



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KRİYOJENİK İŞLEMLERİN %3,5 NaCl ORTAMINDAKİ AA5083-  
H111 ALAŞIMININ KOROZYON DAVRANIŞI ÜZERİNE  
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**DOĞANCAN UZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. HÜSNÜ GERENGİ**

**DÜZCE, 2021**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KRİYOJENİK İŞLEMLERİN %3,5 NACI ORTAMINDAKİ AA5083-  
H111 ALAŞIMININ KOROZYON DAVRANIŞI ÜZERİNE  
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Doğancan UZ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ

Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Gökhan GECE  
Bursa

Teknik

Üniversitesi

Doç. Dr. Haydar GÖKSU  
Düzce

Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 27/01/2021

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

27 Ocak 2021

Doğancan UZ



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ'ye en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim süresince çalışmalarımı yakından takip eden ve desteklerini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. İlyas UYGUR'a ve Sayın Dr. Moses Monday SOLOMON'a içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen korozyon laboratuvarı çok değerli çalışma arkadaşlarım Sayın Mesut YILDIZ, Sayın Dr. Mine KURTAY ve Sayın Ertuğrul KAYA'ya yine en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, motivasyon kaynağım sevgili ablam Sevinç UZ'a, annem Fatma UZ'a, babam Seyfettin UZ'a ve çok sevdiğim yeğenim Mustafa CINGİLLİOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2020.06.05.1111 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiş ve Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Korozyon Araştırma Laboratuvarı'nda yürütülmüştür.

**27 Ocak 2021**

**Doğancan UZ**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. ALÜMİNYUM.....	3
1.2. KOROZYON.....	7
1.2.1. Korozyon Türleri .....	8
1.2.1.1. Çukurcuk Korozyonu .....	8
1.2.1.2. Uniform Korozyon (Genel Korozyon).....	9
1.2.1.3. Galvanik Korozyon .....	10
1.2.1.4. Seçici Korozyon .....	11
1.2.1.5. Gerilme Korozyonu.....	11
1.2.1.6. Tane Sınırları Korozyonu .....	11
1.2.1.7. Erozyon Korozyonu.....	12
1.2.2. Alüminyum Alaşımlarının Korozyonu.....	13
1.3. KRİYOJENİK İŞLEM.....	15
1.3.1. Kriyojenik İşlemin Gelişim Süreci .....	15
1.3.2. Kriyojenik İşlemin Özellikleri ve Çeşitleri .....	16
1.3.3. Kriyojenik İşlemi Etkileyen Faktörler .....	18
1.3.4. Kriyojenik İşlemin Kullanım Alanı ve Avantajları .....	20
1.4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	21
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>28</b>
2.1. ÇALIŞMA ELEKTROTU VE KULLANILAN KİMYASALLAR.....	28
2.2. NUMUNELERE KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMASI.....	28
2.3. UYGULANAN SERTLİK ÖLÇÜM YÖNTEMİ .....	29
2.3.1. Brinell Sertlik Derecesi Ölçümü .....	29
2.4. KOROZYON DENEYLERİNİN YAPILMASI.....	30
2.5. UYGULANAN YÜZEY MORFOLOJİ ANALİZİ YÖNTEMLERİ.....	32
2.5.1. SEM ve EDS Analizi .....	32
2.5.2. AFM ve Optik Profilometre (OP) Analizi.....	34
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>35</b>
3.1. KOROZYON DİRENCİNİN EIS YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ .....	35
3.2. SERTLİK DERECESESİ ÖLÇÜMLERİ .....	37
3.3. SEM VE EDS ANALİZLERİ.....	38
3.4. AFM VE OP ANALİZLERİ .....	53
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>62</b>

<b>5. KAYNAKLAR.....</b>	<b>63</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>69</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Alüminyumun sektörlere göre kullanım oranları. ....	1
Şekil 1.2. Alüminyum alaşım elementleri. ....	4
Şekil 1.3. Alaşımların gördüğü işlemlerin harfler ile ifadesi.....	6
Şekil 1.4. Çukurcuk korozyonu.. ....	9
Şekil 1.5. Genel korozyon.....	10
Şekil 1.6. Galvanik korozyon. ....	10
Şekil 1.7. Gerilme korozyonu .....	11
Şekil 1.8. Erozyon korozyonu.....	12
Şekil 1.9. Isıl işlem döngüsünde kriyojenik işlemin yeri.....	16
Şekil 1.10. Soğuk işlem ve kriyojenik işlem döngüsü.....	17
Şekil 1.11. Kriyojenik işlem öncesi malzemede ki atomlar arası boşluklar ve işlem sonrası ulaşılacak istenen ideal yapı. ....	19
Şekil 2.1. Deney iş akış planı.....	28
Şekil 2.2. Nüve DF 490 cihazı. ....	29
Şekil 2.3. DIGIROCK-RB Brinell sertlik değeri ölçüm cihazı. ....	30
Şekil 2.4. Korozyon deneylerinde kullanılan deney hücresi ve elektrotlar. ....	31
Şekil 2.5. GAMRY Referans 600 potentiostat/galvanostat/ZRA. ....	31
Şekil 2.6. Deney düzeneği (1-Çalışma elektrodu, 2-Ag/AgCl referans elektrot, 3-Pt elektrot). ....	32
Şekil 2.7. J. Quanta FEG 250 EDS SEM analiz cihazı.....	33
Şekil 2.8. J. Quanta FEG 250 EDS SEM analiz cihazı (iç görünüm).....	33
Şekil 2.9. PARKSYSTEMS, Model: XE-100E AFM analiz cihazı (a) ve Phaseview, Model: Zeescope OP analiz cihazı (b). ....	34
Şekil 3.1. Kriyojenik işlem öncesi ve sonrası elde edilen Nyquist diyagramları. ....	35
Şekil 3.2. Kriyojenik işlem öncesi ve kriyojenik işlem sonrası elde edilen a) Bode, b) Angle diyagramları. ....	36
Şekil 3.3. R(Q(R(QR))) devre modeli. ....	36
Şekil 3.4. İşlem görmemiş ve zamana bağlı sığ kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının yüzey sertlik değerleri. ....	38
Şekil 3.5. Kriyojenik işlem görmemiş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X. ....	39
Şekil 3.6. 10 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X. ....	40
Şekil 3.7. 24 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X. ....	41
Şekil 3.8. 36 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X. ....	42
Şekil 3.9. 48 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X. ....	43
Şekil 3.10. 72 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X. ....	44
Şekil 3.11. İşlem görmemiş (a) ve 10 saat kriyojenik işlem uygulanan (b) AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizi.....	46
Şekil 3.12. 24 saat kriyojenik işlem uygulanan (a) ve 36 saat kriyojenik işlem uygulanan (b) AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizi. ...	47
Şekil 3.13. 48 saat kriyojenik işlem uygulanan (a) ve 72 saat kriyojenik işlem	

