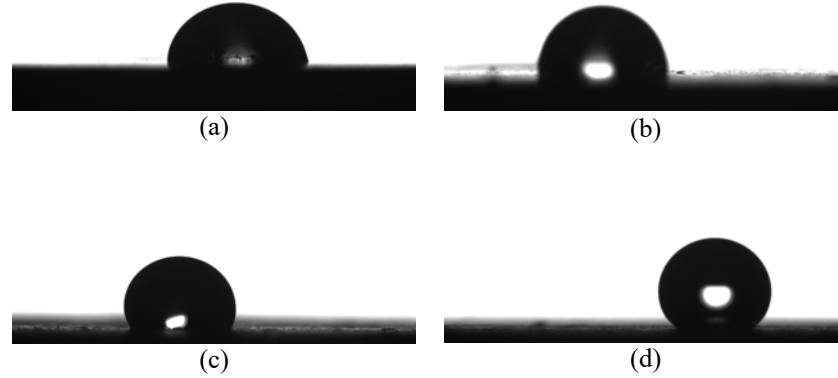


(d)

Şekil 4. 20. Farklı çeliklerde 5M HNO₃ + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37



Şekil 4. 21. Farklı çeliklerde 5 M HNO₃ + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri

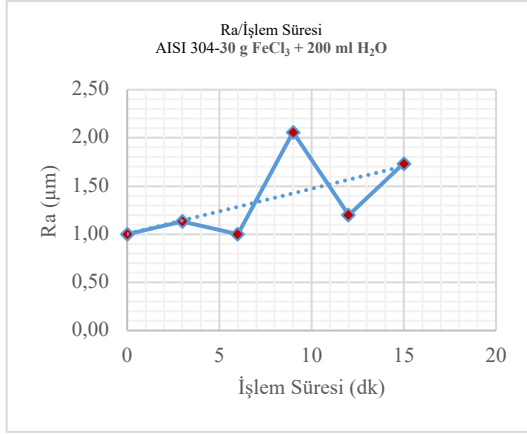


Şekil 4. 22. Farklı çelik numunelerin 5 M HNO₃+1,2x10⁻³ M CTAB ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri (a)AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

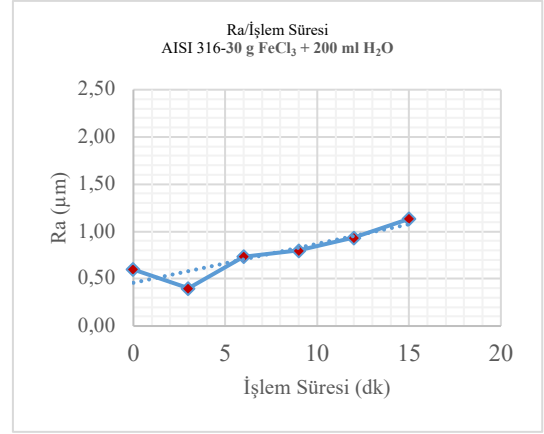
Çizelge 4.26’da AISI304 ve AISI316 paslanmaz çelik numunelerde 30 g FeCl₃ + 200 ml H₂O çözeltisi ile oda sıcaklığında kimyasal işlemenin ardından 24 saat modifikasyonun yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda AISI 304 paslanmaz çelik numunelerde işlem süresine bağlı olarak Ra 1,00 µm ile 2,06 µm arasındadır ve temas açısı 83,8° olarak ölçülmüştür. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerde Ra değeri 0,40 µm ile 1,13 µm arasında değişiklik gösterirken temas açısı 94,6° olarak ölçülmüştür. Numuneler hidrofobik davranış göstermektedir. FeCl₃’ün aşındırıcı reaktif olarak kullanıldığı deneylerde kontrollü dağlama sağlandığından yüzey pürüzlülüğünde lineer bir artış olduğu ve yüksek temas açısı elde edilmesine olanak sağladığı söylenebilir.

Çizelge 4. 26. AISI 304 ve AISI 316 Paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl₃ + 200 ml H₂O çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

AISI304		30 g FeCl ₃ + 200 ml H ₂ O+ 1,2x10 ⁻³ M CTAB+ 1 STA, DCC								
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Ra _i (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Ra _f (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
3	1,00	1,00	1,20	1,20	1,13	20,00	46,45	53,24	50,31	50,00
6	1,13	0,80	1,20	1,00	1,00	-16,67				
9	1,00	1,80	2,20	2,18	2,06	106,00				
12	2,06	1,00	1,30	1,30	1,20	-36,89				
15	1,20	1,80	1,60	1,80	1,73	38,46	83,68	83,82	83,84	83,78 ± 0,09
AISI316		30 g FeCl ₃ + 200 ml H ₂ O+ 1,2x10 ⁻³ M CTAB+ 1 STA, DCC								
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Ra _i (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Ra _f (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
3	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	-33,33	33,18	36,65	35,17	35,00
6	0,40	0,60	0,80	0,80	0,73	50,00				
9	0,73	0,80	0,80	0,80	0,80	33,33				
12	0,80	0,80	1,20	0,80	0,93	25,00				
15	0,93	1,00	1,20	1,20	1,13	20,00	95,17	94,48	94,08	94,58 ± 0,55

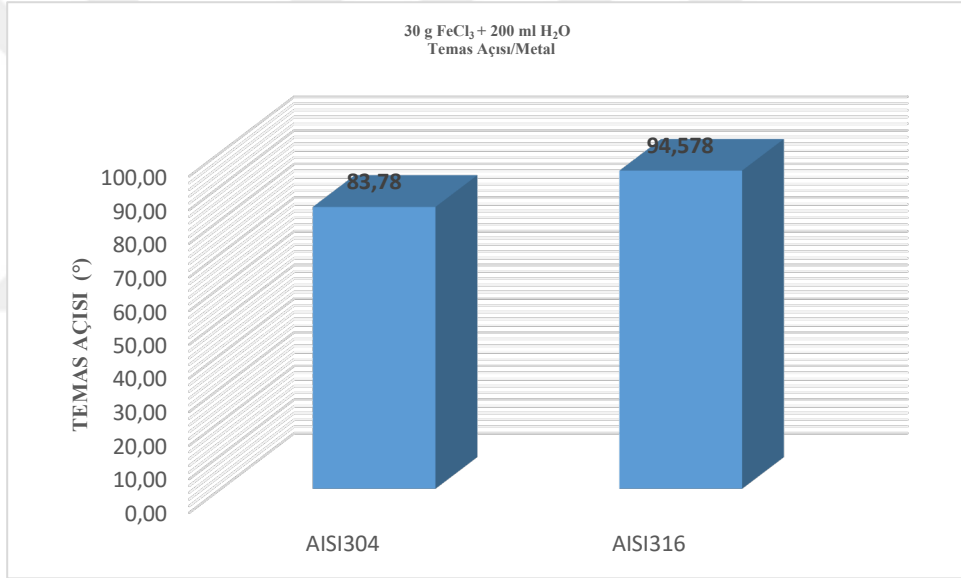


(a)

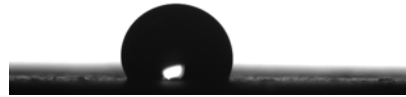


(b)

Şekil 4. 23. Farklı paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl₃ + 200 ml H₂O çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316



Şekil 4. 24. Farklı çeliklerde 30 g FeCl₃ + 200 ml H₂O çözeltisi ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri



(a)



(b)

Şekil 4. 25. Farklı paslanmaz çelik numunelerin 30 g FeCl₃ + 200 ml H₂O ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri (a) AISI304 (b) AISI 316

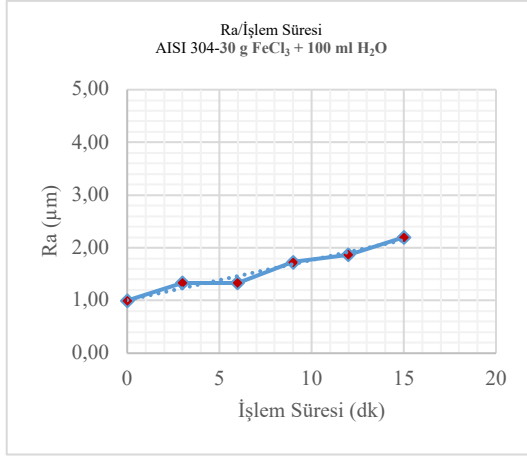
Çizelge 4.27-4.28. ve Şekil 4.26-4.28. arasında AISI304 ve AISI316 paslanmaz çelik numunelerde 30 g FeCl₃ + 100 ml H₂O+ 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile oda sıcaklığında kimyasal işlemenin ardından 24 saat modifikasyonun yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda AISI 304 paslanmaz çelik numunelerde işlem süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değeri 1,00 µm ile 2,20 µm arasında değiştiği ve en yüksek artışın 3. dakika sonunda olduğu tespit edilirken, temas açısı 109,2° olarak ölçülmüştür. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerde yüzey pürüzlülük değeri 0,60 µm ile 4,20 µm arasında değişiklik gösterirken temas açısı 88,4° olarak ölçülmüştür. FeCl₃'ün aşındırıcı reaktif olarak kullanıldığı deneylerde CTAB ilavesi ile yüzey pürüzlülüğünde lineer bir artış olması kontrollü işleme sağlandığını göstermektedir.

Çizelge 4. 27. AISI 304 Paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl₃ + 100 ml H₂O + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

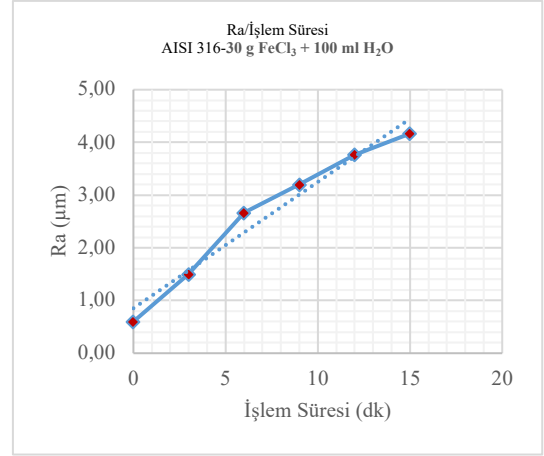
AISI304	30 g FeCl ₃ + 100 ml H ₂ O+ 1,2x10 ⁻³ M CTAB+ STA, DCC									
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Ra _i (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Ra _f (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
3	1,00	1,20	1,40	1,40	1,33	33,33	46,45	53,24	50,31	50,00
6	1,33	1,20	1,20	1,40	1,33	0,00	—	—	—	—
9	1,33	1,80	1,60	1,80	1,73	30,00	—	—	—	—
12	1,73	1,80	1,80	2,00	1,87	7,69	—	—	—	—
15	1,87	2,00	2,20	2,40	2,20	17,86	109,31	109,12	109,12	109,18 ± 0,12

Çizelge 4. 28. AISI 316 Paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl₃ + 100 ml H₂O + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

AISI316	30 g FeCl ₃ + 100 ml H ₂ O+ 1,2x10 ⁻³ M CTAB+ 5 mmol/l STA, DCC									
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Ra _i (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Ra _f (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
3	0,60	1,50	1,50	1,50	1,50	150,00	33,18	36,65	35,17	35,00
6	1,50	2,50	2,90	2,60	2,67	77,78	—	—	—	—
9	2,60	3,00	3,40	3,20	3,20	23,08	—	—	—	—
12	3,20	3,50	3,90	3,90	3,77	17,71	—	—	—	—
15	3,90	3,90	4,40	4,20	4,17	6,84	88,41	88,31	88,38	88,37 ± 0,05

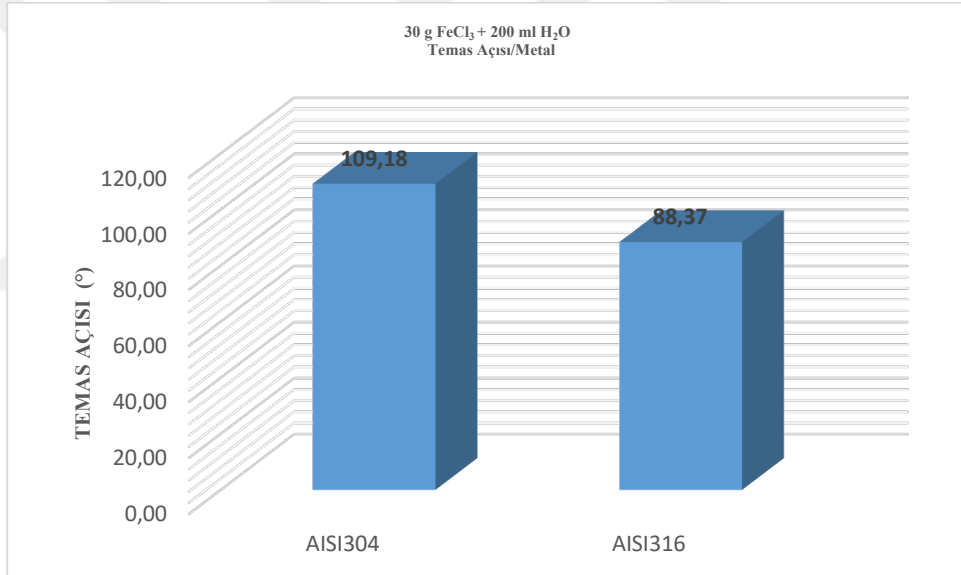


(a)



(b)

Şekil 4. 26. Farklı paslanmaz çeliklerde 30 g FeCl₃ + 100 ml H₂O çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316



Şekil 4. 27. Farklı çeliklerde 30 g FeCl₃ + 100 ml H₂O + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri



(a)



(b)

Şekil 4. 28. Farklı paslanmaz çelik numunelerin 30 g FeCl₃ + 100 ml H₂O+ 1,2x10⁻³ M CTAB ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri (a) AISI304 (b) AISI 316

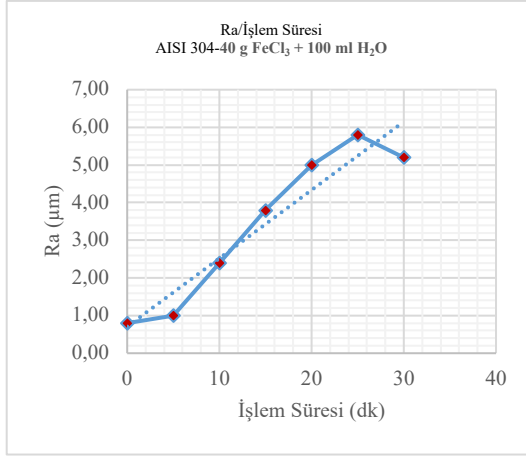
Çizelge 4.29 ve 4.30.'da AISI304 ve AISI316 numunelerde 40 g FeCl₃ + 100 ml H₂O+ 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile kimyasal işlemenin ardından modifikasyonun yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda AISI 304 numunelerde işlem süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değeri 0,80 µm ile 5,80 µm arasında değiştiği ve en yüksek artışın 10. dakika sonunda olduğu tespit edilirken, temas açısı 117,7° olarak ölçülmüştür. AISI 316 numunelerde yüzey pürüzlülük değeri 1,40 µm ile 6,30 µm arasında değişiklik gösterirken temas açısı 111,3°'dür. En yüksek yüzey pürüzlülüğü artışı 10. dakika sonunda ölçülmüştür. Numuneler hidrofobik davranış göstermektedir. FeCl₃ miktarının artışına bağlı konsantrasyon artışı yüzey pürüzlülüğünde yaklaşık %50, temas açısında ise yaklaşık %3-%8 artış sağlamıştır. FeCl₃ miktarının artırılması, paslanmaz çelik yüzeylerde pasif oksit tabakasının çözünmesini hızlandırarak mikro çukurcuklar oluşmasına neden olmuştur. Bu durum yüzey pürüzlülüğünü arttırmaktadır. Artan pürüzlülük, temas oranını düşürerek temas açısının artmasını sağlamıştır. Değerler Şekil 4.29., 4.30. ve 4.31'de gösterilmektedir.

Çizelge 4. 29. AISI 304 çeliklerde 40 g FeCl₃+ 100 ml H₂O+ 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

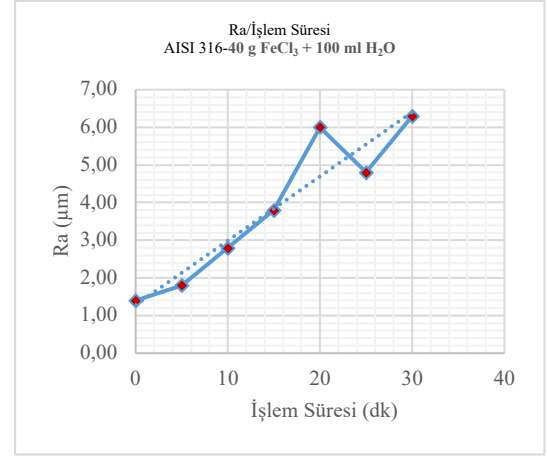
AISI304	40 g FeCl ₃ + 100 ml H ₂ O+ 1,2x10 ⁻³ M CTAB, STA, DCC									
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Ra _i (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Ra _f (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	0,80	0,80	1,20	1,00	1,00	25,00	46,45	53,24	50,31	50,00
10	1,00	2,20	2,60	2,40	2,40	140,00	—	—	—	—
15	2,40	3,60	3,80	4,00	3,80	58,33	—	—	—	—
20	3,80	4,80	5,00	5,40	5,00	31,58	—	—	—	—
25	5,00	5,40	5,80	6,00	5,80	16,00	—	—	—	—
30	5,80	5,10	5,40	5,00	5,20	-10,34	117,52	117,87	117,70	117,69 ± 0,17

Çizelge 4. 30. AISI 316 çeliklerde 40 g FeCl₃ +100 ml H₂O + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

AISI316	40 g FeCl ₃ + 100 ml H ₂ O+1,2x10 ⁻³ M CTAB+ STA, DCC									
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Ra _i (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Ra _f (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	1,40	1,60	2,00	1,80	1,80	28,57	33,18	36,65	35,17	35,00
10	1,80	2,80	2,80	2,80	2,80	55,56	—	—	—	—
15	2,80	3,60	3,80	3,80	3,80	35,71	—	—	—	—
20	3,80	5,80	6,00	6,20	6,00	57,89	—	—	—	—
25	6,00	4,60	4,80	4,80	4,80	-20,00	—	—	—	—
30	4,80	6,20	6,20	6,50	6,30	31,25	111,53	110,86	111,54	111,31 ± 0,39

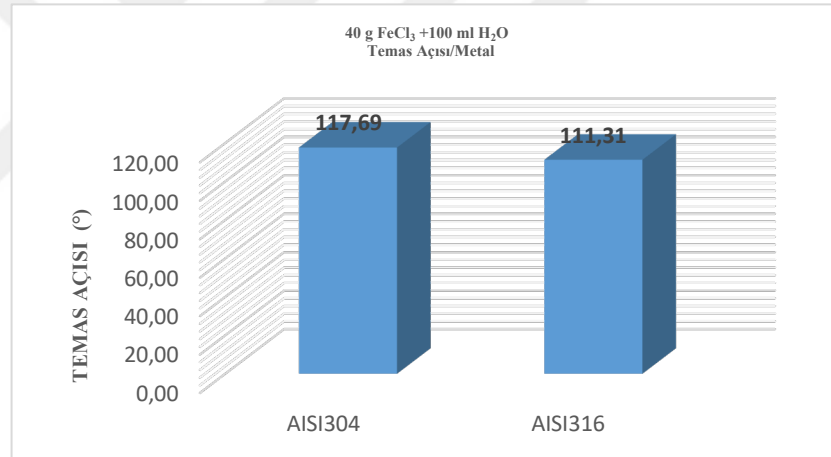


(a)



(b)

Şekil 4. 29. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g FeCl₃ +100 ml H₂O + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (a) AISI304 ve (b) AISI 316



Şekil 4. 30. AISI304 ve AISI 316 çeliklerde 40 g FeCl₃ +100 ml H₂O + 1,2x10⁻³ M CTAB çözeltisi ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri



Şekil 4. 31. Farklı paslanmaz çeliklerin 40 g FeCl₃ +100 ml H₂O + 1,2x10⁻³ M CTAB ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri (a) AISI304 ve (b) AISI 316

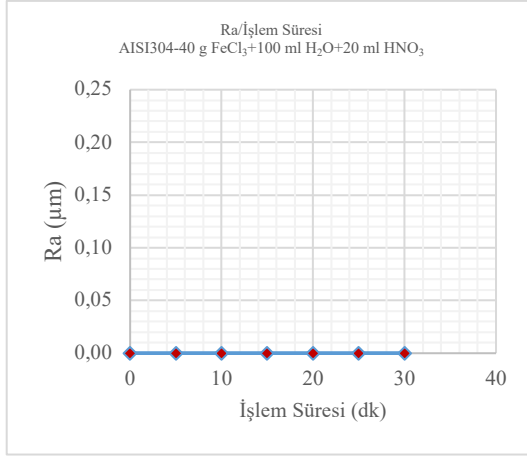
Çizelge 4.31. ve 4.32.'de AISI304 ve AISI316 paslanmaz çelik numunelerde 40 g $\text{FeCl}_3 + 100 \text{ ml H}_2\text{O} + 20 \text{ ml HNO}_3$ çözeltisi ile kimyasal işlemenin ardından modifikasyonun yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Paslanmaz çelik numunelerde işlem süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde değişiklik olmamıştır. FeCl_3 çözeltisine HNO_3 ilavesi ile yüzey pürüzlülüğünün sabit kalmasının nedeni, nitrik asidin paslanmaz çeliği pasifleştirerek klorürün aşındırma etkisini nötrlemesi olduğunu düşündürmektedir. Değerler Şekil 4.32., 4.33. ve 4.34.'de gösterilmektedir.

Çizelge 4. 31. AISI 304 çeliklerde 40 g $\text{FeCl}_3 + 100 \text{ ml H}_2\text{O} + 20 \text{ ml HNO}_3 + 1,2 \times 10^{-3} \text{ M CTAB}$ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

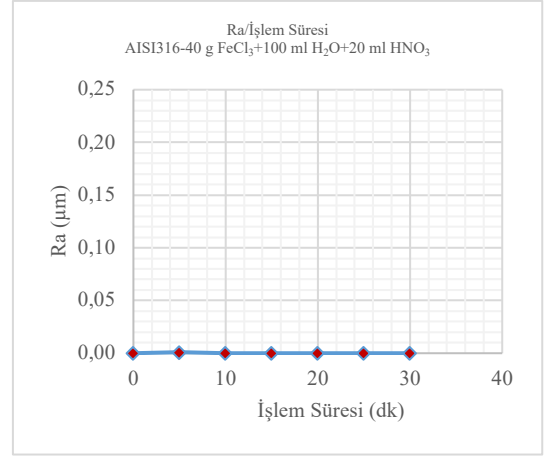
AISI304	40 g $\text{FeCl}_3 + 100 \text{ ml H}_2\text{O} + 20 \text{ ml HNO}_3 + 1,2 \times 10^{-3} \text{ M CTAB} + \text{STA, DCC}$									
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi $R_a (\mu\text{m})$	İşlem Sonrası $R_a (\mu\text{m})$			İşlem Sonrası $R_a (\mu\text{m})$	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı ($^\circ$)			Temas Açısı Ortalama ($^\circ$)
5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	46,45	53,24	50,31	50,00
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	—	—	—	—
15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	—	—	—	—
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	—	—	—	—
25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	—	—	—	—
30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	82,26	82,10	81,63	81,99 \pm 0,33

Çizelge 4. 32. AISI 316 paslanmaz çeliklerde 40 g $\text{FeCl}_3 + 100 \text{ ml H}_2\text{O} + 20 \text{ ml HNO}_3 + 1,2 \times 10^{-3} \text{ M CTAB}$ çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi

AISI316	40 g $\text{FeCl}_3 + 100 \text{ ml H}_2\text{O} + 20 \text{ ml HNO}_3 + 1,2 \times 10^{-3} \text{ M CTAB} + \text{STA, DCC}$									
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi $R_a (\mu\text{m})$	İşlem Sonrası $R_a (\mu\text{m})$			İşlem Sonrası $R_a (\mu\text{m})$	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı ($^\circ$)			Temas Açısı Ortalama ($^\circ$)
5	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	-25,00	33,18	36,65	35,17	35,00
10	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,00	—	—	—	—
15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,00	—	—	—	—
20	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,00	—	—	—	—
25	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,00	—	—	—	—
30	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,00	75,47	76,74	76,74	76,32 \pm 0,73

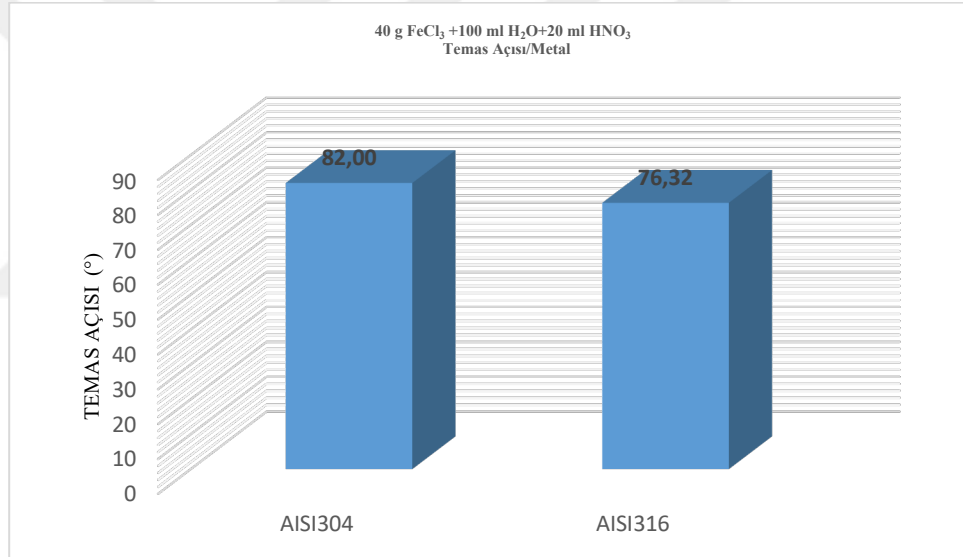


(a)



(b)

Şekil 4. 32. Farklı paslanmaz çeliklerin 40 g FeCl₃ + 100 ml H₂O+ 20 ml HNO₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316



Şekil 4. 33. Farklı paslanmaz çeliklerde 40 g FeCl₃ + 100 ml H₂O+ 20 ml HNO₃ çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri



Şekil 4. 34. Paslanmaz çelik numunelerin 40 g FeCl₃ +100 ml H₂O + 20 ml HNO₃ ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri (a) AISI304 (b) AISI 316

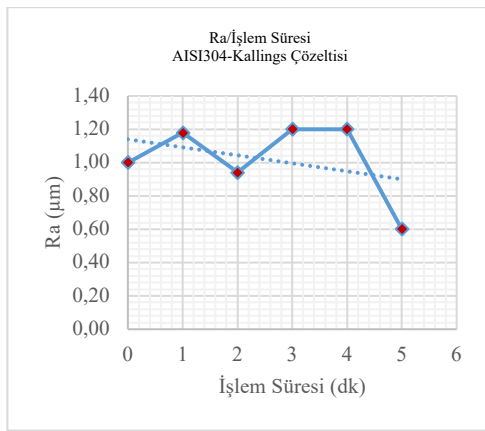
Çizelge 4.33.- 4.36. ve Şekil 4.35.- 4.40. arasında AISI304 ve AISI316 paslanmaz çelik numunelerde 200 ml Kallings çözeltisi ile oda sıcaklığında farklı sürelerde (0-5 dk ve 0-25 dak) kimyasal işlemenin ardından modifikasyonun yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Paslanmaz çelik numunelerde işlem süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde değişiklik olmamıştır. Numuneler hidrofobiktir.

Çizelge 4. 33. AISI 304 Paslanmaz çeliklerde 200 ml Kallings çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi (0-5 dk.)

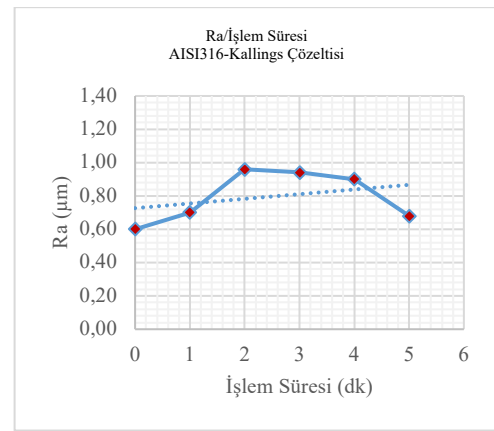
AISI 304	200 ml Kallings Çözeltisi												
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (µm)			İşlem Öncesi Rai (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Raf (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,18	1,18	1,17	1,18	18,00	95,01	95,06	95,25	95,11±0,12
2	0,80	0,80	0,80	0,80	0,89	0,94	0,98	0,94	17,50	82,23	82,42	82,25	82,30 ±0,10
3	1,00	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,25	1,20	0,00	97,17	97,17	97,68	97,34±0,29
4	1,00	1,20	1,30	1,20	1,15	1,20	1,24	1,20	0,00	110,39	110,39	110,62	110,46±0,14
5	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,55	0,60	0,00	94,28	94,61	94,55	94,48±0,18

Çizelge 4. 34. AISI 316 Paslanmaz çeliklerde 200 ml Kallings çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi (0-5 dk.)

AISI 316	200 ml Kallings Çözeltisi												
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (µm)			İşlem Öncesi Rai (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Raf (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
1	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	16,67	98,50	96,51	97,90	97,64 ± 1,02
2	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,96	0,95	0,96	-4,00	93,24	93,26	93,40	93,30 ± 0,09
3	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,94	0,95	0,94	-6,00	78,81	78,89	77,70	78,47 ± 0,66
4	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0,89	0,90	0,90	-10,00	78,09	78,31	78,22	78,21 ± 0,12
5	0,60	0,60	0,60	0,60	0,66	0,68	0,68	0,68	13,33	70,27	71,34	71,25	70,96 ± 0,59

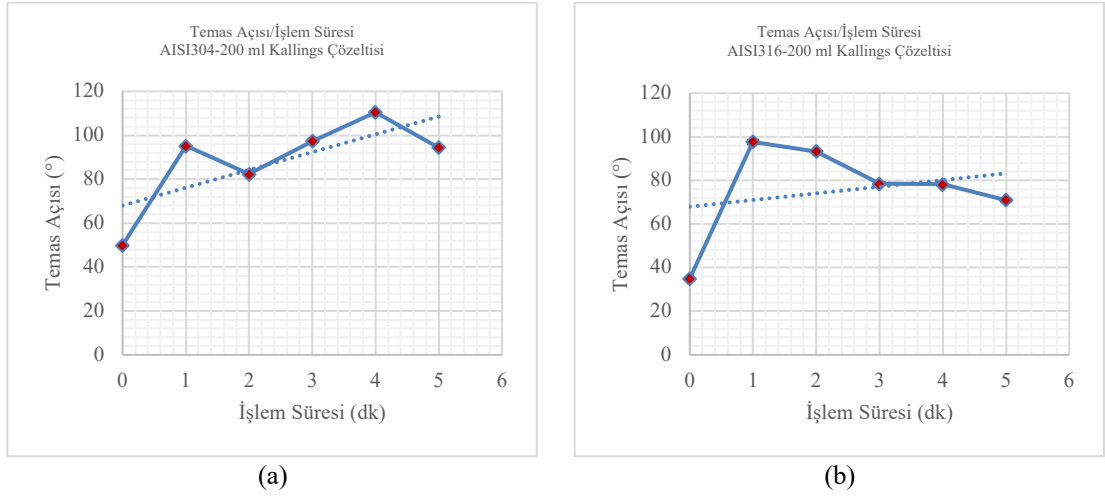


(a)

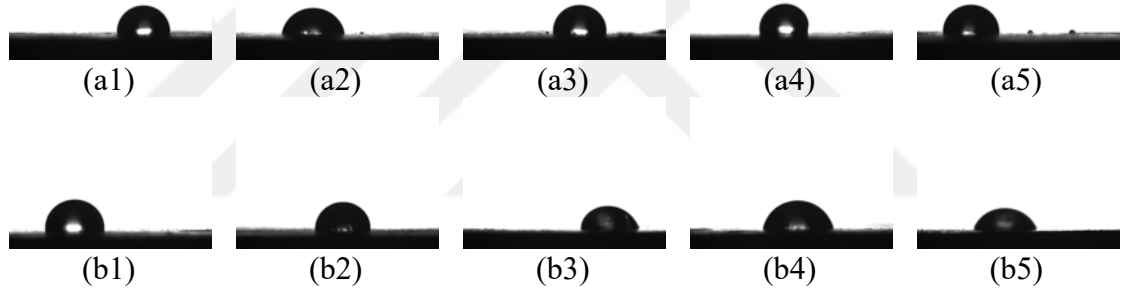


(b)

Şekil 4. 35. AISI304 ve AISI 316 çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (0-5 dk.) (a) AISI304 (b) AISI 316



Şekil 4. 36. AISI304 ve AISI 316 çeliklerde Kallings Çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri (0-5 dk.) (a) AISI304 (b) AISI 316



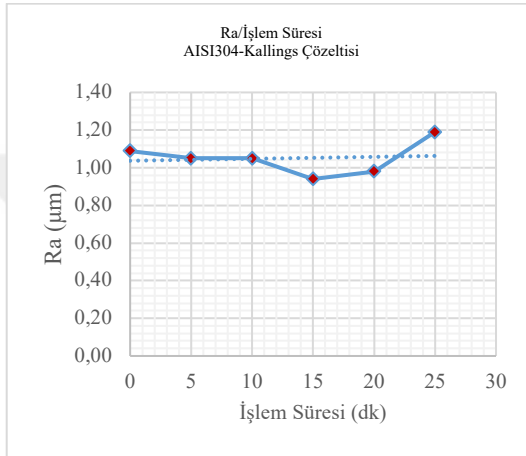
Şekil 4. 37. Farklı paslanmaz çelik numunelerin Kallings çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri (a1-a5) AISI304, 1-5 dak. (b1-b5) AISI 316, 1-5 dak.

Çizelge 4. 35. AISI 304 paslanmaz çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi (0-25 dk)

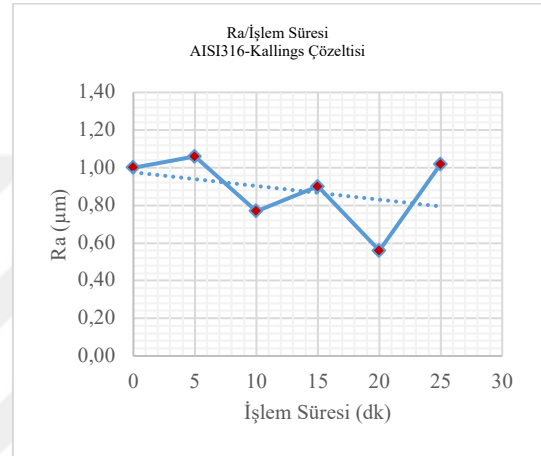
AISI 304	200 ml Kallings Çözeltisi											
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (µm)			İşlem Öncesi Raf (µm)			İşlem Sonrası Raf (µm)			Yüzde Değişim (%)		
5	1,07	1,07	1,13	1,09	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	-3,67	97,00	97,00
10	0,99	1,06	1,12	1,06	1,00	1,05	1,10	1,05	1,05	-0,63	98,00	102,00
15	0,86	0,86	0,79	0,84	0,92	0,92	0,98	0,94	0,94	12,35	96,00	96,00
20	0,59	0,66	0,72	0,66	0,92	0,98	1,04	0,98	0,98	49,24	99,00	103,00
25	1,17	1,17	1,23	1,19	1,15	1,15	1,27	1,19	1,19	0,00	91,00	91,00

Çizelge 4. 36. AISI 304 paslanmaz çeliklerde 200 ml Kallings çözeltisi ile işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı üzerine etkisi (0-25 dk)

AISI 316	200 ml Kallings Çözeltisi												
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (μm)			İşlem Öncesi Rai (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	1,05	1,08	1,06	6,00	105,00	105,00	117,00	109,00 ± 6,93
10	0,80	0,80	0,83	0,81	0,71	0,77	0,83	0,77	-4,94	110,00	116,00	120,00	115,33 ± 5,03
15	0,84	0,89	0,94	0,89	0,88	0,88	0,94	0,90	1,12	98,00	98,00	113,00	103,00 ± 8,66
20	0,60	0,60	0,66	0,62	0,50	0,56	0,62	0,56	-9,68	95,00	90,00	100,00	95,00 ± 5,00
25	1,00	1,06	1,12	1,06	1,00	1,00	1,06	1,02	-3,77	85,00	85,00	100,00	90,00 ± 8,66

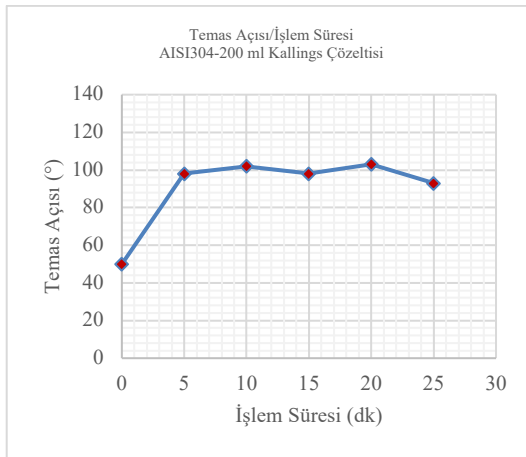


(a)

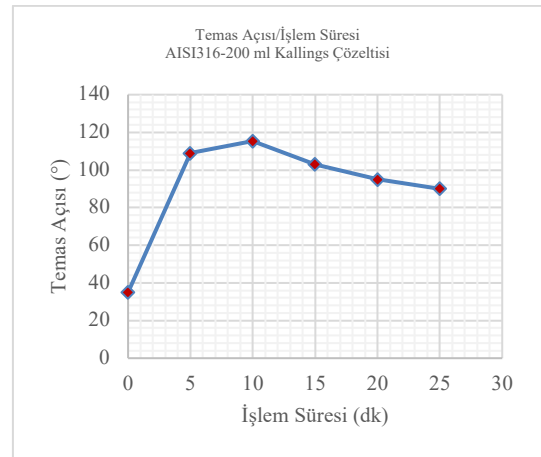


(b)

Şekil 4. 38. AISI304 ve AISI 316 çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (0-25) dk (a) AISI304 (b) AISI 316

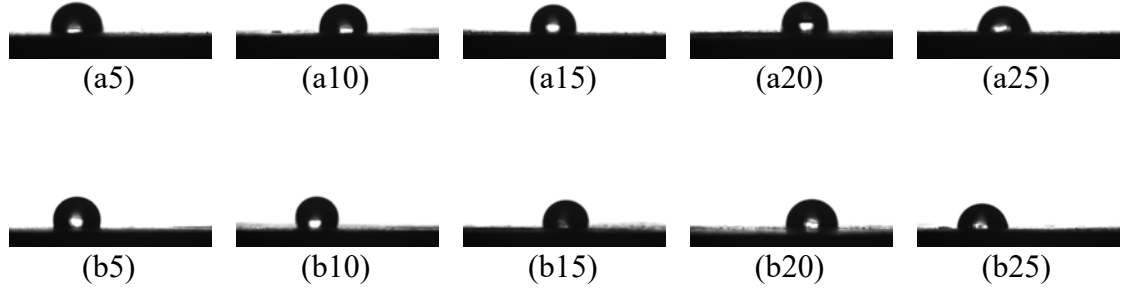


(a)



(b)

Şekil 4. 39. AISI304 ve AISI 316 çeliklerde Kallings çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri (0-25 dk) (a) AISI304 (b) AISI 316



Şekil 4. 40. Farklı paslanmaz çelik numunelerin Kallings çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası temas açısı görüntüleri (a5-a25), AISI304, 5-25dak., (b5-b25), AISI 316,5-25 dak.

Çizelge 4.37-4.40 arasında AISI304, AISI316, C1040 ve St37 çeliklerinde tek basamaklı bir kimyasal işleme yöntemi kullanılarak HF/H₂O₂ ile başlatılan ve HF+1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi devam eden reaksiyonda, işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, malzeme türünün ve işlem süresinin yüzey morfolojisi üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. AISI 304 numunesinde işlem süresi arttıkça yüzey pürüzlülüğü önemli ölçüde yükselmiştir. En yüksek temas açısı 50. dakikada 174,46° olarak ölçülmüştür. Bu süre AISI 304 için optimum işlem süresi olarak değerlendirilebilir. AISI 316 numunesinde ise en yüksek temas açısı 40. dakikada 135,7° olarak ölçülmüştür. Süre arttıkça yüzeydeki kimyasal çözünme oranı artışı yüzeyin aşırı aşınmasına neden olarak temas açısında düşüş yaratmıştır. Bu durum, HF'nin yüzey oksit tabakasını kısmen çözerek kimyasal bileşimi bozmasından kaynaklanabilir. C1040 ve St37 karbon çeliklerinde HF'nin aşındırıcı etkisi çok daha belirgindir. Yüzey pürüzlülüğü artışının çok yüksek olması yüzey morfolojisini bozmuştur. Yüzeyler oleofiliktir. Bu sonuçlar, HF'nin paslanmaz çeliklerde kontrollü pürüzlenme yoluyla hidrofobik yüzey oluşturabildiğini; ancak karbon çeliklerinde aşırı çözünme nedeniyle yüzeyin süperhidrofilik hale geldiğini göstermektedir. Değerler Şekil 4.41.,4.42 ve 4.43'te gösterilmektedir.

Çizelge 4. 37. AISI304 paslanmaz çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

<i>AISI 304</i>	<i>1/100 PFDTES (g)/ HF(g)</i>												
<i>İşlem Süresi (dk)</i>	<i>İşlem Öncesi Rai (μm)</i>			<i>İşlem Öncesi Rai (μm)</i>	<i>İşlem Sonrası Raf (μm)</i>			<i>İşlem Sonrası Raf (μm)</i>	<i>Yüzde Değişim (%)</i>	<i>Temas Açısı (°)</i>			<i>Temas Açısı Ortalama (°)</i>
30	0,94	1,00	0,54	0,83	1,26	1,04	0,78	1,03	24,19	147,01	150,79	150,56	149,45 ± 2,12
40	0,54	0,62	0,60	0,59	0,68	1,62	1,30	1,20	104,55	145,63	134,00	142,56	140,73 ± 6,03
50	0,58	0,88	0,58	0,68	1,66	1,96	1,86	1,83	168,63	163,88	174,46	168,27	168,87 ± 5,31
60	0,80	1,12	0,62	0,85	1,00	1,70	1,38	1,36	21,26	154,02	153,89	145,67	147,06 ± 4,78
70	0,62	0,76	0,62	0,67	1,88	2,52	2,40	2,27	240,00	148,67	146,53	145,98	139,71 ± 1,42

Çizelge 4. 38. AISI316 paslanmaz çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

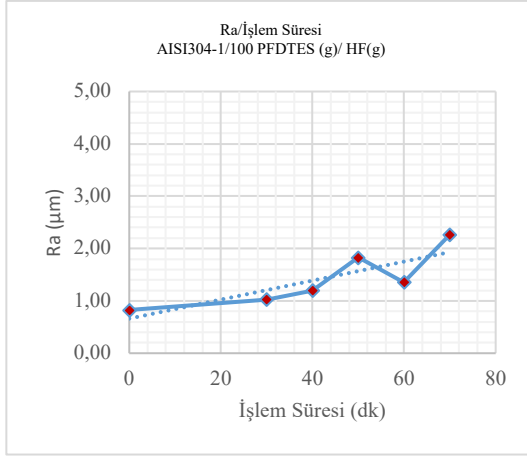
<i>AISI 316</i>	<i>1/100 PFDTES (g)/ HF(g)</i>												
<i>İşlem Süresi (dk)</i>	<i>İşlem Öncesi Rai (μm)</i>			<i>İşlem Öncesi Rai (μm)</i>	<i>İşlem Sonrası Raf (μm)</i>			<i>İşlem Sonrası Raf (μm)</i>	<i>Yüzde Değişim (%)</i>	<i>Temas Açısı (°)</i>			<i>Temas Açısı Ortalama (°)</i>
30	0,34	0,42	0,50	0,42	0,64	1,64	0,88	1,05	-2,44	79,62	89,72	92,71	87,35 ± 6,86
40	0,98	1,08	0,90	0,99	0,88	1,66	0,90	1,15	1,25	138,07	136,82	132,21	135,70 ± 3,09
50	0,54	1,64	0,44	0,87	1,20	1,70	1,56	1,49	40,42	105,34	107,59	101,73	104,89 ± 2,96
60	0,48	0,86	0,60	0,65	1,22	1,06	1,92	1,40	20,00	92,96	92,79	78,51	88,08 ± 8,29
70	0,80	1,56	0,52	0,96	0,52	0,44	1,30	0,75	56,35	80,28	89,15	76,36	81,930± 6,55

Çizelge 4. 39. C1040 çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

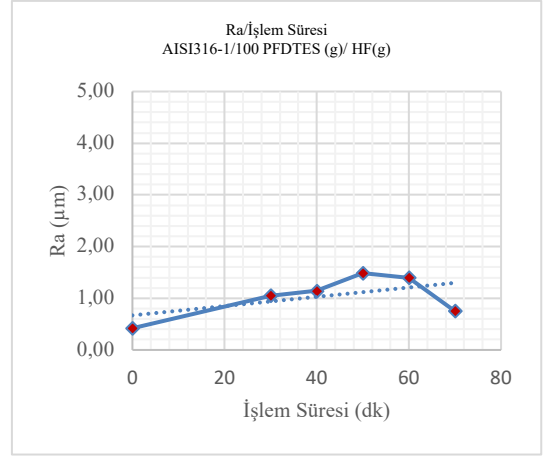
C1040	1/100 PFDTES (g)/ HF(g)											
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (μm)			İşlem Öncesi Rai (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)		
30	0,24	0,58	0,24	0,35	3,90	3,76	2,62	3,43	869,81	<50	<50	<50
40	0,32	0,28	0,34	0,31	4,64	3,96	4,10	4,23	1250,00	<50	<50	<50
50	0,58	0,44	0,48	0,50	3,44	4,10	4,22	3,92	684,00	<50	<50	<50
60	0,54	0,44	0,48	0,49	5,46	4,80	4,20	4,82	890,41	<50	<50	<50
70	0,60	0,54	0,66	0,60	3,98	4,30	3,28	3,85	542,22	<50	<50	<50

Çizelge 4. 40. St37 Çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

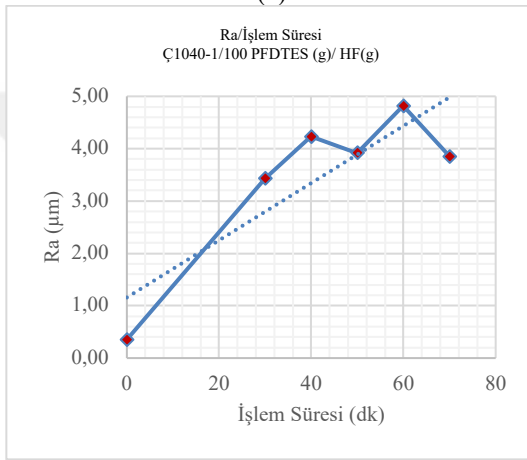
St37	I/100 PFDTES (g)/ HF(g)											
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (μm)			İşlem Öncesi Rai (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)		
30	0,88	0,40	0,18	0,49	1,84	1,58	1,74	1,72	277,08	<50	<50	<50
40	0,58	0,34	0,30	0,41	1,52	1,70	1,74	1,65	302,44	<50	<50	<50
50	0,60	0,80	0,52	0,64	1,28	1,70	1,78	1,59	247,37	<50	<50	<50
60	0,46	0,50	0,44	0,47	2,08	2,74	3,68	2,83	431,91	<50	<50	<50
70	0,80	0,72	0,86	0,79	3,68	2,46	2,60	2,91	532,61	<50	<50	<50



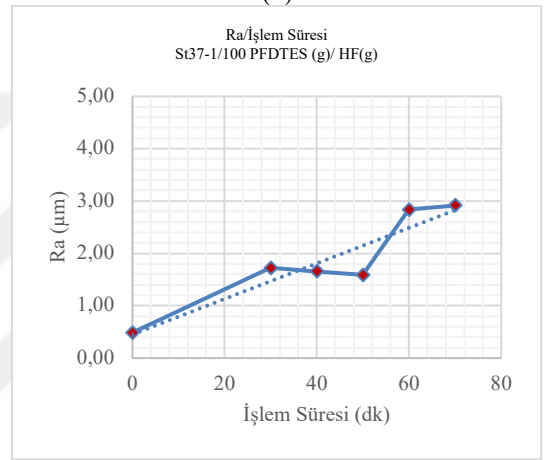
(a)



(b)

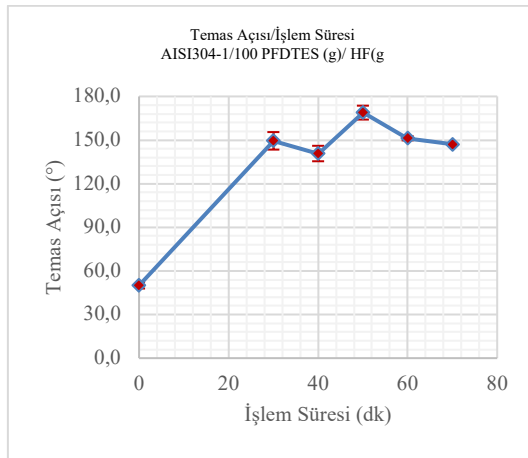


(c)

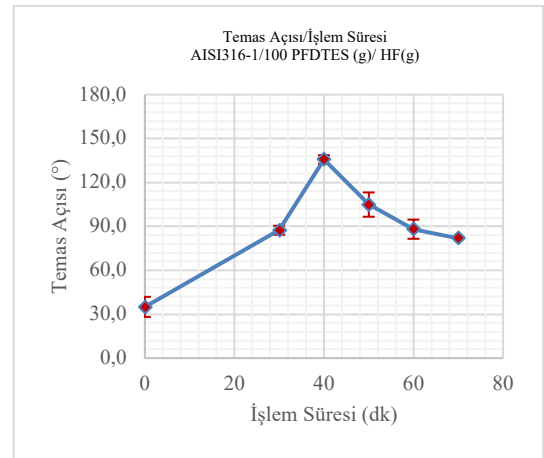


(d)

Şekil 4. 41. Farklı çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

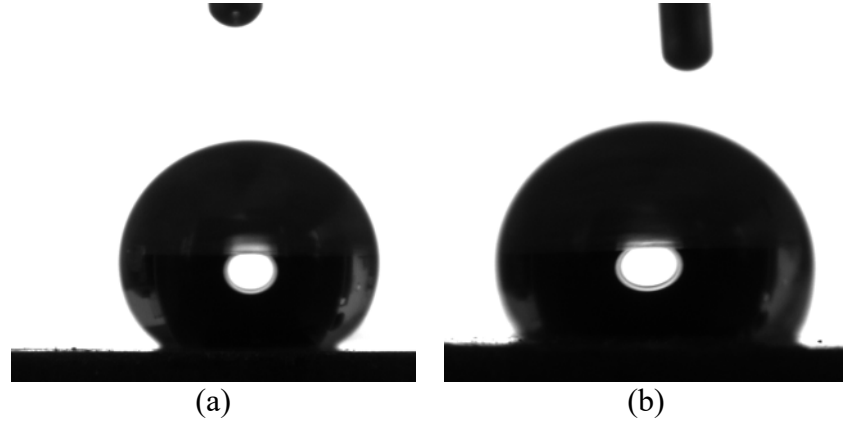


(a)



(b)

Şekil 4. 42. Farklı paslanmaz çeliklerde 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316



Şekil 4. 43. Farklı paslanmaz çelik numunelerin 1/100 PFDTES (g)/ HF(g) çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası en yüksek temas açısı görüntüleri (a) AISI304 (b) AISI 316

Çizelge 4.41-4.44 ve Şekil 4.44.-4.46 arasında AISI304, AISI316, C1040 ve St37 çeliklerinde tek basamaklı bir kimyasal işleme yöntemi kullanılarak HF/H₂O₂ ile başlatılan ve HF+1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi devam eden reaksiyonda, işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda; AISI 304 numunesinde işlem süresi arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin 0,52µm'den 0,81 µm'ye yükseldiğini, yüzeyin giderek daha pürüzlü hale geldiği görülmüştür. Aynı numunenin temas açısı 30. dakikada 139,3° iken 70. dakikada 54,4°'ye düşerek yüzeyin hidrofobik karakterden hidrofilik yapıya geçiş yaptığını göstermiştir. AISI 316 numunesinde yüzey pürüzlülüğü 0,67 µm -1,24 µm aralığında ölçülmüştür, değişim oranı düşüktür. Temas açısı 30.dakikada 129,4°'iken 70. dakikada 77,7°'ye düşmüştür. C1040 karbon çeliği için Ra değerleri 0,58 µm'den 1,82 µm'ye yükselirken, temas açısı tüm sürelerde <50° olarak ölçülmüştür. St37 çeliğinde Ra değeri 0,33 µm-1,73 µm aralığında ölçülmüştür. Temas açısı yine 50°'nin altındadır. Karbon çeliklerinde yüzeyler süperhidrofiliktir. Bu durum yüzey oksit yapısının ve Cr gibi alaşım elementlerinin asit etkileşimine karşı koruyucu etkisini ortaya koyarken, CTAB'nin çözünme hızını sınırlı hale getirmesi literatürle örtüşmektedir.

Çizelge 4. 41. AISI304 paslanmaz çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

AISI 304	1/100 CTAB (g)/ HF(g)												
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (μm)			İşlem Öncesi Rai (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
30	0,54	0,48	0,58	0,53	0,48	0,50	0,58	0,52	0	139,90	138,98	139,06	139,31 ± 0,51
40	0,58	0,60	0,50	0,56	0,58	0,54	0,58	0,57	1,25	126,75	129,72	109,95	122,14 ± 10,66
50	0,50	0,52	0,56	0,53	0,62	0,98	0,62	0,74	40,41	67,99	73,02	72,97	71,33 ± 2,89
60	0,60	0,48	0,48	0,52	0,62	0,90	0,64	0,72	200,00	122,58	123,05	109,31	118,31 ± 7,80
70	0,56	0,78	0,46	0,60	0,82	0,84	0,78	0,81	56,34	79,87	44,24	38,99	54,37 ± 22,24

Çizelge 4. 42. AISI316 paslanmaz çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

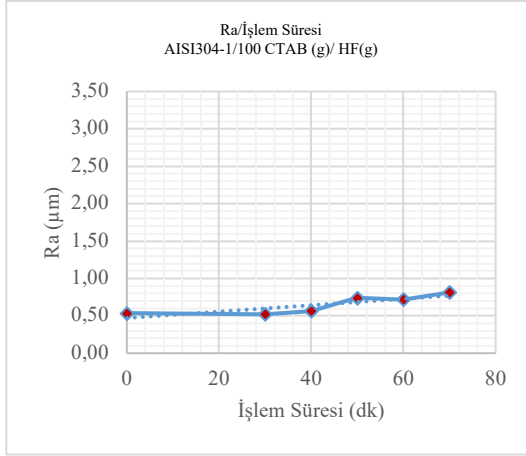
AISI 316	1/100 CTAB (g)/ HF(g)												
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (μm)			İşlem Öncesi Rai (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
30	1,16	1,16	0,94	1,08	0,52	0,76	0,74	0,673	0	127,23	132,37	128,58	129,39 ± 2,66
40	0,56	0,50	1,28	0,78	0,48	0,60	0,46	0,513	0	89,53	122,35	98,15	103,34 ± 17,01
50	0,54	0,48	0,50	0,51	0,46	0,76	0,54	0,587	15,79	117,14	122,06	93,47	110,89 ± 15,28
60	0,38	0,78	0,50	0,55	0,52	0,52	0,50	0,513	0	89,50	91,94	88,92	90,12 ± 1,60
70	0,76	1,94	2,24	1,65	0,46	1,78	1,48	1,240	0	73,94	80,05	78,97	77,65 ± 3,26

Çizelge 4. 43. C1040 çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

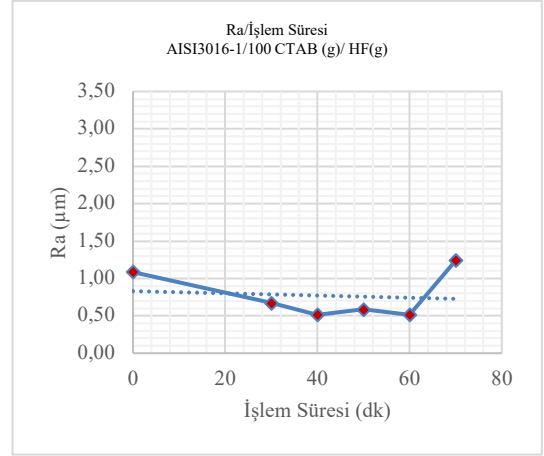
C1040	1/100 CTAB (g)/ HF(g)											
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (μm)			İşlem Öncesi Rai (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)		
30	0,64	0,52	0,60	0,59	3,18	1,82	2,30	2,43	314,48	<50	<50	<50
40	0,56	0,70	0,54	0,60	1,48	2,18	1,54	1,73	188,83	<50	<50	<50
50	0,44	0,50	0,76	0,57	0,74	1,58	1,48	1,27	123,46	<50	<50	<50
60	0,64	0,62	0,70	0,65	2,06	2,72	2,28	2,35	260,34	<50	<50	<50
70	0,62	1,08	0,60	0,77	1,38	2,02	2,06	1,82	137,29	<50	<50	<50

Çizelge 4. 44. St37 Çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

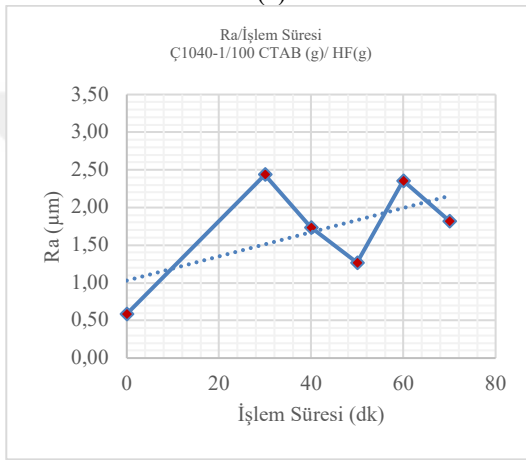
St37	1/100 CTAB (g)/ HF(g)											
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (μm)			İşlem Öncesi Rai (μm)	İşlem Sonrası Raf (μm)			İşlem Sonrası Raf (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)		
30	0,40	0,30	0,28	0,33	2,78	1,38	0,88	1,68	413,76	<50	<50	<50
40	0,26	0,42	0,70	0,46	1,76	0,86	1,10	1,24	169,57	<50	<50	<50
50	0,34	0,24	0,32	0,30	2,32	2,64	2,18	2,38	693,33	<50	<50	<50
60	0,32	0,36	0,28	0,32	1,10	1,66	2,46	1,74	443,75	<50	<50	<50
70	0,36	0,40	0,36	0,37	1,38	2,16	1,66	1,73	356,05	<50	<50	<50



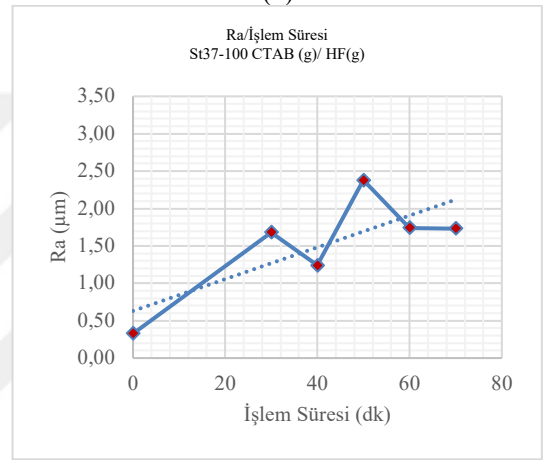
(a)



(b)

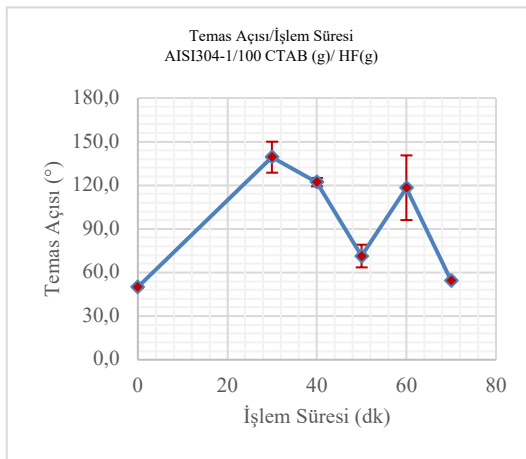


(c)

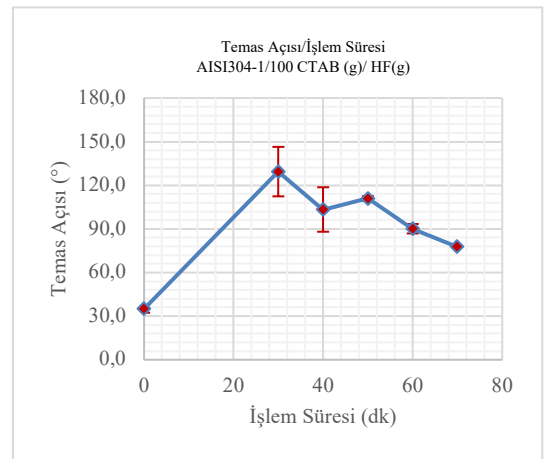


(d)

Şekil 4. 44. Farklı çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

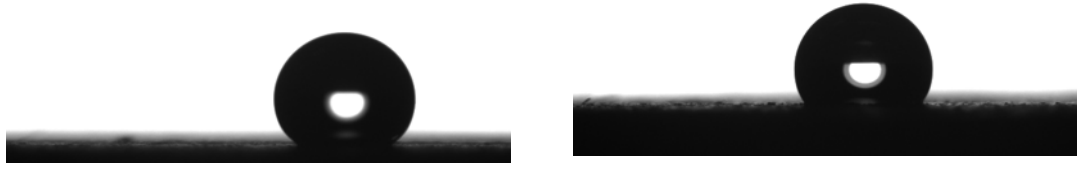


(a)



(b)

Şekil 4. 45. Farklı paslanmaz çeliklerde 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316



Şekil 4. 46. Farklı çelik numunelerin 1/100 CTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası en yüksek temas açısı görüntüleri (a) AISI304 (b) AISI316

Çizelge 4.45-4.48 ve Şekil 4.47.- 4.49. arasında AISI304, AISI316, C1040 ve St37 çeliklerinde HF+1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi devam eden reaksiyonda, işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. AISI 304'te 30–60 dakika arasında ortalama Ra değerinin 0.573 μm 'den 2.120 μm 'ye yükselmesiyle belirgin bir mikro-çukurlaşma kaynaklı pürüzlenme gerçekleşirken, AISI 316'da aynı koşullarda Ra ortalamasında düzensiz bir aşındırma davranışı gözlenmesi, kontrollü olmayan bir yüzey morfolojisi oluşumunu ortaya koymaktadır. Temas açısı değerleri AISI 304 numunelerde 58,2°- 87,1° aralığında iken AISI 316 numunelerde 85,2°'den 13,4°'ye düşmüştür. Paslanmaz çelik numuneler hidrofiliktir. C1040 karbon çeliğinde Ra değerleri 0,06 μm 'den 0,17 μm 'ye çıkmıştır temas açısı 50°'den düşüktür. Benzer şekilde St37 numunesinde Ra değerleri 0,03 μm 'den 0,09 μm 'ye yükselmiş, temas açıları yine 50° seviyesinde ölçülmüştür. Genel olarak, paslanmaz çeliklerde SDS yüzey aktif madde ilavesi HF'nin aşındırıcı etkisini kısmen bastırarak kontrollü pürüzlülük sağlamış, buna karşılık karbon çeliklerinde hızlı aşınma ve oksit çözünmesi sonucunda süperhidrofilik yüzeyler oluşmuştur. Sonuçlar modifiye edici çözeltiliye SDS ilavesinin karbon esaslı çeliklerde yüksek oksit çözünmesi ile düzensiz yüzey morfolojilerine neden olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4. 45. AISI304 paslanmaz çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

AISI 304	1/100 SDS (g)/ HF(g)												
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Ra (μm)			İşlem Öncesi Ra (μm)	İşlem Sonrası Ra (μm)			İşlem Sonrası Ra (μm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
30	0,50	0,62	0,60	0,57	0,88	0,74	0,74	0,79	37,35	84,81	89,18	81,58	85,19 \pm 3,81
40	0,58	0,70	0,68	0,65	1,02	0,94	0,72	0,89	36,75	59,83	44,14	40,37	48,11 \pm 10,32
50	0,58	0,76	0,50	0,61	1,40	1,56	1,58	1,51	146,82	39,80	49,1	46,2	45,03 \pm 4,76
60	0,44	0,78	0,56	0,59	2,04	1,94	2,38	2,12	257,50	13,65	13,38	13,42	13,48 \pm 0,15
70	0,58	0,72	0,52	0,61	1,54	1,86	1,44	1,61	165,73	16,75	21,07	18,54	18,79 \pm 2,17

Çizelge 4. 46. AISI316 paslanmaz çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

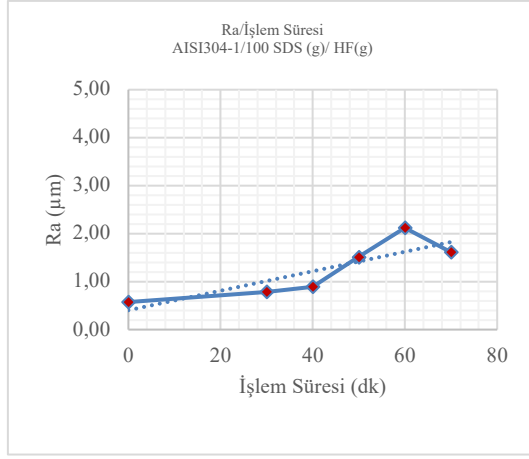
<i>AISI 316</i>	<i>1/100 SDS (g)/ HF(g)</i>												
<i>İşlem Süresi (dk)</i>	<i>İşlem Öncesi Rai (µm)</i>			<i>İşlem Öncesi Rai (µm)</i>	<i>İşlem Sonrası Raf (µm)</i>			<i>İşlem Sonrası Raf (µm)</i>	<i>Yüzde Değişim (%)</i>	<i>Temas Açısı (°)</i>			<i>Temas Açısı Ortalama (°)</i>
30	1,10	1,14	1,50	1,25	1,08	1,04	0,86	0,99	-20,37	57,16	59,74	57,81	58,24 ± 1,34
40	1,46	1,32	0,40	1,06	0,86	0,62	0,50	0,66	-37,74	64,07	65,92	64,44	64,81 ± 0,98
50	0,40	0,70	0,52	0,54	1,32	0,76	0,72	0,93	72,78	73,44	61,57	52,43	62,48 ± 10,53
60	0,58	0,90	0,40	0,63	1,04	0,82	0,56	0,81	28,71	86,82	87,48	87,1	87,13 ± 0,33
70	0,80	1,88	0,40	1,03	0,68	0,76	0,74	0,73	-29,21	60,38	59,37	60,06	59,94 ± 0,52

Çizelge 4. 47. C1040 çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

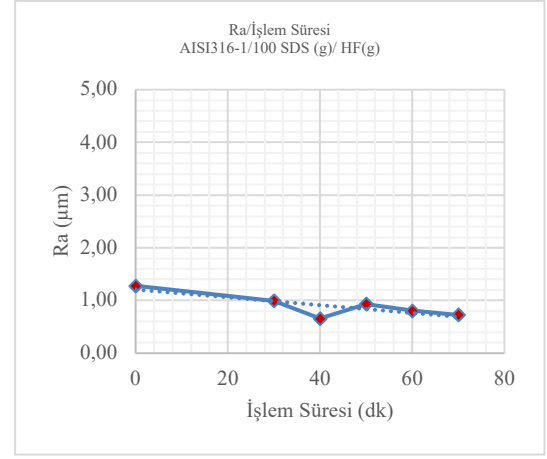
<i>C1040</i>	<i>1/100 SDS (g)/ HF(g)</i>											
<i>İşlem Süresi (dk)</i>	<i>İşlem Öncesi Rai (μm)</i>			<i>İşlem Öncesi Rai (μm)</i>	<i>İşlem Sonrası Raf (μm)</i>			<i>İşlem Sonrası Raf (μm)</i>	<i>Yüzde Değişim (%)</i>	<i>Temas Açısı (°)</i>		
30	0,58	0,62	0,64	0,61	1,96	1,84	1,62	1,81	194,57	<50	<50	<50
40	0,58	0,58	0,60	0,58	1,54	2,86	2,50	2,30	218,18	<50	<50	<50
50	0,54	0,32	0,50	0,45	1,02	2,06	3,08	2,05	294,87	<50	<50	<50
60	0,58	0,56	0,56	0,56	1,96	3,58	3,38	2,97	412,94	<50	<50	<50
70	0,64	0,64	0,66	0,64	2,54	3,82	5,34	3,90	503,09	<50	<50	<50

Çizelge 4. 48. St37 çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

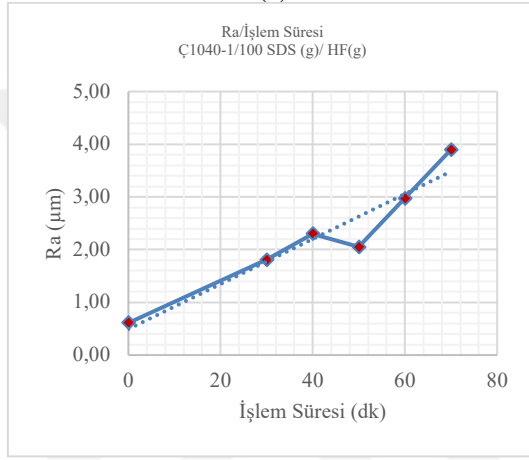
<i>St37</i>	<i>1/100 SDS (g)/ HF(g)</i>											
<i>İşlem Süresi (dk)</i>	<i>İşlem Öncesi Rai (μm)</i>			<i>İşlem Öncesi Rai (μm)</i>	<i>İşlem Sonrası Raf (μm)</i>			<i>İşlem Sonrası Raf (μm)</i>	<i>Yüzde Değişim (%)</i>	<i>Temas Açısı (°)</i>		
30	0,26	0,20	0,52	0,33	1,44	1,40	0,88	1,24	279,59	<50	<50	<50
40	0,18	1,44	0,54	0,72	1,08	1,48	1,10	1,22	69,44	<50	<50	<50
50	0,38	0,78	0,56	0,57	0,94	1,66	1,26	1,28	124,42	<50	<50	<50
60	0,56	0,76	0,88	0,73	0,92	2,06	1,94	1,64	123,64	<50	<50	<50
70	0,56	0,42	0,34	0,44	1,28	1,26	0,96	1,16	165,15	<50	<50	<50



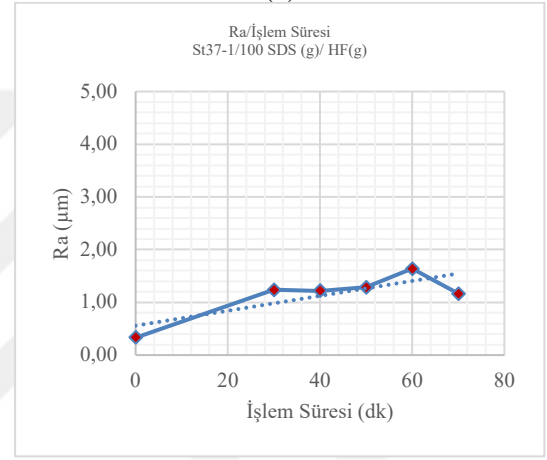
(a)



(b)

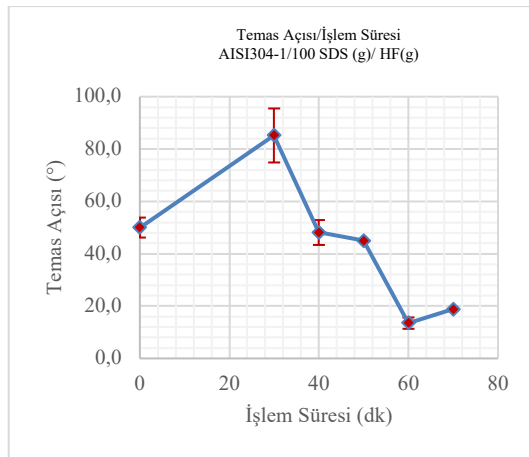


(c)

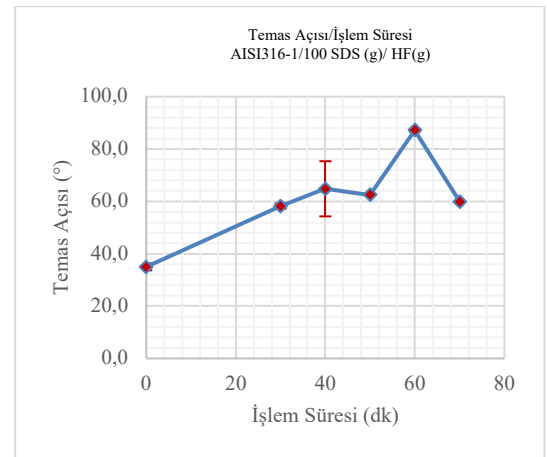


(d)

Şekil 4. 47. Farklı çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

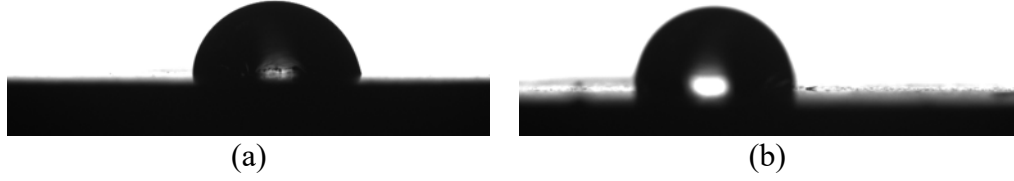


(a)



(b)

Şekil 4. 48. Farklı paslanmaz çeliklerde 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen temas açısı değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316



Şekil 4. 49. Farklı paslanmaz çelik numunelerin 1/100 SDS (g)/ HF(g) çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası en yüksek temas açısı görüntüleri (a) AISI304 (b) AISI 316

Çizelge 4.49-4.52. ve Şekil 4.50.-4.52. arasında AISI304, AISI316, C1040 ve St37 çeliklerinde tek basamaklı bir kimyasal işleme yöntemi kullanılarak HF/H₂O₂ ile başlatılan ve HF+1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi devam eden reaksiyonda, işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü ve temas açısına etkilerine ilişkin bulgular verilmiştir. AISI 304 numunelerde başlangıçta 0,53 µm olan ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri işlem süresi boyunca lineer bir artış göstermiş ancak ve 70. dakikada 0,77 µm'ye gerilemiştir. Kısmen pürüzlünen yüzeyde temas açısı değeri 30 dakika sonunda en yüksek değerle 116,6°, 50. dakikada en düşük 61,4° olarak ölçülmüştür. Bu durum yüzeyin hidrofobik–hidrofilik geçiş bölgesinde dengede kaldığını göstermektedir. AISI 316 numunelerde yüzey pürüzlülüğü değerleri 0,46 µm'den 1,17 µm'ye yükselmiş ve pürüzlülük artışı 70 dk'da yaklaşık %155 düzeyine ulaşmıştır; temas açısı 30. dk'da 101,9° iken 70 dk'da 77,3°'ye düşerek yüzeyin artan ıslanabilirlik eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. C1040 karbon çeliğinde ortalama Ra değeri 0,59 µm'den 1,29 µm'ye çıkmıştır ve tüm işlem sürelerinde yüzeyin tamamen süperhidrofilik karakter kazandığı belirlenmiştir. St37 çeliğinde de benzer şekilde Ra değerleri %300 artışla 0,46 µm'den 1,83 µm'ye yükselmiş, temas açısı tüm sürelerde 50° seviyesinde kalmıştır. Karbon çeliklerinde HF'nin yüksek kimyasal reaktivitesi, yüzey enerjisi artmış ve süperhidrofilik yüzeylerin oluşumunu hızlandırmıştır.

Çizelge 4. 49. AISI304 paslanmaz çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

AISI 304	1/100 DTAB (g)/ HF(g)												
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (µm)			İşlem Öncesi Rai (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Raf (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
30	0,54	0,48	0,58	0,53	0,44	0,56	0,52	0,50	13,54	123,24	124,59	102,12	116,65 ± 12,60
40	0,82	0,50	0,60	0,64	0,82	0,66	0,70	0,72	42,68	98,14	94,59	76,23	89,65 ± 11,76
50	0,54	0,64	0,46	0,54	0,62	0,96	0,76	0,78	61,18	51,40	59,82	72,84	61,35 ± 10,80
60	0,50	0,72	0,48	0,56	0,98	0,92	0,94	0,94	28,89	95,28	91,37	77,47	88,04 ± 9,36
70	0,58	0,66	0,56	0,60	0,74	0,76	0,82	0,77	-5,00	121,82	99,6	91,13	104,18 ± 15,85

Çizelge 4. 50. AISI316 paslanmaz çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

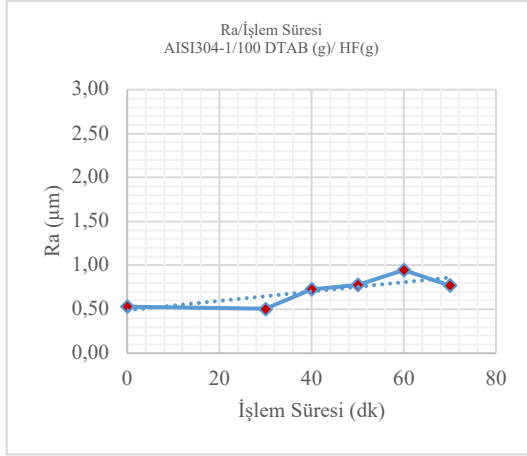
AISI 316	1/100 DTAB (g)/ HF(g)												
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (µm)			İşlem Öncesi Rai (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Raf (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)			Temas Açısı Ortalama (°)
30	0,50	0,70	0,48	0,56	0,44	0,60	0,34	0,46	20,00	102,4	103,87	99,32	101,86 ± 2,32
40	0,76	0,64	0,38	0,59	0,48	0,58	0,46	0,51	29,52	102,62	118,84	106,73	109,39 ± 8,43
50	0,40	1,30	0,40	0,70	0,58	1,36	0,78	0,91	4,86	49,60	57,90	61,16	56,22 ± 5,96
60	0,56	1,88	0,44	0,96	0,56	1,92	0,54	1,01	28,47	87,75	86,30	86,90	86,98 ± 0,73
70	0,68	1,66	0,40	0,91	0,54	2,28	0,70	1,17	0,00	78,49	80,56	72,87	77,30 ± 3,98

Çizelge 4. 51. C1040 çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

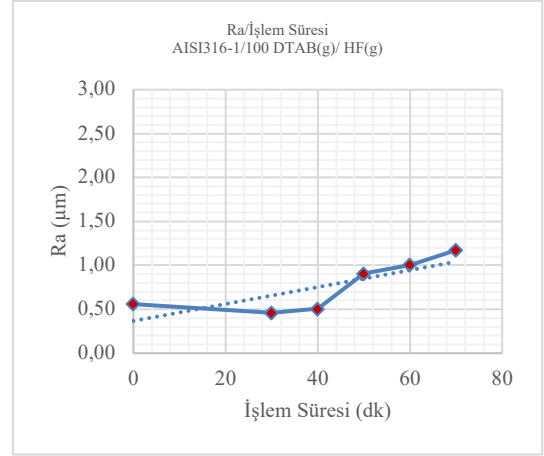
C1040	1/100 DTAB (g)/ HF(g)											
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (µm)			İşlem Öncesi Rai (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Raf (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)		
30	0,56	0,62	0,60	0,59	1,04	0,94	1,06	1,01	117,95	<50	<50	<50
40	0,66	0,60	0,62	0,63	1,88	2,84	1,86	2,19	301,20	<50	<50	<50
50	0,52	0,48	0,56	0,52	0,74	1,08	1,58	1,13	97,96	<50	<50	<50
60	0,50	0,56	0,60	0,55	2,70	2,38	1,58	2,22	70,79	<50	<50	<50
70	0,64	0,58	0,74	0,65	1,08	1,36	1,44	1,29	250,00	<50	<50	<50

Çizelge 4. 52. St37 çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresinin temas açısı ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

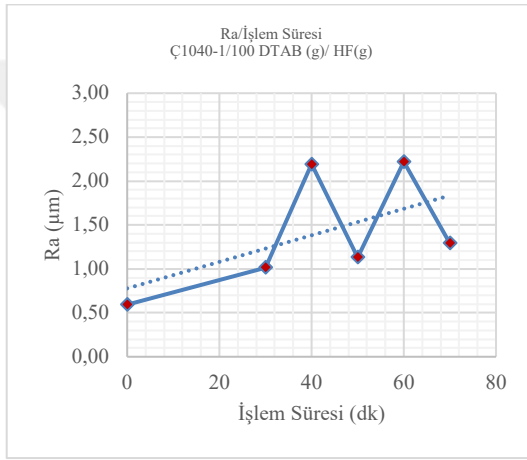
St37	1/100 DTAB (g)/ HF(g)											
İşlem Süresi (dk)	İşlem Öncesi Rai (µm)			İşlem Öncesi Rai (µm)	İşlem Sonrası Raf (µm)			İşlem Sonrası Raf (µm)	Yüzde Değişim (%)	Temas Açısı (°)		
30	0,44	0,56	0,38	0,46	0,60	0,40	0,86	0,62	220,34	<50	<50	<50
40	0,44	0,48	0,26	0,39	1,26	1,32	1,20	1,26	34,78	<50	<50	<50
50	0,34	0,40	0,48	0,41	1,20	1,44	1,26	1,30	219,67	<50	<50	<50
60	0,34	0,50	1,06	0,63	2,54	1,68	1,38	1,87	194,74	<50	<50	<50
70	0,34	0,76	0,40	0,50	1,16	2,10	2,22	1,83	265,33	<50	<50	<50



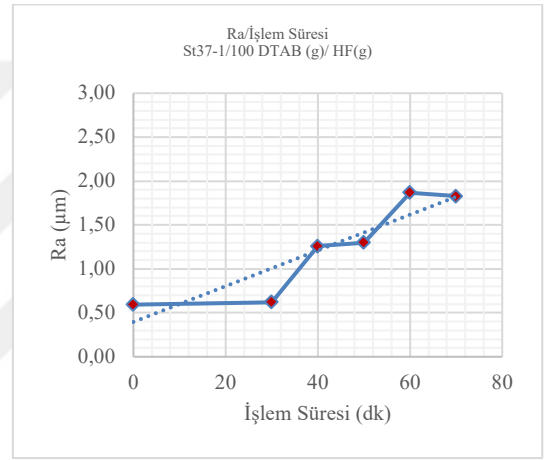
(a)



(b)

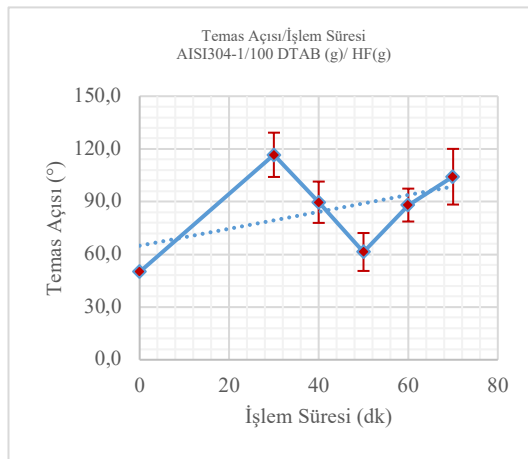


(c)

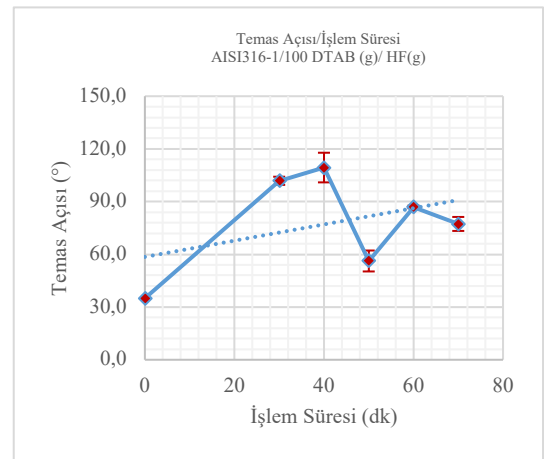


(d)

Şekil 4. 50. Farklı çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile işlem süresi değişimine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerleri (a) AISI304 (b) AISI 316 (c) C1040 (d) St37

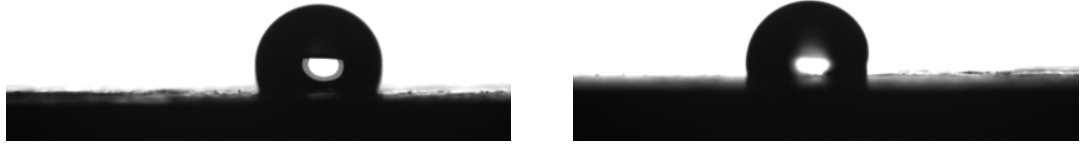


(a)



(b)

Şekil 4. 51. Farklı paslanmaz çeliklerde 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile kimyasal işleme ve modifikasyona karşılık gelen temas açısı değerleri (a) AISI304 ve (b) AISI 316



Şekil 4. 52. Paslanmaz çelik numunelerin 1/100 DTAB (g)/ HF(g) çözeltisi ile kimyasal işlem sonrası en yüksek temas açısı görüntüleri (a) AISI304 ve (b) AISI 316

4.5. Dayanım Testleri Sonuçları ve Değerlendirilmesi

4.5.1. Mekanik Dayanım Testleri

Bant testi sonrasında elde edilen temas açısı değerleri incelendiğinde, değişim miktarının malzeme türüne bağlı olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik numunelerde bant testi öncesi ve sonrası temas açısı değerleri arasındaki farkın sınırlı olduğu görülmektedir. Başlangıç temas açılarının 160° civarında olduğu ve test sonrasında temas açısının büyük ölçüde bu seviyelere yakın kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, AISI 304 yüzeyinde oluşturulan mikro/nano yapının ve yüzey modifikasyonunun mekanik etkiler karşısında kararlı bir yapı sergilediğini göstermektedir. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerinde ise temas açılarının 140° seviyelerinden 120° 'ye düştüğü görülmektedir. Bu durum, AISI 316 yüzeylerinde mekanik yapışma–kopma etkilerinin mikro/nano yapıyı daha fazla bozduğunu düşündürmektedir. Değerler Çizelge 4.53'te verilmektedir.

Çizelge 4. 53. Paslanmaz çeliklerde mekanik dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/Bant testi

Metal	Bant Testi					
	Temas Açısı ($^\circ$) (ilk)			Temas Açısı ($^\circ$) (son)		
AISI304	163,88	156,00	158,00	161,45	162,00	159,82
AISI316	139,98	139,30	136,71	132,70	131,40	116,71

Aşındırma testi sonrasında elde edilen temas açısı değerleri incelendiğinde elde edilen hidrofobik/süper hidrofobik yapının oldukça dayanıklı olduğunu aşındırıcı mekanik etkilere rağmen kendini koruduğunu göstermektedir.

AISI 304 paslanmaz çelik numunelerinde aşındırma testi sonrasında temas açısının 140° civarında kalması, yüzeyin mikro/nano karakterini koruduğunu göstermektedir. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerde ise aşındırma testi sonrasında temas açısında çok daha belirgin bir düşüş meydana gelmiştir. Başlangıç temas açılarının yaklaşık 130° seviyelerinde olduğu, test sonrasında ise temas açısının 90° seviyelerine kadar gerilediği belirlenmiştir. Bu durum, AISI 316 yüzeylerinin aşındırıcı mekanik etkilere karşı daha düşük bir dayanım sergilediğini ve yüzeyde oluşturulan pürüzlü yapıların büyük ölçüde zarar gördüğünü göstermektedir. Değerler Çizelge 4.54'te verilmektedir.

Çizelge 4. 54. Paslanmaz çeliklerde mekanik dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/Aşındırma testi

Metal	Aşındırma Testi					
	Temas Açısı ($^\circ$) (ilk)			Temas Açısı ($^\circ$) (son)		
AISI304	154,35	150,33	149,33	139,00	147,27	139,00
AISI316	129,54	126,79	117,20	98,41	91,68	89,71

4.5.2. Isıl Dayanım Testleri

Yüksek sıcaklık dayanım testleri sonrasında elde edilen temas açısı değerleri incelendiğinde, AISI 304 paslanmaz çelik numunelerde temas açısı değerlerinin büyük 150° üzeri veya bu sınıra yakın seviyelerde kalması, yüzeyin süperhidrofobik karakterini önemli ölçüde koruduğunu göstermektedir. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerde ise başlangıç temas açılarının AISI 304'e kıyasla daha düşük olduğu ve yüksek sıcaklık testi sonrasında temas açısında daha belirgin bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Özellikle test sonrası bazı ölçümlerde temas açısının 110° altına yaklaştığı belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık testleri sonucunda AISI 304 paslanmaz çeliğin temas açısı bakımından

AISI 316'ya kıyasla daha iyi bir ısıl dayanım sergilediği söylenebilir. Değerler Çizelge 4.55'te verilmektedir.

Çizelge 4. 55. Paslanmaz çeliklerde ısıl dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/Yüksek sıcaklık

Metal	Yüksek Sıcaklık Testi					
	Temas Açısı (°) (ilk)			Temas Açısı (°) (son)		
AISI304	170,29	166,03	154,41	155,89	147,29	135,91
AISI316	123,42	121,37	120,31	108,99	103,56	103,45

Düşük sıcaklık dayanım testleri sonrasında elde edilen temas açısı değerleri incelendiğinde, yüksek sıcaklık testlerine kıyasla daha sınırlı bir değişim gözlenmiştir. Bu durum, düşük sıcaklık koşullarının yüzey morfolojisi ve yüzey enerjisi üzerinde daha az bozucu etkiye sahip olduğunu düşündürmektedir. Değerler Çizelge 4.56'da verilmektedir.

AISI 304 paslanmaz çelik numunelerinde temas açısı değerlerinin 145°–160° aralığında kalması, yüzeyin hidrofobik/süperhidrofobik karakterini büyük ölçüde koruduğunu göstermektedir. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerinde ise temas açısı değerlerinin AISI 304'e göre daha düşük olduğu ve düşük sıcaklık testleri sonrasında sınırlı ancak düzensiz bir azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Bazı ölçümlerde temas açısının düşük sıcaklık sonrasında artış göstermesi, ölçümler arasındaki lokal yüzey farklılıkları ve heterojen morfolojik yapı ile ilişkilendirilebilir.

Çizelge 4. 56. Paslanmaz çeliklerde ısıl dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/Düşük sıcaklık

Metal	Düşük Sıcaklık Testi					
	Temas Açısı (°) (ilk)			Temas Açısı (°) (son)		
AISI304	161,68	156,72	159,76	149,97	148,11	147,06
AISI316	98,45	96,14	96,43	91,19	98,56	88,86

4.5.3. Kimyasal Dayanım Testleri

pH 3 ortamında gerçekleştirilen kimyasal dayanım testleri sonrasında elde edilen temas açısı değerleri incelendiğinde, her iki paslanmaz çelik türünde de temas açısında azalma eğilimi gözlenmiştir. Bununla birlikte, azalmanın şiddeti malzeme türüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Değerler Çizelge 4.57’de verilmiştir.

AISI 304 paslanmaz çelik numunelerinde başlangıçta yaklaşık 155° seviyelerinde olan temas açısı değerlerinin, test sonrasında belirgin biçimde azalarak 100° seviyelerine gerilediği görülmektedir. Bu durum, asidik ortamın yüzeydeki hidrofobik/süperhidrofobik yapıyı önemli ölçüde bozduğunu göstermektedir. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerde ise başlangıç temas açılarının AISI 304’e kıyasla daha düşük olduğu ve test sonrasında temas açısında daha sınırlı bir azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Temas açısı değerlerinin 110° civarında kalması, AISI 316 yüzeylerinin asidik ortamda göreceli olarak daha kararlı bir hidrofobik davranış sergilediğini düşündürmektedir.

Çizelge 4. 57. Paslanmaz çeliklerde kimyasal dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/pH 3

Metal	pH 3					
	Temas Açısı (°) (ilk)			Temas Açısı (°)(son)		
AISI304	156,72	155,67	149,80	101,88	100,92	100,66
AISI316	123,80	122,68	113,59	117,18	117,09	109,05

pH 11 ortamında gerçekleştirilen kimyasal dayanım testleri sonrasında temas açısı değerlerinde her iki paslanmaz çelik türü için de oldukça belirgin bir düşüş meydana gelmiştir (Çizelge 4.58). AISI 304 paslanmaz çelik numunelerinde başlangıç temas açılarının yaklaşık 170° seviyelerinde olduğu, ancak test sonrasında temas açısının düşerek 50° seviyelerinin altına indiği görülmektedir. Bu keskin düşüş, yüzeyde oluşturulan mikro/nano yapıların ve hidrofobik fonksiyonel grupların bazik ortamda büyük ölçüde tahrip olduğunu göstermektedir. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerinde de benzer bir eğilim gözlenmiş olup, başlangıç temas açılarının yaklaşık 145° seviyelerinde olduğu ve test sonrasında temas açısının bazı ölçümlerde 40° seviyelerine

kadar düştüğü belirlenmiştir. Bu durum, her iki paslanmaz çelik türünün de bazik ortamlara karşı düşük kimyasal dayanım sergilediğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4. 58. Paslanmaz çeliklerde kimyasal dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/pH 11

Metal	pH 11					
	Temas Açısı (°) (ilk)			Temas Açısı (°)(son)		
AISI304	171,24	170,29	169,74	52,36	48,03	43,61
AISI316	145,35	142,53	141,74	58,63	62,06	36,82

NaCl ortamında gerçekleştirilen kimyasal dayanım testleri sonrasında AISI 304 paslanmaz çelik numunelerinde temas açısı değerlerinin başlangıçta 150° seviyelerinde olduğu, test sonrasında ise 75–85° aralığına gerilediği görülmektedir. Bu sonuç, tuzlu ortamın yüzeydeki pürüzlü yapıyı ve yüzey kimyasını kısmen bozduğunu göstermektedir. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerinde ise temas açısı değerlerinin başlangıçta 95° civarında olduğu ve test sonrasında yaklaşık 60° seviyelerine düştüğü belirlenmiştir.

Çizelge 4. 59. Paslanmaz çeliklerde kimyasal dayanım testlerinin temas açısına etkilerinin incelenmesi/NaCl

Metal	NaCl					
	Temas Açısı (°) (ilk)			Temas Açısı (°)(son)		
AISI304	150,14	149,14	151,10	84,26	76,75	75,30
AISI316	97,44	93,23	92,33	61,80	61,74	61,30

4.6. SEM ve EDS Analizleri

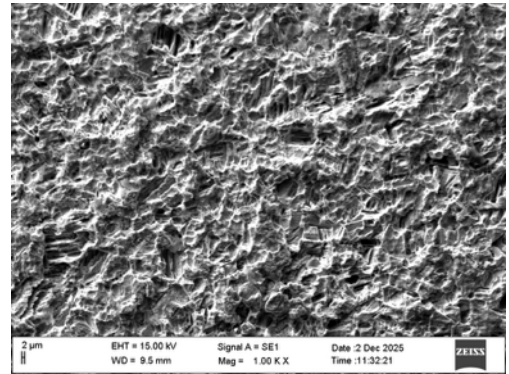
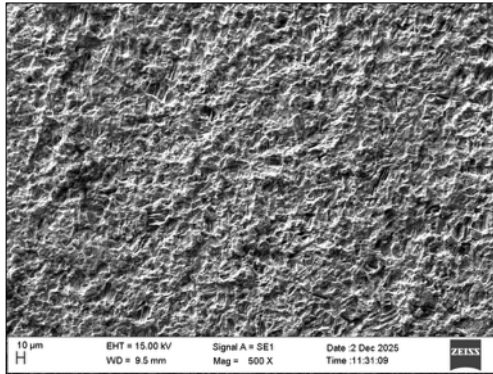
Bu çalışmada, kimyasal aşındırma ile MRR üzerinden yüzey pürüzlülüğünün kademeli olarak artırılabilirdiğini ve bunun sonucunda paslanmaz çelik yüzeylerde mikro/nano ölçekte hiyerarşik topografyaların oluşturulabilirdiğini doğrulamak amacıyla SEM ve EDS incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Kimyasal aşındırma+modifikasyon yaklaşımının temel mantığı; (i) HF/H₂O₂ gibi reaktiflerle yüzey oksitlerinin/ölçeğin çözündürülmesi ve yüzeyin aktiflenerek pürüzlendirilmesi, (ii) eş zamanlı olarak florlu silan esaslı yüzey aktif maddelerin yüzeye bağlanmasıyla yüzey enerjisinin düşürülmesidir. Bu tek basamaklı yaklaşımın paslanmaz çeliklerde süperhidrofobik

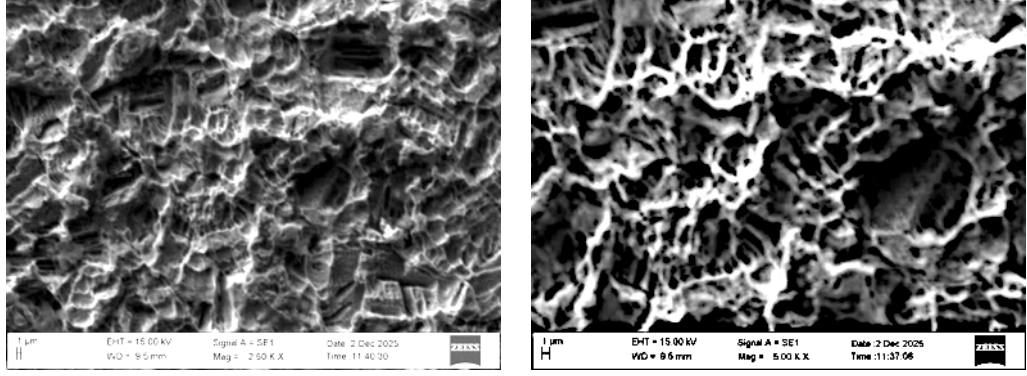
davranış üretebildiği literatürde gösterilmiştir (Y. Chen ve diğerleri, 2022c). En yüksek temas açısının elde edildiği PFDTES sistemi referans kabul edilerek, diğer modifiye edici uygulamalarının etkileri karşılaştırmalı biçimde tartışılmıştır.

EDS spektrumları ve elementel haritalama ise, modifikasyon sonrası yüzeyde florlu grupların varlığını ve dağılım homojenliğini incelemek, yüksek temas açısı elde edilen numunelerde F tutulumunun arttığını ve hidrofobikliğin yalnızca pürüzlülükten değil, aynı zamanda yüzey kimyasındaki florlu fonksiyonel gruplardan kaynaklandığını göstermek için kullanılmıştır. Florlu silanlar ve türevleri düşük yüzey enerjisi sağlayarak hidrofobiklik ve süperhidrofobiklikte kritik rol oynar (Brassard, Sarkar ve Perron, 2012).

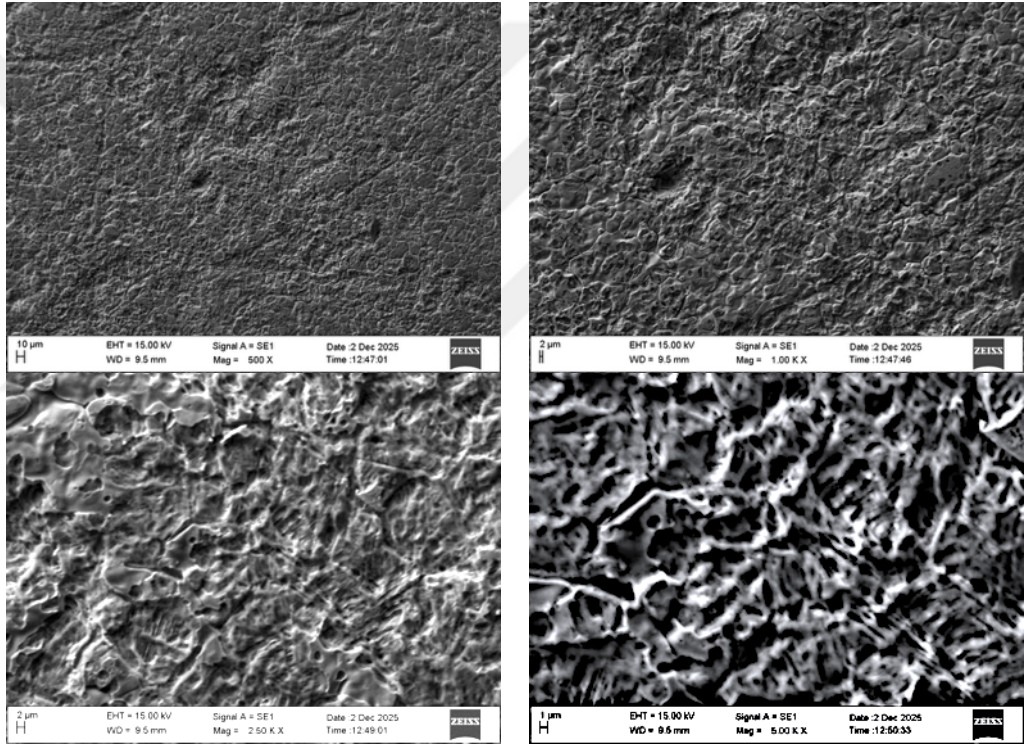
4.6.1 PFDTES ile Modifiye Edilmiş Yüzeylerin SEM ve EDS Analizi

AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik yüzeylerinde mikro ve nano ölçekte hiyerarşik pürüzlülük oluşturmak, alایشım türüne bağlı morfolojik farklılıkları karşılaştırmak ve yüzey enerjisini düşürerek su iticiliğini artırmak amacıyla tek basamaklı hibrit bir kimyasal işleme yöntemi uygulanmıştır. İşlem, HF/H₂O₂ ile başlatılmış ve 1/100 PFDTES (g)/HF (g) çözeltisi ile modifikasyon adımı sürdürülmüştür. Bu işlemler sonrasında elde edilen yüzeylere ait farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri ile EDS spektrumları Şekil 4.53, 4.54 ve 4.55'te verilmektedir.





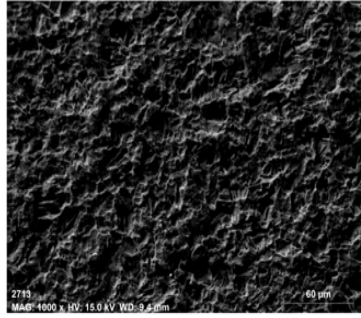
Şekil 4. 53. PFDTES ile işlem görmüş AISI 304 numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (500×–5000×)



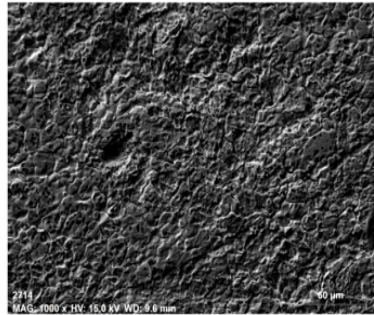
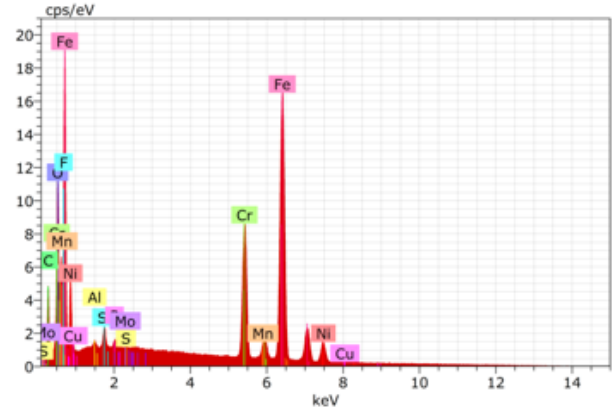
Şekil 4. 54. PFDTES ile işlem görmüş AISI 316 numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (500×–5000×)

SEM görüntülerinde, PFDTES ile işlem görmüş AISI 304 numunesinin yüzeyinde çok ölçekli (mikro–nano) pürüzlülük, keskin kenarlı yapılar ve hiyerarşik bir topografya olduğu açıkça gözlenmiştir. Yüzey yapısı, düzensiz ancak süreklilik gösteren çıkıntı–çukur bölgeleri içermekte olup, sıvı damlacıkların yüzeye temasını sınırlandırabilecek karmaşık bir morfoloji sergilemektedir.

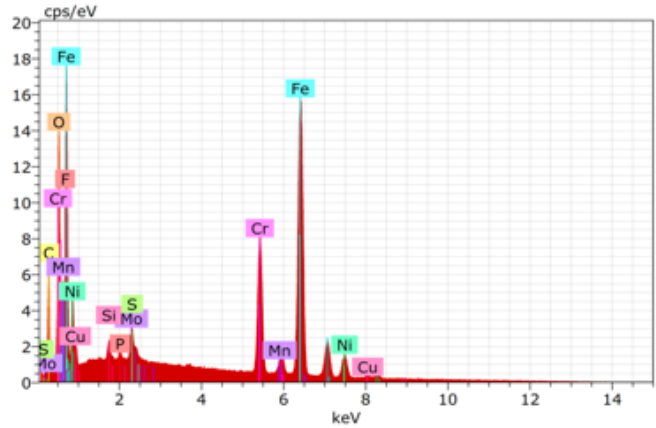
AISI 316 numunesinde ise yüzey pürüzlülüğü mevcut olmakla birlikte, oluşan yapıların daha kompakt, nispeten daha düz ve hiyerarşik bütünlük açısından sınırlı olduğu görülmüştür. Bu durum, PFDTES işleminin her iki alaşımında benzer türde morfolojik değişimler oluşturmalarına rağmen, yüzey topografisinin etkinliği açısından belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermektedir.



(a)



(b)



Şekil 4. 55. PFDTES ile işlem görmüş AISI 304 ve AISI 316 numunelerin SEM görüntüleri ve EDS spektrumları (a) AISI 304 (b) AISI 316

EDS analizlerinde her iki numunede de paslanmaz çelik matrisi ile uyumlu olarak Fe, Cr ve Ni elementleri baskın olarak tespit edilmiştir. AISI 316 numunesinde alaşım bileşimine uygun şekilde Mo elementinin varlığı da gözlenmiştir. Her iki yüzeyde tespit edilen Oksijen sinyali PFDTES işlemi öncesi veya sonrası yüzeyde oluşan oksit tabakalarının varlığına işaret etmektedir.

AISI 304 numunesine ait elementel haritalarda Flor elementinin yüzey genelinde yaygın şekilde dağıldığı görülmüştür. Bu dağılım, PFDTES kaynaklı florlu grupların yüzeyle etkileşim hâlinde olduğunu göstermektedir. AISI 316 numunesinde ise F elementinin dağılımının daha sınırlı ve yerel olduğu gözlenmiştir. Bu fark, iki alaşımın PFDTES ile yüzey etkileşiminin aynı düzeyde gerçekleşmediğini düşündürmektedir.

AISI 304 numunesi için $174,46^\circ$ gibi çok yüksek bir temas açısı değeri ölçülmüş olup, bu değer yüzeyin süperhidrofobik karakter kazandığını göstermektedir. AISI 316 numunesinde ise temas açısı değeri 90° 'nin üzerinde olmakla birlikte, süperhidrofobik eşik değerinin altında kalmış ve yüzey hidrofobik olarak sınıflandırılmıştır.

AISI 304 yüzeyinde elde edilen süperhidrofobik davranış; SEM görüntülerinde gözlenen hiyerarşik mikro/nano pürüzlülük ile elementel haritalamada tespit edilen yaygın flor içeriğinin birlikte etkisiyle açıklanabilir. AISI 316 numunesinde ise yüzey topografisinin ve flor dağılımının daha sınırlı olması, süperhidrofobik davranışın oluşmasını engellemiş olabilir.

Düşük büyütmede ($100\times$), ($500\times$) yüzey genel olarak homojen bir dağılım sergilemekte olup, işlem öncesi yüzey izlerinin yer yer korunmuş olduğu gözlenmektedir. Bu ölçekte yüzeydeki makro düzensizlikler ve lokal çukurlaşmalar sınırlı olup, modifikasyonun yüzey genelinde tutarlı bir şekilde gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Daha yüksek büyütmede ($1000\times$) yüzey pürüzlülüğünün belirgin şekilde arttığı ve mikro ölçekte düzensiz yapıların oluştuğu görülmektedir. Bu yapıların yüzey boyunca süreklilik göstermesi, uygulanan yüzey işleminin mikrometre ölçeğinde etkili olduğunu göstermektedir. Yüzeyin mikro/nano ölçekte girintili-çıkıntılı bir morfoloji kazandığı, düzensiz mikro çıkıntılar ve boşlukların yüzey boyunca yoğunlaştığı gözlenmiştir.

En yüksek büyütmede ($5000\times$) elde edilen SEM görüntülerinde, yüzeyin nano ölçeğe yaklaşan düzensiz yapılarla kaplı olduğu açıkça görülmektedir.

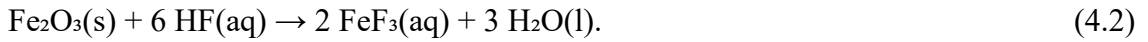
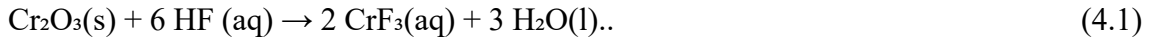
Genel olarak, 304 paslanmaz çelik numunesinde uygulanan yüzey modifikasyonu sonucunda, makro ölçekte homojen, mikro ve nano ölçekte ise çok ölçekli pürüzlülük içeren bir yüzey yapısının oluştuğu belirlenmiştir.

4.6.1.1. HF/H₂O₂+PFDTES ile Yüzey Modifikasyonunda Olası Reaksiyonlar

Flor iyonlarının yüzey modifikasyonu üzerindeki etkisi, kullanılan modifiye edicinin yapısına ve reaksiyon sırasında nasıl davrandığına bağlıdır. Flor iyonu, yüksek elektronegatifliği sayesinde özellikle silan esaslı sistemlerde süreci kolaylaştırıcı bir rol oynar.

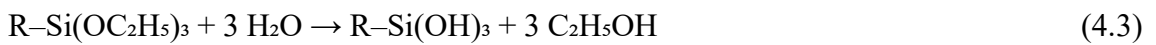
HF ortamında PFDTES' nin etoksi grupları su ile etkileşime girerek daha reaktif olur. Bu sırada oluşan ara yapılar, metal yüzeyindeki hidroksil gruplarıyla etkileşerek yüzeye güçlü bir şekilde tutunur. Sonuç olarak PFDTES molekülleri metal yüzeye kimyasal olarak bağlanır ve yüzey üzerinde kararlı bir kaplama tabakası oluşur. Bu durum, flor iyonlarının silan moleküllerinin yüzeye bağlanmasını kolaylaştırdığını ve yüzey modifikasyonunun daha etkin gerçekleşmesini sağladığını göstermektedir.

Paslanmaz çelik yüzeyinde bulunan oksit/hidroksit tabakaları HF varlığında çözünerek metal flor kompleksleri oluşturabilir. Karışık asitli ortamlarda çözeltide metal flor komplekslerinin baskın türler olduğu ve serbest Florun düşük kaldığı rapor edilmiştir (Galvez, Dufour, Negro ve Lopez-Mateos, 2006). Muhtemel reaksiyonlar 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.



H₂O₂, metal yüzeyinde oksidasyon tepkimeleriyle yüzeyin yeniden oksitlenmesini etkileyerek hem pürüzlülük oluşumunu hem de modifiye edicinin bağlanmasına uygun yüzey kimyasını destekleyebilir. HF–H₂O₂–florlu silan ile yapılan tek basamaklı yöntemde H₂O₂' nin florlu silanın yüzeye bağlanma düzeyini belirgin olarak etkilediği rapor edilmiştir (Y. Chen ve diğerleri, 2022c).

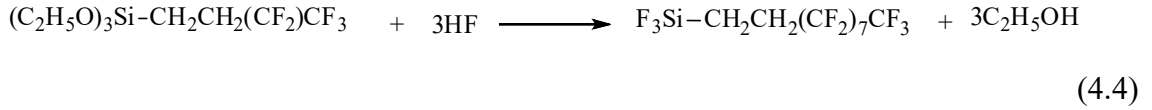
PFDTES molekülündeki etoksi (alkoksi) grupları, su varlığında hidrolize olarak silanol (–Si–OH) gruplarına dönüşür; bu mekanizma alkoksisilanların yüzey modifikasyonunda yaygın olarak rapor edilen temel bir reaksiyondur (Mussa ve diğerleri, 2022).



R = perflorodesil zincir

Alkoksisisilanların metal oksit yüzeylere bağlanma mekanizmasını yüzey kimyası açısından incelendiği bir çalışmada, alkoksisisilanların hidrolizi sonucu oluşan silanol (–Si–OH) gruplarının, metal oksit veya metal hidroksit yüzeylerinde bulunan hidroksil (–M–OH) gruplarıyla etkileşime girdiği gösterilmiştir. Bu etkileşim sonucunda silan molekülleri yüzeye kimyasal olarak bağlanarak metal oksijen silisyum (M–O–Si) bağları oluşturur ve yan ürün olarak su açığa çıkar. Elde edilen bulgular, silanların metal oksit yüzeylerde kararlı ve dayanıklı bağlanma sağlayabildiğini ve bu mekanizmanın silan bazlı yüzey modifikasyonlarının temelini oluşturduğunu ortaya koymaktadır (Ramsier, 1989).

Bu kovalent bağlanma mekanizması, perflorlu alkil zincirlerinin yüzeyde kalıcı olarak tutunmasını sağlamakta ve düşük yüzey enerjili, hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeylerin elde edilmesine olanak tanımaktadır. Muhtemel reaksiyon mekanizmaları bu sonucu desteklemektedir. Bu mekanizma sonucunda, SEM ile doğrulanan mikro/nano pürüzlülük ve EDS’ de gözlenen F varlığı ve dağılımı birlikte değerlendirildiğinde, yüksek temas açılarının; hiyerarşik topografyanın temas alanını azaltması ve PFDTES’in sağladığı düşük yüzey enerjisinin ortak etkisiyle ortaya çıktığı söylenebilir. Muhtemel reaksiyon 4.4’te verilmiştir.

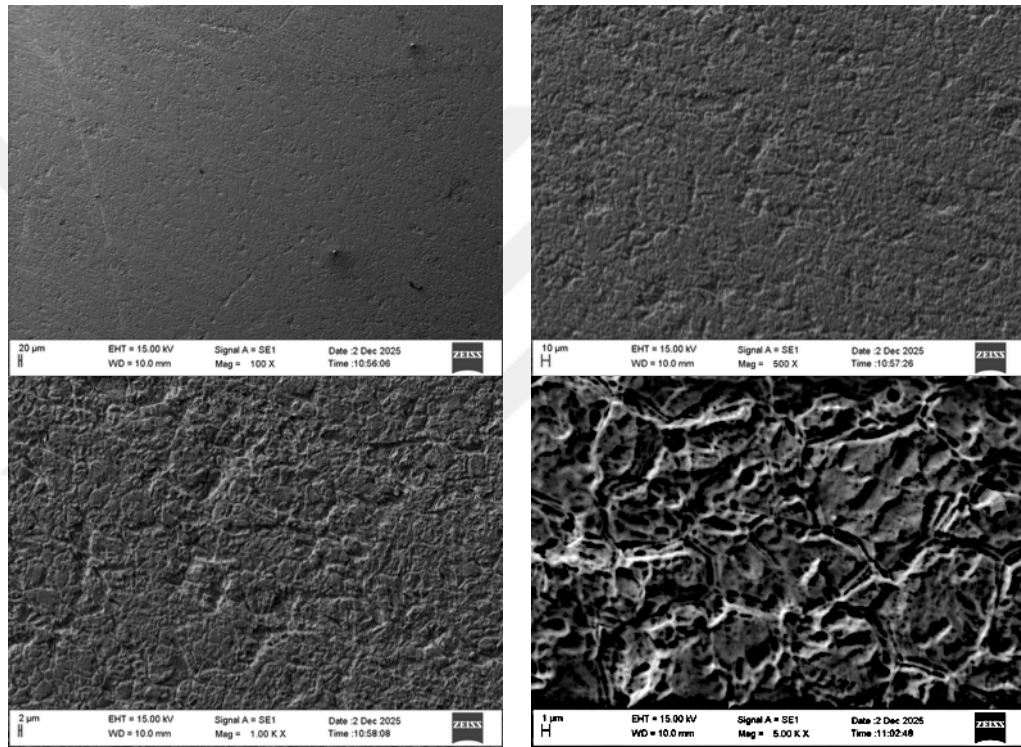


4.6.2. CTAB ile Modifiye Edilmiş Yüzeylerin SEM ve EDS Analizi

CTAB gibi katyonik yüzey aktif maddeler metal yüzeyine adsorplanarak aktif çözünme bölgelerini kısmen maskeleyebilmekte ve lokal oyuklanma eğilimini azaltıp çözünmeyi daha kontrollü hale getirebilmektedir. Bu nedenle CTAB ilavesinin morfoloji üzerindeki etkisi SEM ile, yüzeyde Br sinyali EDS ile değerlendirilmiştir. Bu bölümde amaç CTAB ilavesinin AISI 304 ve AISI 316 numune yüzeylerinin kimyasal aşındırma sırasında yüzeydeki çukurcuk oluşumunu baskılayarak daha uniform çözünme sağlayıp sağlamadığını, oluşan mikro/nano ölçekte pürüzlülük ve yapıyı SEM ile doğrulamak ve CTAB’nin yüzeyle etkileşimini EDS ile desteklemektir. CTAB’nin metal yüzeyine adsorplanarak çözünmeyi düzenleyebildiği ve inhibitör benzeri davranış gösterebildiği; ayrıca asidik aşındırmada yüzey çözünmesini daha homojen hale getirmek için yardımcı

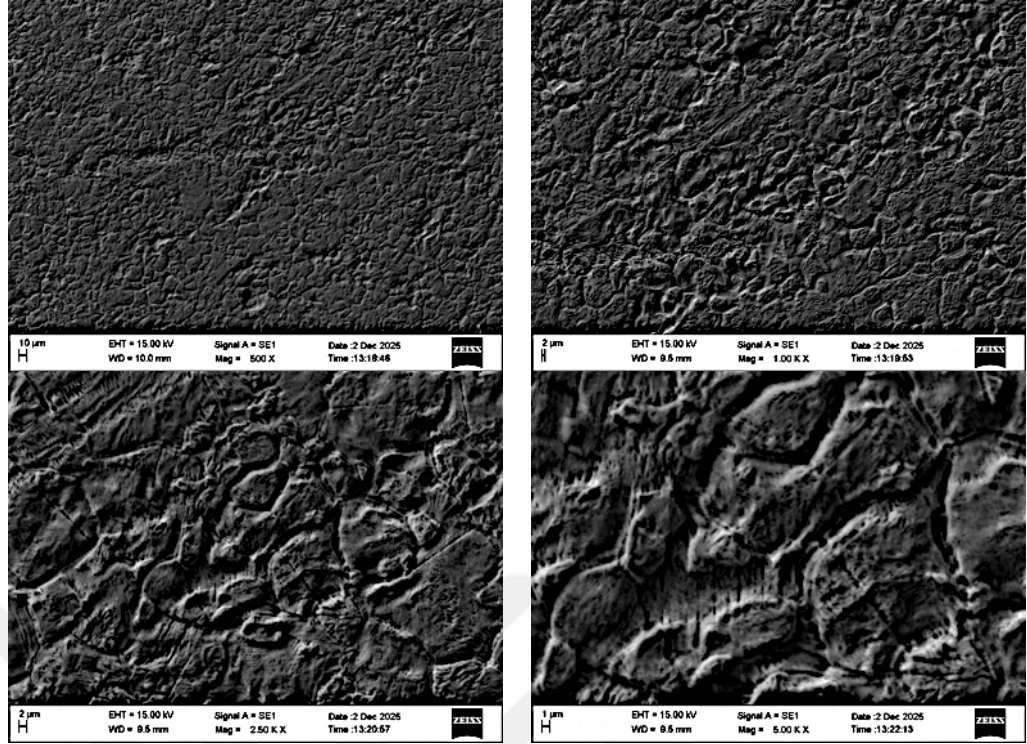
katkı olarak kullanılabildiği literatürde rapor edilmiştir (Foss, Diplas ve Gulbrandsen, 2010).

SEM görüntülerinde (Şekil 4.56., 4.57. ve 4.58.) CTAB işlemi sonrasında da her iki numunenin yüzeyinde de mikro-ölçekli pürüzlülük, düzensiz doku ve yer yer çukurlu yapılar olduğu gözlenmiştir. Bu pürüzlü yapı hidrofobik davranışı desteklemektedir. AISI 316 numunesinde daha keskin ve belirgin mikro-yapılar gözlenirken, AISI 304 numunesinde pürüzlülüğün daha homojen bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Ölçülen en yüksek temas açısı değerleri $139,3^{\circ}$ (AISI304) ve $129,4^{\circ}$ (AISI316)'dir.



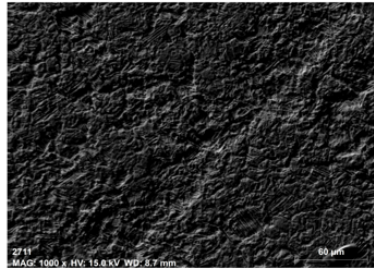
Şekil 4. 56. CTAB ile işlem görmüş AISI 304 numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (100×–5000×)

AISI 304 Yüzeylerinde çoğunlukla tane içi olarak nitelendirilebilecek bölgelerde $1-5 \mu\text{m}$ boyutlarında gözenekli yapı, düzenli hiyerarşik olarak tane sınırlarının $1-2 \mu\text{m}$ derinliğinde kesikli oyuklar oluşturduğu, AISI 316 yüzeylerinde ise tane sınırlarını çevreleyen derinliği benzer ama sürekli oyuklar oluşturduğu tane içi olarak tanımlanabilecek bölgelerde ise $1-2 \mu\text{m}$ boyutlarında az sayıda gözeneklerin çok seyrek olarak dağıldığı yapılar oluşmuştur.

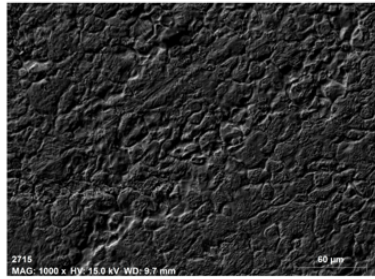
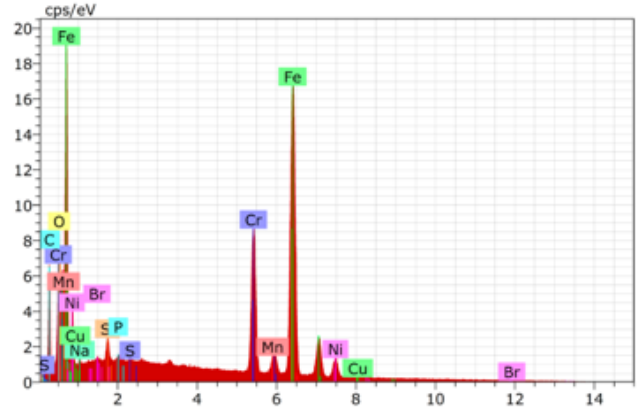


Şekil 4. 57. CTAB ile işlem görmüş AISI 316 numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (500×–5000×)

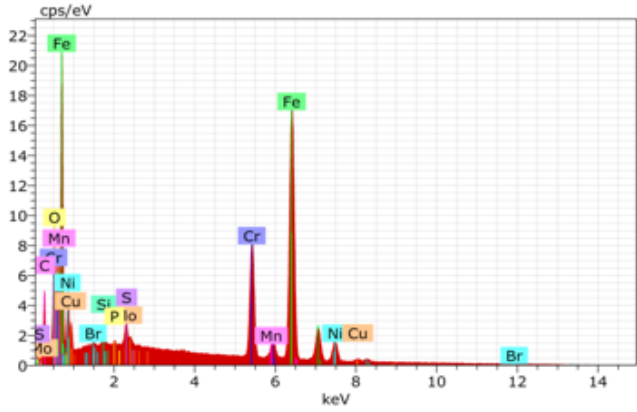
CTAB modifikasyonunun PFDTES ile modifiye edilen numunelerden farklı olarak en belirgin göstergelerinden biri de her iki numunede de Br elementine ait pikler tespit edilmiş olmasıdır. CTAB yapısında karşı iyon olarak bulunan Br^- iyonlarının EDS spektrumlarında tespit edilmesi, CTAB'ın yüzeyde adsorbe olduğunu desteklemekte ve morfolojik değişimlerin yüzey aktif madde katkısıyla ilişkisini güçlendirmektedir. Bu bulgu, CTAB'nin uzun alkil zincirlerine sahip yapısı dikkate alındığında, yüzey enerjisinin düşmesine katkı sağlayabilecek bir organik tabakanın yüzeyde mevcut olabileceğini düşündürmektedir. Elde edilen temas açısı sonuçları ile değerlendirildiğinde, CTAB modifikasyonunun yüzeyin hidrofobik karakter kazanmasında etkili olduğu söylenebilir. AISI 304 ve AISI 316 numunelerinin EDS spektrumları genel olarak benzerlik göstermekte olup, CTAB modifikasyonunun her metalde de yüzey kimyasını benzer şekilde etkilediği görülmektedir.



(a)



(b)



Şekil 4. 58. CTAB ile işlem görmüş paslanmaz çelik numunelerin EDS spektrumları (a) AISI 304 ve (b) AISI 316

4.6.2.1 HF/H₂O₂ + CTAB ile Yüzey Modifikasyonunda Olası Reaksiyonlar

HF/H₂O₂ + CTAB içeren tek basamaklı kimyasal işlem göz önüne alındığında H₂O₂, asidik ortamda metal çözünmesini destekleyen bir oksitleyici gibi davranır.

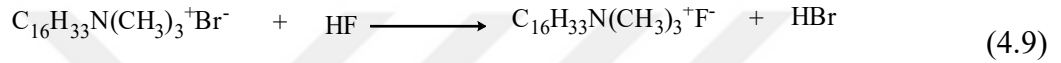
Anodik (metal çözünmesi)



Katodik (H₂O₂ indirgenmesi)

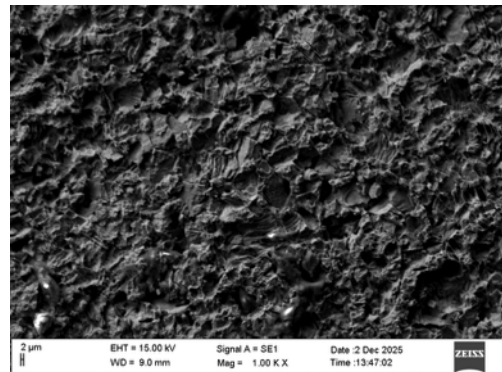
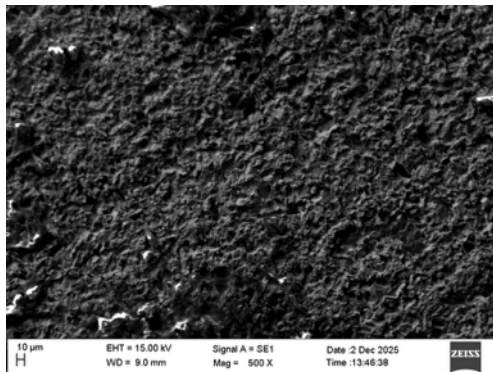


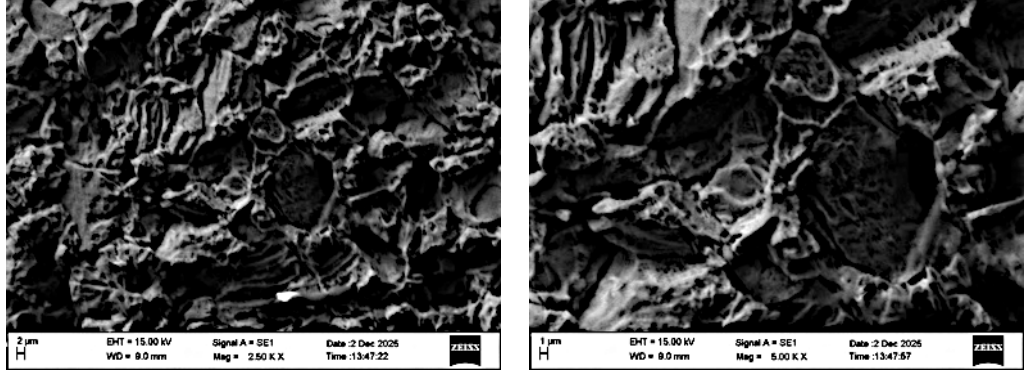
4.5-4.8 arasında verilen iki yarı-reaksiyon birlikte düşünüldüğünde, metal yüzeyinde oksidasyonla çözünme eğilimi artar ve aynı zamanda yüzeyde oksit/hidroksit ara ürünleri oluşup tekrar çözünme döngüsü oluşabilir. HF'nin muhtemel etkisi, metal iyonlarını florür kompleksleri hâline getirerek çözeltide tutması ve/veya yüzeydeki oksitleri çözündürmesidir. Paslanmaz çelik dağlama literatüründe HF'nin metal iyonlarını kararlı florür komplekslerine dönüştürerek yüzeyden uzaklaştırdığı vurgulanır. H₂O₂ yüzeyi oksitleyerek çözünmeyi başlatır, HF ise oluşan metal türlerini florür kompleksleriyle çözeltide stabilize edip pasif tabakayı kaldırarak çözünmenin sürmesini sağlar. Böylece yüzeyde tekrarlı oksidasyon ve çözündürme ile mikro/nano pürüzlülük gelişir (4.9).



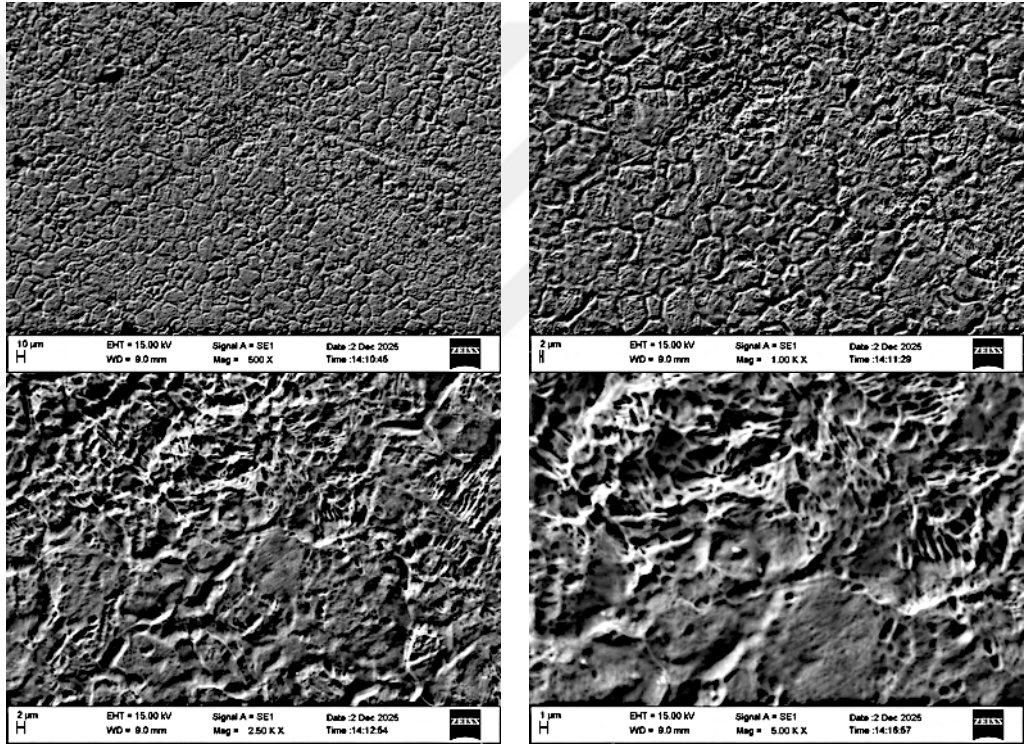
4.6.3. SDS ile Modifiye Edilmiş Yüzeylerin SEM ve EDS Analizi

SDS kullanılarak yüzey işlemi uygulanan AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik numunelerin yüzey özellikleri, SEM ve EDS analizleri ile incelenmiştir. SEM görüntülerinde, her iki numunenin yüzeyinde işlem sonrası mikro-ölçekli pürüzlülük, düzensiz doku ve çukurlu yapılar olduğu gözlenmiştir. AISI 304 numunesinde yüzey pürüzlülüğü daha ince ve homojen dağılımlı bir yapı sergilerken, AISI 316 numunesinde daha belirgin ve girintili-çukuntılı mikro-yapılar ön plana çıkmaktadır. Bu durum, SDS ile gerçekleştirilen yüzey işleminin iki alaşım üzerinde farklı morfolojik tepkilere yol açtığını göstermektedir.





Şekil 4. 59. SDS ile işlem görmüş AISI 304 numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (500×–5000×)

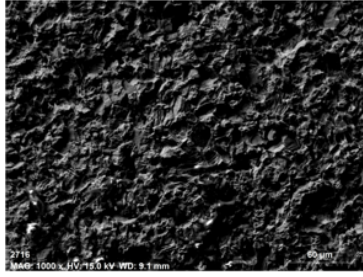


Şekil 4. 60. SDS ile işlem görmüş AISI 316 numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (500×–5000×)

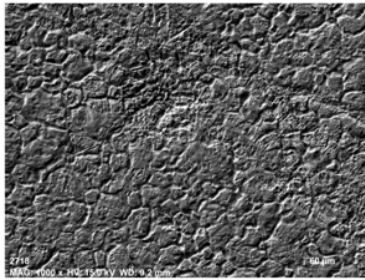
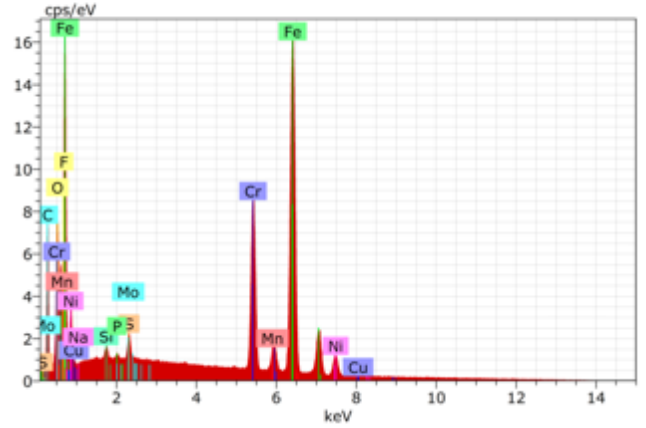
EDS analizleri sonucunda, her iki numunede de paslanmaz çelik matrisi ile uyumlu olarak Fe, Cr ve Ni elementlerine ait pikler baskın şekilde tespit edilmiş, Mo elementinin varlığı belirlenmiştir. AISI 316 numunesinde alaşım bileşimine özgü olarak. Ayrıca, her iki yüzeyde gözlenen oksijen sinyali, SDS işlemi sonrası yüzeyde oksit veya hidroksit karakterli tabakaların oluştuğuna işaret etmektedir. EDS sonuçları, yüzey

işleminin ana alaşım yapısını bozmadığını, ancak yüzey kimyasını etkilediğini ortaya koymaktadır.

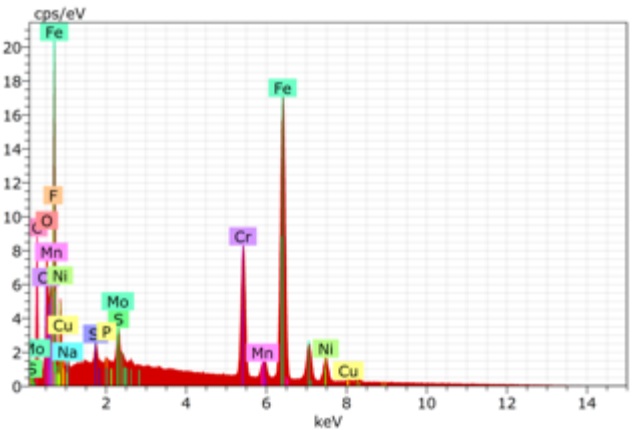
AISI 304 numunesi için en yüksek temas açısı 85°, AISI 316 numunesi için ise 87° olarak ölçülmüştür. Bu değerler, her iki yüzeyin de hidrofobik karakter sergilediğini göstermektedir. AISI 316 numunesinde elde edilen daha yüksek temas açısı, SEM görüntülerinde gözlenen daha belirgin mikro yapı ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca, AISI 316 bileşiminde bulunan Mo elementinin yüzeyde oluşan oksit tabakasının kimyasal yapısını etkilemesi, SDS ile yüzey etkileşimini ve dolayısıyla ıslanabilirlik davranışını değiştirmiş olabilir. Sonuçta, SDS ile gerçekleştirilen yüzey işleminin AISI 316 paslanmaz çelik yüzeylerde hidrofobik davranışı daha etkin şekilde desteklediği söylenebilir.



(a)



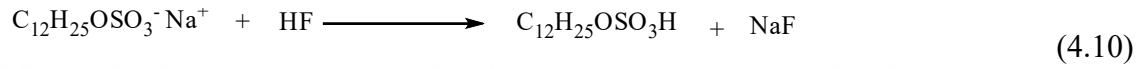
(b)



Şekil 4. 61. SDS ile işlem görmüş AISI 304 ve AISI 316 numunelerin SEM görüntüleri ve EDS spektrumları (a) AISI 304 (b) AISI 316

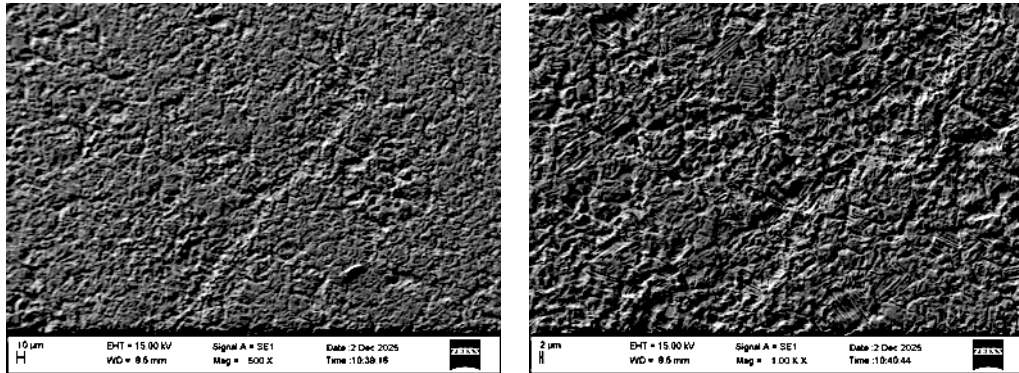
4.6.3.1. HF/H₂O₂ + SDS ile Yüzey Modifikasyonunda Olası Reaksiyonlar

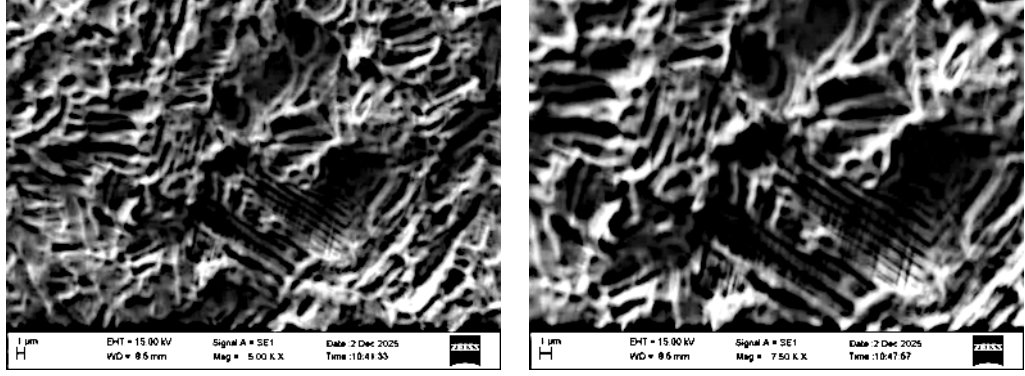
HF/H₂O₂ ortamında anyonik bir yüzey aktif madde olan SDS yüzeye adsorbe olur. SDS'nin DS⁻ (dodesil sülfat) anyonu metal yüzeyine tutunarak aktif alanları kısmen kaplar; bu sayede yerel ve düzensiz çözünme yerine daha üniform bir çözünme hızı elde edilir. Literatürde SDS'nin asitli ortamlarda çelik ve paslanmaz çeliklerde hem anodik hem de katodik süreçleri birlikte zayıflatan bir inhibitör gibi davrandığı, etkinliğin adsorpsiyon ve yüzey örtülmesiyle arttığı rapor edilmiştir (M. A. M. Ibrahim, Hamza, Ryl, Amin ve Rehim, 2021). Muhtemel reaksiyon 4.10'da verilmiştir.



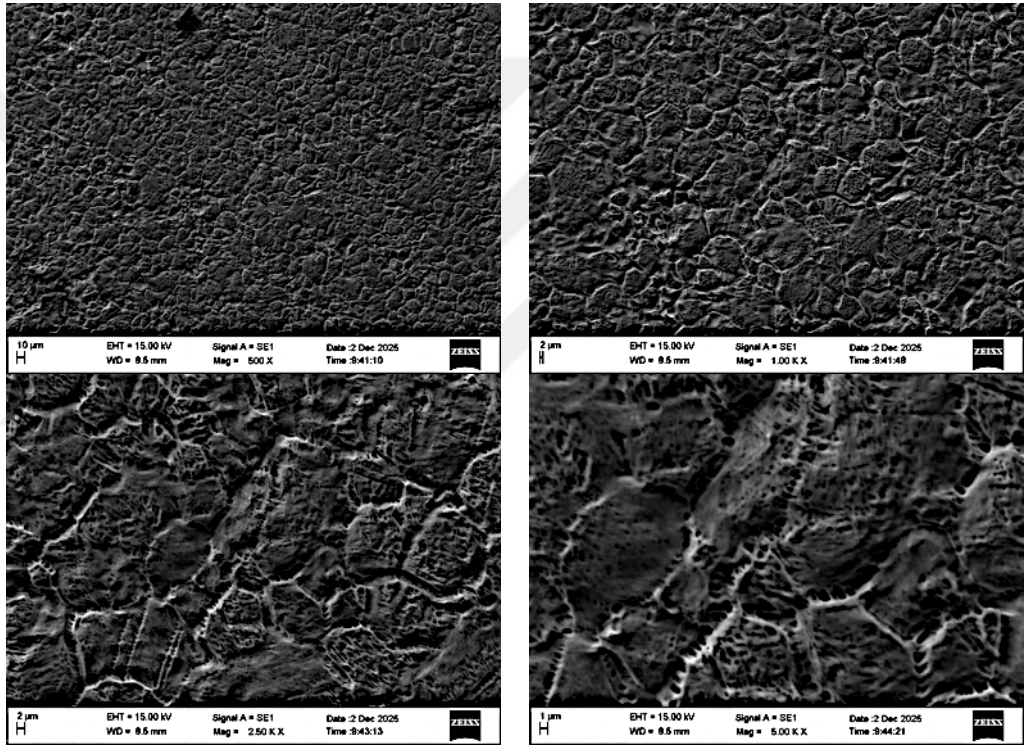
4.6.4. DTAB ile Modifiye Edilmiş Yüzeylerin SEM ve EDS Analizi

DTAB kullanılarak yüzey işlemi uygulanan AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelik numunelerin yüzey özellikleri SEM ve EDS analizleri ile incelenmiştir. SEM görüntülerinde, DTAB işlemi sonrasında her iki numunenin yüzeyinde mikro-ölçekli düzensizlikler, tabakalı yapı izleri ve yer yer kırıklı yüzey bölgeleri olduğu belirlenmiştir. AISI 304 numunesinde bu yapıların daha yoğun ve karmaşık bir dağılım sergilediği, yüzeyin genelinde belirgin bir mikro-topografik yapı olduğu gözlenmiştir. AISI 316 numunesinde ise benzer türde morfolojik değişimler bulunmakla birlikte, yüzey yapısının daha düzensiz ancak nispeten daha yuvarlatılmış karakterde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, DTAB işleminin iki alaşım üzerinde benzer türde ancak farklı yoğunlukta morfolojik etkiler oluşturduğunu göstermektedir.





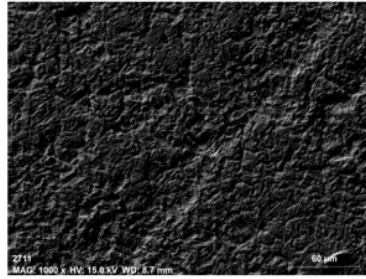
Şekil 4. 62. DTAB ile işlem görmüş AISI 304 numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (500×–5000×)



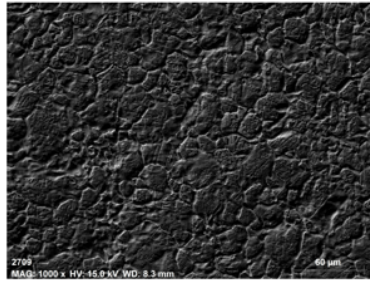
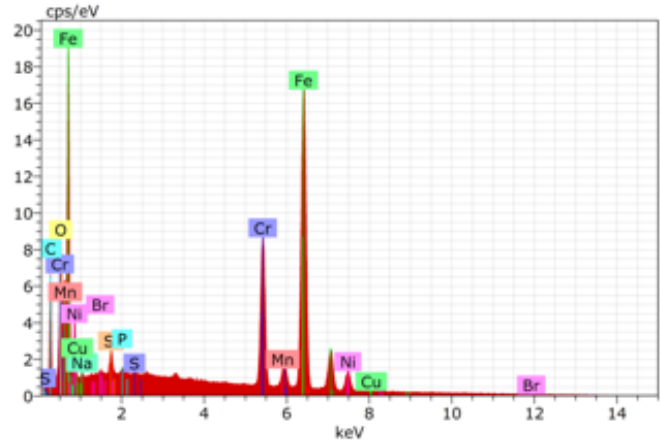
Şekil 4. 63. DTAB ile işlem görmüş AISI 316 numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (500×–5000×)

EDS analizlerinde, her iki numunede de paslanmaz çelik alaşımına ait Fe, Cr ve Ni elementlerine ait piklerin baskın olduğu belirlenmiştir. AISI 316 numunesinde alaşım bileşimi ile uyumlu şekilde Mo elementinin varlığı tespit edilmiştir. DTAB yapısında bulunan Br^- iyonlarının EDS spektrumlarında tespit edilmesi, yüzey kimyasının DTAB işlemi sırasında değişime uğradığını göstermektedir.

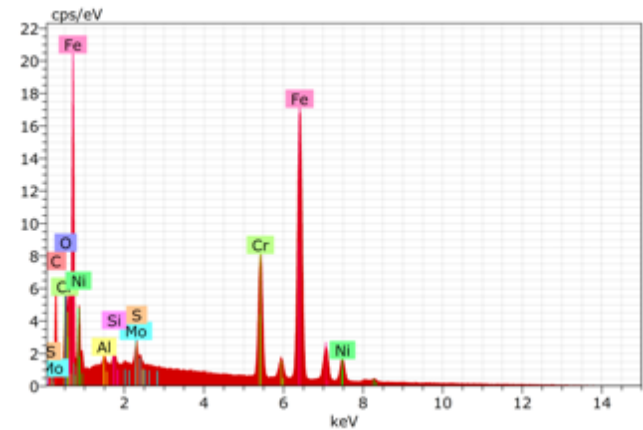
Temas açısı ölçümleri sonucunda, AISI 304 numunesi için en yüksek temas açısı 116° , AISI 316 numunesi için ise 109° olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerler, her iki yüzeyin de DTAB işlemi sonrası hidrofobik karakter sergilediğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, AISI 304 numunesinin temas açısı değerlerinin genel olarak AISI 316 numunesine kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. AISI 304 yüzeyinde gözlenen daha yüksek temas açısı, SEM görüntülerinde tespit edilen daha yoğun ve karmaşık mikro-topografik yapı ile ilişkilendirilebilir. AISI 316 numunesinde ise alaşım bileşiminde bulunan Mo elementinin aşındırma işleminde malzemenin dayanıklı yapısına sebep olmuştur. DTAB işlemi ile elde edilen hidrofobik etkin AISI 304 yüzeylerde daha belirgin olarak tespit edilmiştir.



(a)



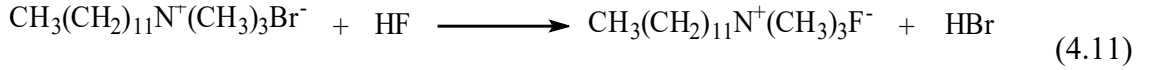
(b)



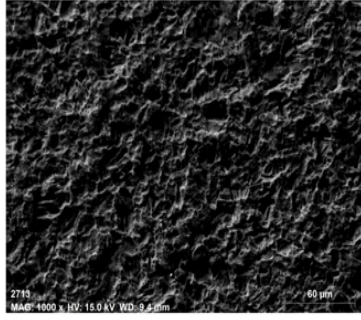
Şekil 4. 64. DTAB ile işlem görmüş AISI 304 ve AISI 316 numunelerin SEM görüntüleri ve EDS spektrumları (a) AISI 304 (b) AISI 316

4.6.4.1. HF/H₂O₂ + DTAB ile Yüzey Modifikasyonunda Olası Reaksiyonlar

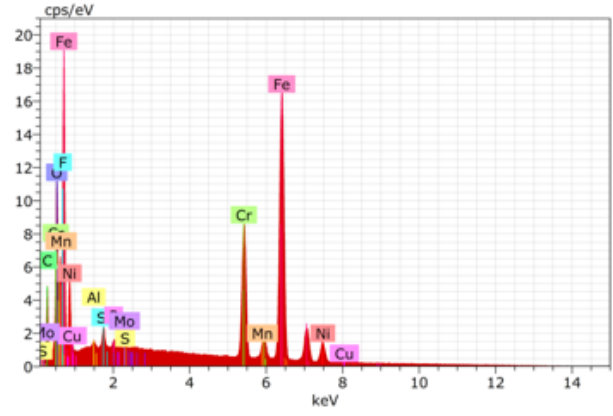
HF/H₂O₂ + CTAB içeren tek basamaklı kimyasal işleminde katyonik yüzey aktif madde olan DTAB'nin metal yüzeyine adsorbe olarak koruyucu bir film oluşturduğunu ve bu film sayesinde hem anodik hem de katodik reaksiyonları birlikte baskıladığını ortaya koymaktadır (Shahi ve diğerleri, 2024). Muhtemel reaksiyon aşağıda gösterilmektedir.



Flor ve brom iyonlarının yüzey modifikasyonu üzerindeki etkileri, kullanılan yüzey aktif maddenin ve modifiye edici çözeltinin kimyasal yapısı, iyonik karakteri ve reaksiyon mekanizması ile doğrudan ilişkilidir. Flor iyonu, yüksek elektronegatifliği ve güçlü bağ oluşturma eğilimi sayesinde özellikle silan bazlı sistemlerde aktif bir rol üstlenmektedir. Bu bağlamda PFDTES, HF varlığında trietoksi gruplarının hidrolizi ve Si-F ara türlerinin oluşumu yoluyla metal yüzeylerdeki hidroksil gruplarıyla kondenzasyona girerek güçlü Si-O-Metal bağları oluşturmaktadır. Bu kovalent bağlanma mekanizması, perflorlu alkil zincirlerinin yüzeyde kalıcı olarak tutunmasını sağlamakta ve düşük yüzey enerjili, hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeylerin elde edilmesine olanak tanımaktadır. Reaksiyon mekanizmaları bu sonucu desteklemektedir.



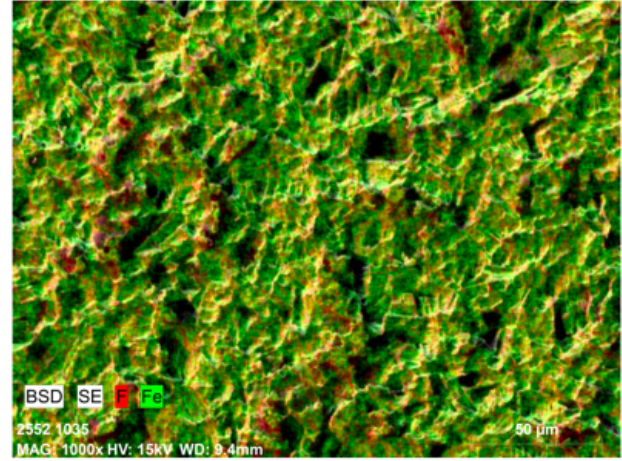
(a)



(b)

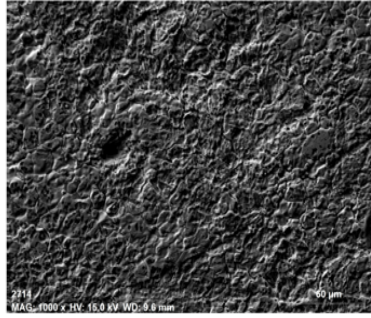


(c)

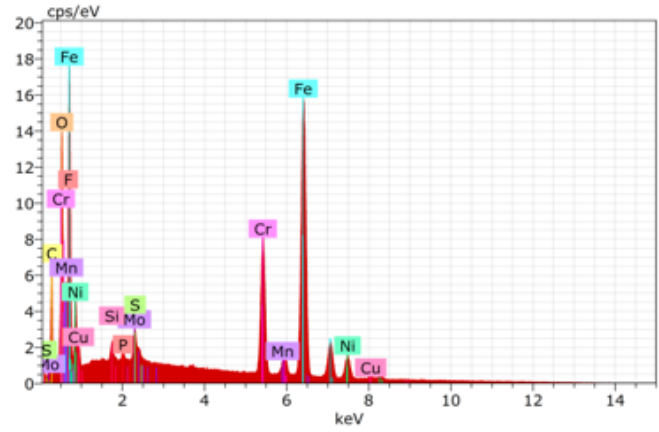


(d)

Şekil 4. 65. PFDTES ile işlem görmüş AISI 304 numunelerin SEM görüntüsü, EDS spektrum haritası, temas açısı (a) x1000 SEM (b) EDS elementel analiz (c) Temas açısı 174,46° (d) EDS element haritası



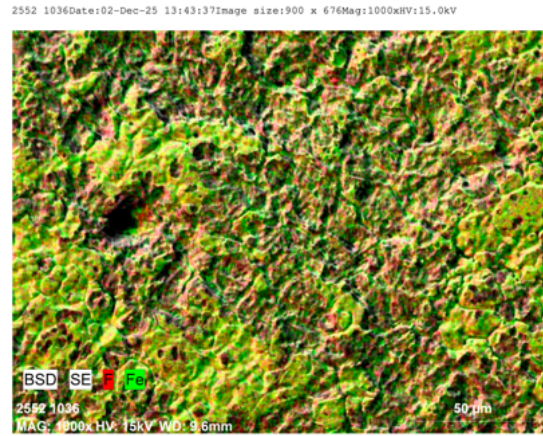
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4. 66. PFDTES ile işlem görmüş AISI 316 numunelerin SEM görüntüsü, EDS spektrum haritası, temas açısı (a) x1000 SEM (b) EDS elementel analizi (c) Temas açısı 139,3° (d) EDS element haritası



Şekil 4. 67. AISI304 PFDTES Temas Açısı görüntüsü

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Bu çalışma kapsamında St37, C1040, AISI 304 ve AISI 316 çelik yüzeylerinde hidrofobik/süperhidrofobik yapı oluşumu, aşındırıcı kimyasal türü, işlem yöntemi (ardışık/hibrit), çözelti bileşimi ve yüzey kimyası birlikte değerlendirilmiştir. Bulgular, yüzey ıslanabilirliğinin yalnızca pürüzlülükle değil, pürüzlülük–yüzey kimyası–işlem koşulları etkileşimiyle belirlendiğini göstermiştir.
2. Kimyasal aşındırıcıların karşılaştırılmasında, HNO_3 'ün özellikle karbon çeliklerinde yüksek çözünme hızına neden olduğu, ancak işlem parametreleri uygun seçilmediğinde aşırı/düzensiz çözünme riski taşıdığı görülmüştür. FeCl_3 sistemleri daha düşük hızlarda ilerlemekle birlikte daha düzenli ve tekrarlanabilir mikro pürüzlülük sağlayabilmiştir. Çalışılan koşullarda HCl ile MRR ve pürüzlülükte sınırlı ve kararsız değişimler elde edilmiş, tek başına asit temelli bazı işlemlerin her alaşım için aynı etkinlikte olmadığı anlaşılmıştır.
3. C1040 ve St37 karbon çeliklerinde en yüksek temas açılarının 2,8 M HNO_3 ile elde edildiği belirlenmiştir. Bu malzemelerde iki aşamalı, ardışık kimyasal işleme yaklaşımı yüzey pürüzlülüğünü etkin biçimde artırmış ve hidrofobik davranışın oluşumunu desteklemiştir, tek aşamalı, hibrit yöntem ise aynı performansı kararlı biçimde sağlayamamıştır.
4. AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çeliklerde iki aşamalı işlemlere kıyasla tek aşamalı hibrit yaklaşımın daha uygun olduğu görülmüştür. $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}_2$ ile başlatılan ve $\text{HF} + 1/100 \text{ PFDTES (g)}/\text{HF(g)}$ çözeltisi ile devam ettirilen işlem, kontrol

edilebilir pürüzlülük, dengeye ulaşan MRR ve yüksek temas açısı değerleriyle öne çıkmıştır.

5. Yüzey aktif maddelerin etkileri değerlendirildiğinde, SDS ilavesinin bazı koşullarda yüzeyin daha hidrofilik davranma eğilimini artırdığı gözlenmiştir. CTAB ve DTAB ise işlem koşullarına bağlı olarak çözünmeyi düzenleyerek hidrofobik karakterin güçlenmesine katkı sağlamıştır.
6. Flor içeren modifiye edici PFDTES, düşük yüzey enerjisi ve yüzeye tutunma potansiyeli sayesinde temas açılarını belirgin biçimde artırmış, süperhidrofobik davranışın yalnızca pürüzlülükle değil, yüzey kimyasıyla birlikte tasarlanması gerektiğini ortaya koymuştur. PFDTES temelli işlem AISI 304 yüzeylerinde süperhidrofobik, AISI 316 yüzeylerinde ise hidrofobik davranış sağlamıştır. SEM ve EDS analizleri, AISI 304'te daha etkin görülen hiyerarşik mikro/nano topografya ve flor dağılımının bu davranışı desteklediğini doğrulamıştır.
7. Optimum işlem süreleri alaşım bazında belirlenmiş; AISI 304 için optimum sürenin 50 dakika olduğu ve bu koşulda en yüksek temas açısının $174,46^\circ$ 'ye ulaştığı tespit edilmiştir. AISI 316 için optimum süre 40 dakika olup en yüksek temas açısı $139,3^\circ$ olarak ölçülmüştür. AISI 316'da süperhidrofobik eşik değerine ulaşamaması, alaşım kimyası ve özellikle Mo içeriği nedeniyle oluşan yüzey oksit yapısının ve modifiye edici tutunumunun farklılaşmasıyla ilişkili olabilir.
8. Mekanik, ısı ve kimyasal dayanım sonuçları birlikte değerlendirildiğinde AISI 304'ün temas açısı kararlılığı açısından AISI 316'ya kıyasla daha stabil davrandığı görülmüştür. Bazı ortamların her iki alaşım için de uzun dönemli uygulamalarda sınırlayıcı olabileceği belirlenmiş, özellikle pH 11 koşulunda temas açısındaki düşüş en belirgin seviyede gerçekleşmiştir.

Gelecek çalışmalarda; flor içeren daha uzun karbon zincirli modifiye edicilerin farklı alaşım bileşimine sahip paslanmaz çelik türlerinde genişletilmiş uygulamalarla denenmesi, yüzey aktif maddelerin flor içeriği ve karbon zinciri uzunluğu birlikte ele alınarak, metal yüzeyine daha etkin bağlanabilen yeni yüzey aktif maddelerin sentezlenmesi ve istatistiksel optimizasyon yaklaşımlarının kullanımı önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abd, G., Fattah El-Awadi, E., Enab, T. A., Abdel-Samad, S. ve Elhalwany, M. (2016). Chemical Machining for Stainless Steel, Aluminum and Copper Sheets at Different Etchant Conditions. *Arab Journal of Nuclear Science and Applications*, 49(2), 132-139. <https://www.researchgate.net/publication/303304956> adresinden erişildi.
- Adam, N. K. ve Jessop, G. (1925). Angles of contact and polarity of solid surfaces . *Journal of the Chemical Society, Transactions*, 127, 1863-1868.
- Adamson Arthur W. ve Gast Alice P. (1967). *Physical chemistry of surfaces* (C. 150). New York: Interscience publishers.
- Ahmad, Z., Shafiqur, R. ve Mohammad, A. (2009). Methods of Fabrication of Superhydrophobic Engineering Surfaces: A Review. *International Review of Mechanical Engineering*, 3(3), 312-321.
- Akarken, G., Cengiz, U. ve Bektaş, T. E. (2024). Hydrothermal Synthesis of CuO Nanoparticles: Tailoring Morphology and Particle Size Variations for Enhanced Properties. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 2024, 329-336. doi:10.28979/jarnas.1405595
- Akdağ, M. (1992). *Mühendislik Malzeme Bilgisi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi.
- Alberti, G. ve DeSimone, A. (2005). Wetting of rough surfaces: a homogenization approach. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 461(2053), 79-97. doi:10.1098/RSPA.2004.1364
- Alghunaim, A., Kirdponpattara, S. ve Newby, B. M. Z. (2016). Techniques for determining contact angle and wettability of powders. *Powder Technology*, 287, 201-215. doi: 10.1016/J.POWTEC.2015.10.002
- Altan Özbek, N., Çiçek, A., Gülesin, M. ve Özbek, O. (2017). AISI 304 ve AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi. *Journal of Polytechnic*, 20(1), 43-49. doi:10.2339/2017.20.1
- Aran, A. ve Temel, M. A. (2004). *Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller Üretimi, Kullanımı, Standartları*. İstanbul.
- Arjmand, F., Wang, J. ve Zhang, L. (2016). Investigation of the Corrosion Inhibition of CTAB and SDS on Carbon Steel Using an Experimental Design Strategy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(3), 809-819. doi:10.1007/S11665-016-1903-0/FIGURES/9

- Aslam, R., Mobin, M., Aslam, J., Aslam, A., Zehra, S. ve Masroor, S. (2021). Application of surfactants as anticorrosive materials: A comprehensive review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 295, 102481. doi:10.1016/J.CIS.2021.102481
- A.W. Adamson. (1976). *Physical Chemistry of Surfaces*. Los Angeles: John Wiley & Sons Inc.
- Ayeleru, O. O., Sadare, O. O., Idris, A. O., Pandey, S. ve Olubambi, P. A. (2024). Introduction to smart nanomaterials for environmental remediation. *Smart Nanomaterials for Environmental Applications*, 3-28. doi:10.1016/B978-0-443-21794-4.00008-9
- Babalık, F. C. ve Çavdar, K. (2012). *Makine Mühendisliğine Giriş*. Bursa: Dora.
- Banerjee, S., Zhang, Z. Q., Hall, A. S. ve Thoi, V. S. (2020). Surfactant Perturbation of Cation Interactions at the Electrode-Electrolyte Interface in Carbon Dioxide Reduction. *ACS Catalysis*, 10(17), 9907-9914. doi: 10.1021/ACSCATAL.0C02387/SUPPL_FILE/CS0C02387_SI_001.PDF
- Barthlott, W. ve Neinhuis, C. (1997). Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces. *Planta*, (202), 1-8.
- Basmacı, G. (2018). AISI 316 Ti Paslanmaz Çeliklerin İşleme Parametrelerinin Optimizasyonu, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(3), 1-07. doi:10.21541/apjes.422606
- Basu, B. J., Hariprakash, V., Aruna, S. T., Lakshmi, R. V., Manasa, J. ve Shruthi, B. S. (2010), Effect of microstructure and surface roughness on the wettability of superhydrophobic Sol-gel nanocomposite coatings, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 56(3), 278–286. doi:10.1007/s10971-010-2304-8
- Batıgöç, Ç. ve Akbaş, H. (2011). Spectrophotometric determination of cloud point of Brij 35 nonionic surfactant. *Fluid Phase Equilibria*, 303(1), 91-95. doi: 10.1016/J.FLUID.2011.01.004
- Baykut, S. (1986). *Yüzey Aktif Maddeler ve Fizikokimyası*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Becher, P. (1983). Surface Chemistry of Froth Flotation. *Journal of Dispersion Science and technology*, 4(4), 431-432. doi:10.1080/01932698308943383
- Bedair, M. A., El-Sabbah, M. M. B., Fouda, A. S. ve Elaryian, H. M. (2017). Synthesis, electrochemical and quantum chemical studies of some prepared surfactants based on azodye and Schiff base as corrosion inhibitors for steel in acid medium. *Corrosion Science*, 128, 54-72. doi: 10.1016/J.CORSCI.2017.09.016
- Benardos, P. G. ve Vosniakos, G. C. (2003). Predicting surface roughness in machining: a review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(8), 833-844. doi:10.1016/S0890-6955(03)00059-2
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. harpercollinsebooks.
- Berg, J. C. (1993). *Role of acid-base interactions in wetting and related phenomena. Wettability*. J. C. Berg, Ed.. New York: Mar-cel Dekker.
- Bhushan, B. ve Jung, Y. C. (2011a). Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. *Progress in Materials Science*, 56(1), 1-108. doi:10.1016/j.pmatsci.2010.04.003

- Bico, J., Marzolin, C. ve Quéré, D. (1999). Pearl drops. *Europhysics Letters*, 47(2), 220. doi:10.1209/EPL/I1999-00548-Y
- Birdi K. S. (2009). *Surface and Colloid Chemistry Principles and Applications* (1. bs.). Boca Raton.
- Bowman, E., Thompson, N., Gl, D., Moghissi, O., Gould, M. ve Payer, J. (2016). *International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study Report*. Houston, Texas.
- Bozkurt Çırak, B. ve Kavaklı, E. (2019). Anodik Oksidasyon ile TiO₂ Nanotüp Oluşumuna Su Katkısının Etkileri. *Journal of Science and Technology*, 12(3), 1738-1746. doi:10.18185/erzifbed.635408
- Brassard, J.-D., Sarkar, D. ve Perron, J. (2012). Fluorine Based Superhydrophobic Coatings, 2, 453-464. doi:10.3390/app2020453
- Cassie, A. B. D. ve Baxter, S. (1944). Wettability of porous surfaces. *Transactions of the Faraday Society*, 40(0), 546-551. doi:10.1039/TF9444000546
- Cerit, A. M. (1996). *Makina Mühendisliği El Kitabı* (C. 170). Ankara: TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- Chakradhar, R. P. S., Kumar, V. D., Rao, J. L. ve Basu, B. J. (2011). Fabrication of superhydrophobic surfaces based on ZnO-PDMS nanocomposite coatings and study of its wetting behaviour. *Applied Surface Science*, 257(20), 8569-8575. doi:10.1016/J.APSUSC.2011.05.016
- Chen, F., Yang, Q., Yong, J., Huo, J. ve Hou, X. (2017). Superoleophobic surfaces. *Chem. Soc. Rev*, 46, 4168. doi:10.1039/c6cs00751a
- Chen, Y., Deng, W., Zhu, S., Chen, G., Wang, L. ve Su, Y. (2022a). Preparation of superhydrophobic surface with micro-nano layered structure on 316 stainless steel by one-step wet chemical method. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 655. doi:10.1016/j.colsurfa.2022.130291
- Cheraghali, R. ve Aberoomand, P. (2011). Etching of 316L Stainless Steel by Different Chemical Etchant Solutions for the Growth of Carbon Nanotubes by Thermal Chemical Vapour Deposition. *Asian Journal of Chemistry*, 23(7), 2833-2836. <https://www.researchgate.net/publication/289228273> adresinden erişildi.
- Çakir, O. (2008). Chemical etching of aluminium. *Journal of Materials Processing Technology*, 199(1-3), 337-340. doi:10.1016/J.JMATPROTEC.2007.08.012
- Çakir, O. (2011). XCrNi18-8 Paslanmaz çeliğin kimyasal işlenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 2,1, 57-66.
- Çakir, O., Aydoğan, V. ve Özateş, Z. B. (2011). Bakırın Kimyasal İşlenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 2,2, 107-113.
- Çiçek, V. ve Al-Numan, B. (2011). *Corrosion Chemistry*. Scrivener Publishing LLC.
- Davis, J. R. (2000). *Corrosion : Understanding the Basics*. A S M International, ProQuest Ebook Central.

- Değer, K. ve Başak, H. (2023). Superhydrophobic Surface Development with Biomimetic Approach, *Gazi University Journal of Science*, 11(1), 81–110. doi:10.29109/gujsc.1215925
- Devaraj, S. ve Munichandraiah, N. (2007). The Effect of Nonionic Surfactant Triton X-100 during Electrochemical Deposition of MnO₂ on Its Capacitance Properties. *Journal of The Electrochemical Society*, 154(10), A901. doi:10.1149/1.2759618/XML
- Doruk, M. (1982). *Korozyon ve Önlenmesi*. Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi
- Doruk M. (2013). *Metalik Malzemeler ve Korozyon* (1. bs.). Ankara: Korozyon Derneği.
- Düzyol, S. (2016). Cevher Hazırlama İşlemlerinde Yüzey Gerilimi ve Temas Açısı Ölçümünün Genel Bir Değerlendirmesi. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2,22, 21-31.
- Edalatpour, M., Liu, L., Jacobi, A. M., Eid, K. F. ve Sommers, A. D. (2018). Managing water on heat transfer surfaces: A critical review of techniques to modify surface wettability for applications with condensation or evaporation. *Applied Energy*, 222, 967-992. doi:10.1016/J.APENERGY.2018.03.178
- Elaraby, A., Elgendy, A., Abd-El-Raouf, M., Migahed, M. A., El-Tabei, A. S., Abdullah, A. M., ... El Basiony, N. M. (2023). Synthesis of Gemini cationic surfactants based on natural nicotinic acid and evaluation of their inhibition performance at C-steel/1 M HCl interface: Electrochemical and computational investigations. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 659, 130687. doi:10.1016/J.COLSURFA.2022.130687
- El-Awadi, G. A., Enb, T. A., Abdel-Samad, S. ve El-Halawany, M. M. (2016). *Chemical Machining for Stainless Steel, Aluminum and Copper Sheets at Different Etchant Conditions*. *Arab Journal of Nuclear Science and Applications* (C. 94).
- Elmowafy, M., Shalaby, K., Elkomy, M. H., Awad Alsaidan, O., Gomaa, H. A. M., Abdelgawad, M. A., ... El-Say, K. M. (2022). Development and assessment of phospholipid-based luteolin-loaded lipid nanocapsules for skin delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 629, 122375. doi:10.1016/J.IJPHARM.2022.122375
- Ensikat, H. J., Ditsche-Kuru, P., Neinhuis, C. ve Barthlott, W. (2011). Superhydrophobicity in perfection: The outstanding properties of the lotus leaf. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 2(1), 152-161. doi:10.3762/bjnano.2.19
- Erbil, H. Y., Demirel, A. L., Avci, Y. ve Mert, O. (2003). Transformation of a simple plastic into a superhydrophobic surface. *Science*, 299(5611), 1377-1380.
- Erbil, H. Y., (2014). The debate on the dependence of apparent contact angles on drop contact area or three-phase contact line: A review. *Surface Science Reports*. Elsevier. doi:10.1016/j.surfrep.2014.09.001
- Foss, M., Diplas, S. ve Gulbrandsen, E. (2010). Mechanistic study of adsorption of cetyltrimethyl ammonium bromide on high purity iron using contact angle, polarization resistance and XPS. *Electrochimica Acta*, 55(17), 4851-4857. doi:10.1016/J.ELECTACTA.2010.03.071

- Fouda, A. S., Migahed, M. A., Atia, A. A. ve Mousa, I. M. (2016). Corrosion Inhibition and Adsorption Behavior of Some Cationic Surfactants on Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solution. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 2(4), 1-12. doi:10.1007/S40735-016-0052-1/FIGURES/12
- Galioglu Atıcı, O. (2016). *Yüzey Aktif Maddeler Kimyası ve Endüstriyel Uygulamaları* (1. bs.). İstanbul: İTÜ Vakfı
- Galvez, J. L., Dufour, J., Negro, C. ve Lopez-Mateos, F. (2006). Fluoride Speciation in Stainless Steel Pickling Liquor. *ISIJ International*, 46(2), 281-286. doi:https://doi.org/10.2355/isijinternational.46.28
- Ghaemi, M., Ghafouri, E. ve Neshati, J. (2006). Influence of the nonionic surfactant Triton X-100 on electrocrystallization and electrochemical performance of lead dioxide electrode. *Journal of Power Sources*, 157(1), 550-562. doi:10.1016/J.JPOWSOUR.2005.07.089
- Ginsberg, M., Schiano, J., Kramer, M. ve Alleyne, M. (2013). A case study in bio-inspired engineering design: Defense applications of exoskeletal sensors. *Defense and Security Analysis*, 29(2), 156-169. doi:10.1080/14751798.2013.787798
- Harris, W. T. (1976). *Chemical milling : the technology of cutting materials by etching*. Oxford: Clarendon Press.
- Hiemenz, P. C. ve Rajagopalan, R. (1997). *Principles of Colloid and Surface Chemistry*. doi:https://doi.org/10.1201/9781315274287
- Holmberg, Krister. (2003). *Surfactants and polymers in aqueous solution*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Hou, X., Wang, L., Zhou, F. ve Li, L. (2011). Fabrication of ZnO submicrorod films with water repellency by surface etching and hydrophobic modification. *Thin Solid Films*, 519(22), 7813-7816. doi:10.1016/J.TSF.2011.05.043
- İbrahim, A., Abdulwahhab, A. ve Shabeeb, A. (2021). Influence of FeCl₃ on Material Removal Rate and Surface Roughness in Chemical Machining Process. *Kufa Journal of Engineering*, 10(1), 44-55. doi:10.30572/2018/kje/100104
- İbrahim, M. A. M., Hamza, M. M., Ryl, J., Amin, M. A. ve Rehim, S. S. A. El. (2021). The inhibition effect of eco-friendly sodium dodecyl sulfate on the corrosion behavior of SUS304L, SUS304H, and SUS316H stainless steels in sulfuric acid solution. *International Journal of Electrochemical Science*, 16(7), 1-15. doi:10.20964/2021.07.21
- International Organization for Standardization (ISO 21920-2:2021). (2021). Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile — Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters (ISO 21920-2:2021).
- International Stainless Steel Forum (ISSF) / World Stainless Association. (t.y.). *The Stainless Steel Family: A short description of the various grades of stainless steel*. Brüksel.
- Isaac, O. T., Pu, H., Oni, B. A. ve Samson, F. A. (2022). Surfactants employed in conventional and unconventional reservoirs for enhanced oil recovery—A review. *Energy Reports*, 8, 2806-2830. doi:10.1016/J.EGYR.2022.01.187

- Kalpajian, S. ve Schmid, S. (2006). *Manufacturing, Engineering and Technology* (6. bs.). Digital Designs.
- Kania, H. (2023). Corrosion and Anticorrosion of Alloys/Metals: The Important Global Issue. *Coatings*. MDPI. doi:10.3390/coatings13020216
- Karhan, M. (2021). Dielektrik Malzemelerin Yüzeyleri için Islanabilirlik ve Buharlaştırma Hızının Analizine Yönelik Ayrık Kosinüs Dönüşümü Tabanlı Bir Yaklaşım. *Gazi Journal of Engineering Sciences*, 7(2), 160-168. doi:10.30855/gmbd.2021.02.09
- Kawakami, M., Tanaka, K., Uriuda, N. ve Gondo, S. (2000). Effects of nonionic surfactants on electrochemical behavior of ubiquinone and menaquinone incorporated in a carbon paste electrode. *Bioelectrochemistry*, 52(1), 51-56. doi:10.1016/S0302-4598(00)00083-0
- Khamme, E. ve Sakdanuphab, R. (2023). Study of corrosion properties of carbon steel, 304 and 316L stainless steels in sulfuric acid and their degradation products. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 33(4), 1672. doi:10.55713/jmmm.v33i4.1672
- Khan, W. (2017, 20 Haziran). Surface roughness measurement. <https://www.scribd.com/document/371942391/Surface-Roughness> adresinden erişildi.
- Kim, J. H., Mirzaei, A., Kim, H. W. ve Kim, S. S. (2018). Facile fabrication of superhydrophobic surfaces from austenitic stainless steel (AISI 304) by chemical etching. *Applied Surface Science*, 439, 598-604. doi:10.1016/j.apsusc.2017.12.211
- Kobrin G., Lilly, J., Diarmid, J. Mac ve Moniz, B. (1998). *Stainless steels for chemical process equipment* (C. 10). The Nickel Development Institute.
- Koch, G. H., Brongers, M. P. H., Thompson, N. G., Virmani, Y. P. ve Payer, J. H. (2002). *Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States*. Houston, Texas.
- Kosak Söz, C., Yilgör, E. ve Yilgör, I. (2015). Influence of the average surface roughness on the formation of superhydrophobic polymer surfaces through spin-coating with hydrophobic fumed silica. *Polymer*, 62, 118-128. doi:10.1016/J.POLYMER.2015.02.032
- Kreder, M. J., Alvarenga, J., Kim, P. ve Aizenberg, J. (2016a, 11 Ocak). Design of anti-icing surfaces: Smooth, textured or slippery? *Nature Reviews Materials*. Nature Publishing Group. doi:10.1038/natrevmats.2015.3
- Kumar, M., Elahi, D., Bhardwaj, A., Sharma, S., Khushi, K., Singh, E., ... Srivastava, A. (2022). Physicochemical investigation of the excipients mixed micelles for improvement of encapsulation and controlled release of antihistamine drugs. *Journal of Molecular Liquids*, 364, 119971. doi:10.1016/J.MOLLIQ.2022.119971
- Kumruoğlu, L. C. ve Erdoğan, G. (2021). *Yüzey Mühendisliği ve İleri Kaplama Teknolojileri*. Ankara: Akademisyen.
- Lai, S. C. S. (2003). *Physical basis and artificial synthesis of the lotus effect* (C. 0020370). Universiteit Leiden.
- Lampman, S. R., Henry, S. D., Scott, W. W., Marquard, E., Lampman, H., Musgrove, B., ... Schaefer, M. (2004). ASM Handbook.

- Li, L., Breedveld, V. ve Hess, D. W. (2012). Creation of superhydrophobic stainless steel surfaces by acid treatments and hydrophobic film deposition. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 4(9), 4549-4556. doi:10.1021/AM301666C/ASSET/IMAGES/MEDIUM/AM-201201666C_0012.GIF
- Liu, D. M., Yang, Q. ve Troczynski, T. (2002). Sol-gel hydroxyapatite coatings on stainless steel substrates. *Biomaterials*, 23(3), 691-698. doi:10.1016/S0142-9612(01)00157-0
- Liu, P., Wu, J., Pei, X., Cui, Z., Jiang, J., Song, B. ve Binks, B. P. (2022). Recyclable surfactant containing a dynamic covalent bond and relevant smart emulsions. *Green Chemistry*, 24(19), 7612-7621. doi:10.1039/D2GC01977A
- Lynch, S. P. (2011). Mechanistic and fractographic aspects of stress-corrosion cracking (SCC). *Stress corrosion cracking: Theory and practice*, 3-89. doi:10.1533/9780857093769.1.3
- Marmur, A. (2004). The lotus effect: Superhydrophobicity and metastability. *Langmuir*, 20(9), 3517-3519. doi:10.1021/la036369u
- Marmur, A. (2013). Superhydrophobic and superhydrophobic surfaces: from understanding non-wettability to design considerations. *Soft Matter*, 9(33), 7900-7904. doi:10.1039/C3SM50881A
- Mavi, A. ve Uzun, G. (2017). Dubleks 1.4462 Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin İşlenebilirlik Üzerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(3), 177-184.
- Mussa, M. H., Rahaq, Y., Takita, S., Zahoor, F. D., Farmilo, N. ve Lewis, O. (2022). The Influence of Adding a Functionalized Fluoroalkyl Silanes (PFDTES) into a Novel Silica-Based Hybrid Coating on Corrosion Protection Performance on an Aluminium 2024-t3 Alloy (s. 6). *MDPI AG*. doi:10.3390/iocps2021-11240
- Nayır, H. (2017). Paslanmaz Çeliklerde Bölgesel Korozyon. *Paslanmaz Çeliklerde Bölgesel Korozyon* (ss. 2163-2172). İzmir: TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- Neinhuis, C. ve Barthlott, W. (1997). Characterization and Distribution of Water-repellent, Self-cleaning Plant Surfaces, *Annals of Botany*, 79(6), 667-677. doi:10.1006/ANBO.1997.0400
- Nur Unal, D., Sadak, S., Erkmen, C., Selçuk, Ö. ve Uslu, B. (2023). Review of Surfactants, Structural Properties and Their Role in Electrochemistry. J., G Manjunatha (Ed.), *Surfactant-based Sensors in Chemical and Biochemical Detection*, 23,1-118, Croydon,CPI, doi:https://doi.org/10.1039/9781837671182
- Okkay, H. (2022). Sol-jel yöntemiyle flor içermeyen mekanik olarak dayanıklı şeffaf süperhidrofobik yüzey sentezi, *J. Innovative Eng. Nat. Sci.*, c, 2(1), 35-46. doi:10.29228/JIENS.55759
- Onaran, K. (2013). *Malzeme Bilimi* (13. Baskı.). İstanbul: Bilim Teknik 383s.
- Onda, T., Shibuichi, S., Satoh, N. ve Tsujii, K. (1996). Super-Water-Repellent Fractal Surfaces. *Langmuir*, 12(9), 2125-2127. doi:10.1021/LA950418O

- Özdemir, F., Ramazanoğlu, D., Tutuş, A., (2018). Akıllı Malzemeler için Biyomimetik Yüzey Tasarımları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 20(3), 664-676 . doi:10.24011/barofd.427841
- Özer, N. (2021a). Yapı Malzemelerinde Korozyon ve Korozyondan Korunma Yöntemleri, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 26(3), 1159-1178. doi:10.17482/UUMFD.796947
- Özgür, H., Gemici, Z. ve Bayındır, M. (2007). Akıllı Nanoyüzeyler. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik*, 473, 52-56.
- Pan, L., Dong, H. ve Bi, P. (2010a). Facile preparation of superhydrophobic copper surface by HNO₃ etching technique with the assistance of CTAB and ultrasonication. *Applied Surface Science*, 257(5), 1707-1711. doi:10.1016/j.apsusc.2010.09.001
- Popov, B. N. (2015). *Corrosion Engineering, Principles and Solved Problems*. Columbia: Elsevier.
- Revie, R. W. ve Uhlig, H. H. (2008). *Corrosion and Corrosion Control* (4. bs.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Qian, B. ve Shen, Z. (2005). Fabrication of superhydrophobic surfaces by dislocation-selective chemical etching on aluminum, copper, and zinc substrates. *Langmuir*, 21(20), 9007-9009. doi:10.1021/la051308c
- Qu, M., He, J., Zhang, J., Qu, M., He, J. ve Zhang, J. (2010). Superhydrophobicity, Learn from the Lotus Leaf. *Biomimetics Learning from Nature*. doi:10.5772/8789
- Ramsier, R. D., Zhuang, G. R., Henriksen, P. N (1989). Alkoxysilane adsorption on metal oxide substrates. *Journal of Vacuum Science & Technology A*, 7(3). doi.org/10.1116/1.576034
- Roberge, P. R. (2008). *Corrosion engineering : principles and practice*. McGraw-Hill.
- Rohith, R., Ruthvik, G., Punithkanthraj, Raju, K. P. ve Nanjundeshwaraswamy, T. S. (2022). Chemical Machining Process -A Review. *Proceedings on Engineering Sciences*, 4(1), 33-36. doi:10.24874/PES04.01.005
- Ruan, M., Li, W., Wang, B., Luo, Q., Ma, F. ve Yu, Z. (2012). Optimal conditions for the preparation of superhydrophobic surfaces on al substrates using a simple etching approach. *Applied Surface Science*, 258(18), 7031-7035. doi:10.1016/J.APSUSC.2012.03.159
- Sakai, M., Song, J. H., Yoshida, N., Suzuki, S., Kameshima, Y. ve Nakajima, A. (2006). Relationship between sliding acceleration of water droplets and dynamic contact angles on hydrophobic surfaces. *Surface Science*, 600(16), L204-L208. doi:10.1016/J.SUSC.2006.06.039
- Saklakoğlu, N., Gençalp İrizalp, S., Gökdemir, Z. E. ve Polat, S. (2016). AISI 304 ve 316 paslanmaz çeliğinin HCl ve H₂ SO₄ çözeltilerindeki gerilim korozyon çatlaması davranışı. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7(1), 139-150.
- Salapare III Hernando S, Blantocas, G. Q., Noguera, V. R. ve Ramos, H. J. (2009). The Porosity and Wettability Properties of Hydrogen Ion Treated Poly(tetrafluoroethylene). *Contact Angle, Wettability and Adhesion*, 6.

- Salman, A. A. (2022). Hybrid emulsifier systems: Alkyl imidazolium lactoside surfactants derived from natural resources. *Carbohydrate Research*, 520, 108634. doi:10.1016/J.CARRES.2022.108634
- Sarkar, S., Maitra, A., Banerjee, S., Thoi, V. S. ve Dawlaty, J. M. (2020). Electric Fields at Metal-Surfactant Interfaces: A Combined Vibrational Spectroscopy and Capacitance Study. *Journal of Physical Chemistry B*, 124(7), 1311-1321. doi:10.1021/ACS.JPCB.0C00560/SUPPL_FILE/JP0C00560_SI_001.PDF
- Sastri, V. S. (2011). *Green corrosion inhibitors : theory and practice*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. doi:DOI:10.1002/9781118015438
- Schmitt, G., Schütze, M., Hays, G. F., Burns, W., Han, E.-H., Pourbaix, A. ve Jacobson, G. (2009). *Global Needs for Knowledge Dissemination, Research, and Development in Materials Deterioration and Corrosion Control in cooperation with*.
- Schweitzer, P. A. (2010). *Fundamentals of Corrosion Mechanisms, Causes, and Preventative Methods*. CRC Press.
- Shaban, S. M., Kang, J. ve Kim, D. H. (2020). Surfactants: Recent advances and their applications. *Composites Communications*, 22, 100537. doi:10.1016/J.COCO.2020.100537
- Shaban, S. M., Saied, A., Tawfik, S. M., Abd-Elal, A. ve Aiad, I. (2013). Corrosion inhibition and Biocidal effect of some cationic surfactants based on Schiff base. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(6), 2004-2009. doi:10.1016/J.IJEC.2013.03.013
- Shahi, N., Shah, S. K., Singh, S., Yadav, C. K., Yadav, B., Yadav, A. P. ve Bhattarai, A. (2024). Comparison of dodecyl trimethyl ammonium bromide (DTAB) and cetylpyridinium chloride (CPC) as corrosion inhibitors for mild steel in sulphuric acid solution. *International Journal of Electrochemical Science*, 19(5), 100575. doi:10.1016/J.IJOES.2024.100575
- Shirtcliffe, N. J., McHale, G., Atherton, S. ve Newton, M. I. (2010). An introduction to superhydrophobicity. *Advances in Colloid and Interface Science*, 161(1-2), 124-138. doi:10.1016/J.CIS.2009.11.001
- Sivaganesh, D., Saravanakumar, S., Sivakumar, V., Rajajeyaganthan, R., Arunpandian, M., Nandha Gopal, J. ve Thirumalaisamy, T. K. (2020). Surfactants-assisted synthesis of ZnWO₄ nanostructures: A view on photocatalysis, photoluminescence and electron density distribution analysis. *Materials Characterization*, 159, 110035. doi:10.1016/J.MATCHAR.2019.110035
- Stratakis, E., Zorba, V., Barberoglou, M., Spanakis, E., Rhizopoulou, S., Tzanetakis, P., ... Fotakis, C. (2009). Laser structuring of water-repellent biomimetic surfaces. *SPIE Newsroom*. doi:10.1117/2.1200901.1441
- Taggart, A. F., Taylor, T. C. ve Ince, C. R. (1929). *Experiments with flotation reagents*. . New York: American Institute of Mining and Metallurgical Engineers.
- Taskin, N. U. ve Ordu, F. (2021). Effect of etching duration on roughness and wettability of different carbon steel substrates, *Materials Chemistry and Physics*, 257, 123746. doi:10.1016/J.MATCHEMPHYS.2020.123746

- Taskin, N. U., Beji, C. O., Ordu, F. ve Taskin, V. (2023). The Morphologies and Wetting Properties of CK40 and AA2024 Surfaces Produced by Chemical Etching and Stearic Acid Modification. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 59(5), 922-932. doi:10.1134/S2070205123700880
- Tam, J., Palumbo, G. ve Erb, U. (2016, 1 Mart). Recent advances in superhydrophobic electrodeposits. *Materials*. MDPI AG. doi:10.3390/ma9030151
- Toprak Döşlü, S., Dehri, İ. ve Yıldız, R. (2018). The Use of Sulfanilamide as Corrosion Inhibitor for Mild Steel Protection. *Korozyon Dergisi*, 25(1-2), 11-16. <https://www.researchgate.net/publication/384839933> adresinden erişildi.
- Toyserkani, Ehsan., Khajepour, Amir. ve Corbin, Stephen. (2005). *Laser cladding*. CRC Press.
- Uhlig, H. H. (1950). The Cost of Corrosion to the United States. *Corrosion*, 6(1), 29-33.
- Üneri, S. (2011). *E-Kitap-2-Korozyon-ve-Onlenmesi-Prof.Dr_.Saadet-Uneri.pdf* (3. bs.). Ankara: Korozyon Derneği. Erişim: <https://korozyondernegi.org.tr/>
- Üneri Saadet. (2011). *Korozyon Terimleri Sözlüğü* (C. 3). Ankara: Korozyon Derneği.
- Ürgüplü, M. ve Köksal, S. (2015). Lazer ile Kesme İşlemlerinde Kesim Kalitesine Etki Eden Parametreler (ss. 865-874). Valencia.
- Varpe, N. J. ve Tajane, R. (2024). Wear Behavior and Surface Quality Analysis of AISI 1040 Steel after Burnishing Process. *Journal of Surface Investigation*, 18(4), 992-1006. doi:10.1134/S1027451024700745/FIGURES/20
- Vazirinasab, E., Jafari, R. ve Momen, G. (2018). Application of superhydrophobic coatings as a corrosion barrier: A review. *Surface and Coatings Technology*, 341, 40-56. doi:10.1016/J.SURFCOAT.2017.11.053
- Verhoeven, J. D. (2007). Steel Metallurgy for the Non-Metallurgist. *Steel Metallurgy for the Non-Metallurgist*. doi:10.31399/ASM.TB.SNM.9781627082648
- Verma, C., Hussain, C. M., Quraishi, M. A. ve Alfantazi, A. (2023). Green surfactants for corrosion control: Design, performance and applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 311, 102822. doi:10.1016/J.CIS.2022.102822
- Voort, G. F. Vander, Lucas, G. M., Elena, L. ve Manilova, P. (2004). Metallography and Microstructures of Stainless Steels and Maraging Steels. doi:10.1361/asmhba0003767
- V.S.Sastri. (2011). *Green Corrosion Inhibitors:Theory and practice*. Ottawa: Wilwy.
- Walker, Perrin. ve Tarn, W. H. . (1991). *CRC handbook of metal etchants*. CRC Press.
- Walter von Baeckmann, Wilhelm Schwenk ve Werner Prinz. (1988). *Handbook of Cathodic Corrosion Protection* (3. bs.). Houston: Gulf Publishing Company.
- Wang, Q., Zhang, B., Qu, M., Zhang, J. ve He, D. (2008). Fabrication of superhydrophobic surfaces on engineering material surfaces with stearic acid. *Applied Surface Science*, 254(7), 2009-2012. doi:10.1016/j.apsusc.2007.08.039
- Washburn, E. W. (1921). The Dynamics of Capillary Flow. *Physical Review*, 17, 273-283.

- Wenzel, R. N. (1949). Surface roughness and contact angle. *Journal of Physical & Colloid Chemistry*, 53(9), 1466-1467.
doi:10.1021/J150474A015/ASSET/J150474A015.FP.PNG_V03
- Wenzel, R. W. (1936). Resistance of Solid Surfaces to Wetting by Water. *Industrial and Engineering Chemistry*, 28, 988-944.
- Wilhelmy, L. (1863). Ueber die abhangigkeit der capillaritats-constanten des alkohols von substanz und gestalt des benetzten festen korpers. *Annalen der Physik und Chemie*, 119(6), 177-217.
- Xie, Y. ve He, X. (2023). Asymmetric Gemini surfactants as corrosion inhibitors for carbon steel in acidic medium: Experimental and theoretical studies. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 660, 130850.
doi:10.1016/J.COLSURFA.2022.130850
- Yalçın, H. ve Koç, T. (1991). *Demir ve Çelik Yapıların Korozyonu ve Katodik Korunması*. Ankara.
- Yalçın H. ve Koç T. (2014). *Mühendisler İçin Korozyon* (C. 2). Ankara: Korozyon Derneği.
- Young, T. (1805). *An Essay on the Cohesion of Fluids* (C. 95, ss. 65-87). Phil. Trans. R. Soc. doi:https://doi.org/10.1098/rstl.1805.0005
- Yurtsever, M. (2025). Çevredeki Per ve Polifloroalkil Madde (PFAS) Kirliliği: Tarihçesi, Kaynakları, Analizi, Riskleri ve İlgili Düzenlemeler. *Recep Tayyip Erdoğan University Journal of Science and Engineering*, 6(1), 403-427.
doi:10.53501/RTEUFEMUD.1536329
- Zhang, H., Yang, J., Chen, B., Liu, C., Zhang, M. ve Li, C. (2015). Fabrication of superhydrophobic textured steel surface for anti-corrosion and tribological properties. *Applied Surface Science*, 359, 905-910.
doi:10.1016/j.apsusc.2015.10.191
- Zhang, J., Zhang, H., Ragab, T., Wang, W., Jin, Z., Zhu, Y., ... Jiang, K. (2024). An Atomistic Level Investigation of the PFDTES–Graphene Interfacial Shear Strength and the Stick–Slip Mechanism. *Langmuir*. doi:10.1021/acs.langmuir.4c02265
- Zhang, Y., Zhang, Z., Yang, J., Yue, Y. ve Zhang, H. (2022). Fabrication of superhydrophobic surface on stainless steel by two-step chemical etching. *Chemical Physics Letters*, 797, 139567. doi:10.1016/J.CPLETT.2022.139567
- Zhang, Y. (2007). *The effect of surface roughness parameters on contact and wettability of solid surfaces*. <http://lib.dr.iastate.edu/rtd> adresinden erişildi.
- Zhang, Z., Ge, B., Men, X. ve Li, Y. (2016). Mechanically durable, superhydrophobic coatings prepared by dual-layer method for anti-corrosion and self-cleaning. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 490, 182-188.
doi:10.1016/J.COLSURFA.2015.11.049
- Zhang, Z., Zhao, J., Lei, Y., Wang, Y., Zhou, G., Xu, C., Wang, K. (2020). Preparation of intricate nanostructures on 304 stainless steel surface by SiO₂-assisted HF etching for high superhydrophobicity. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 586. doi:10.1016/j.colsurfa.2019.124287

TEZ ÖĞRENCİSİNE AİT BİLİMSEL ÇIKTILAR

Uluslararası Makaleler

1. Ürkmez Taşkın, N., Ovacı Beji, Ç., Ordu, F., Taşkın, V., The Morphologies and Wetting Properties of Ck40 and AA2024 Surfaces Produced By Chemical Etching and Stearic Acid Modification, *Protection of Metals and Physical Chemistry Of Surfaces* (59)5, 922 – 932, doi: 10.1134/S2070205123700880, ISSN: 2070-2051

Uluslararası Bildiriler

1. Ovacı Beji, Ç., Ürkmez Taşkın, N., Analysis of SDS and DTAB Modification Solution Use in Contact Angle Behavior of Chemically Etched Steel Surfaces, 4th International Paris Scientific Researches and Innovation Congress (13.12.2025- 14.12.2025), ISBN: 978-625-8531-08-4
2. Ovacı Beji, Ç., Ürkmez Taşkın, N., Analytical Assestment of Surface Active Agents Addition in Chemical Machining of Stainless Steels Regarding Surface Roughness and MRR, 4th International Paris Scientific Researches And Innovation Congress, (13.12.2025- 14.12.2025), ISBN: 978-625-8531-08-4
3. Ovacı Beji, Ç., Ürkmez Taşkın, N., Effects Of Different Surface Modification Agents on Contact Angles of AISI304 and AISI316 Steel Surfaces, Ege 12th International Conference on Applied Sciences (26.12.2024- 30.12.2024), ISBN: 978-625-5962-09-6
4. Ovacı Beji, Ç., Ürkmez Taşkın, N., Effects of CTAB Adding into Chemical Etchant on Contact Angle and Material Removal Rate in the Production of

Hydrophobic Steel Surface, 5. International Selçuk Scientific Research Congress (14.12.2024- 15.12.2024), ISBN: 978-625-378-154-5

5. Ovacı Beji, Ç., Ürkmez Taşkın, N., The Effect of Different Reagents on Material Removal Rate in Micromachining of Aluminum and Steel Surfaces, 2nd International Natural Science, Engineering and Material Technologies Conference, ,19 – 19, ISBN: 978-605-68918-2-3

Projeler

1. 2022/162- Farklı Metalik Yüzeylerde Süperhidrofobik Yapı Geliştirilmesi ve Dayanıklılığı Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi-Analiz Desteği, 05.09.2022- 04.09.2023 Yükseköğretim Kurumları Tarafından Destekli Bilimsel Araştırma Projesi, Ulusal, Araştırmacı, Tamamlandı, 9.912,00 TL
2. 2020/135- Farklı Metalik Yüzeylerde Süperhidrofobik Yapı Geliştirilmesi ve Dayanıklılığı Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi, 21.12.2020, Yükseköğretim Kurumları Tarafından Destekli Bilimsel Araştırma Projesi, Ulusal, Araştırmacı, Tamamlandı, 38.637,00 TL

ÖZGEÇMİŞ

Çiğdem OVACI BEJİ, ilköğrenimini Eskişehir Yunus Emre İlkokulu'nda tamamlamış, 1988–1995 yılları arasında Eskişehir Kılıçoğlu Anadolu Lisesi'nde öğrenim görmüştür. Lisans eğitimini 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde tamamladıktan sonra Yüksek Lisans derecesini 2003 yılında Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim ve Organizasyon Anabilim Dalı'ndan almıştır.

1999–2013 yılları arasında ağırlıklı olarak ambalaj ve gıda sektörlerinde üretim planlama ve kalite güvence yönetimi alanlarında Kimya Mühendisi olarak çalışmıştır. 2013–2019 yılları arasında Trakya Bölgesi'nde farklı kurumlar tarafından yürütülen Interreg-IPA Bulgaristan Türkiye Sınır Ötesi İş birliği Programı projelerinde yürütücü ve danışman olarak görev almıştır. 2015–2017 yılları arasında TÜBİTAK destekli 1601 Trakya Üniversitesi Teknopark Kurulumu Projesi kapsamında Uluslararası Proje Uzmanı olarak çalışmıştır.

2019 yılından itibaren Kırklareli Üniversitesi Rektörlüğü'nde öğretim görevlisi olarak çalışmakta olan Çiğdem OVACI BEJİ, 2020-2026 yılları arasında Kırklareli Üniversitesi Proje Geliştirme ve Koordinasyon Ofisi Başkanı olarak görev yapmıştır.