uygulanan (b) AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizi. ...	48
Şekil 3.14. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizinde elde edilen Al (a) ve O (b) elementlerinin yüzdece dağılımı. ....	49
Şekil 3.15. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizinde elde edilen Cl (a) ve Na (b) elementlerinin yüzdece dağılımı. ....	50
Şekil 3.16. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizinde elde edilen Si (a) ve Mg (b) elementlerinin yüzdece dağılımı. ....	51
Şekil 3.17. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizinde elde edilen Mn (a) ve Fe (b) elementlerinin yüzdece dağılımı. ....	52
Şekil 3.18. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizinde elde edilen Zn elementinin yüzdece dağılımı. ....	53
Şekil 3.19. İşlem görmemiş ve 10 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası AFM analizleri. ....	54
Şekil 3.20. 24 saat kriyojenik işlem görmüş ve 36 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası AFM analizleri. ....	55
Şekil 3.21. 48 saat kriyojenik işlem görmüş ve 72 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası AFM analizleri. ....	56
Şekil 3.22. İşlem görmemiş ve 10 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası OP analizleri. ....	58
Şekil 3.23. 24 saat kriyojenik işlem görmüş ve 36 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası OP analizleri. ....	59
Şekil 3.24. 48 saat kriyojenik işlem görmüş ve 72 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası OP analizleri. ....	60

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Çizelge 2.1. AA5083-H111 alaşımının kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça).....	28
Çizelge 3.1. %3,5 NaCl çözeltisindeki AA5083-H111 alaşımının EIS sonuçları.....	37
Çizelge 3.2. EIS ölçümleri sonrası AFM sonuçları. ....	57
Çizelge 3.3. EIS ölçümleri sonrası OP sonuçları.....	61



## KISALTMALAR

AA2014-T651	Alüminyum 2014-T651 Alaşımı
AA2024-T351	Alüminyum 2024-T351 Alaşımı
AA2219-T87	Alüminyum 2219-T87 Alaşımı
AA5083	Alüminyum 5083 Alaşımı
AA6061	Alüminyum 6061 Alaşımı
AA6082	Alüminyum 6082 Alaşımı
AA7050-T7451	Alüminyum 7050-T7451 Alaşımı
AA7075	Alüminyum 7075 Alaşımı
AA7075-T651	Alüminyum 7075-T651 Alaşımı
AC	Alternatif Akım
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
ASA	Amerikan Standartlar Birliği
CMT	Soğuk Metal Transferi (Cold Metal Transfer)
CPE	Sabit Faz Elemanı
CT	Kriyojenik İşlem (Cryogenic Treatment)
DLBSW	Çift Lazer Işını Çift Taraflı Senkron Kaynak
EBS	Elektron Geri Saçılan Kırınım
EDS	Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi
EIS	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
FSW	Sürtünme Karıştırılmalı Kaynak (Friction Stir Welding)
GTAW	Gaz Tungsten Ark Kaynağı (Gas Tungsten Arc Welding)
GW	Giga Watt
H111	Germe veya düzeltme gibi işlemler sırasında tavllanmış ve hafifçe soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış malzeme (H11'den az)
HB	Brinell Sertlik Değeri (Hardness Brinell)
LP	Lazer Çekiçleme (Laser Peening)
LSP	Lazer Darbeli Çekiçleme (Laser Shock Peening)
NAB	Nikel-alüminyum Bronz
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NBS	National Bureau of Standart
OCP	Açık Devre Potansiyeli
OP	Optik Profilometre
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM	Transmisyon Elektron Mikroskobu
XPS	X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi
XRD	X-Işını Difraktometrisi
YSA	Yapay Sinir Ağı
1xxx	Bin Serisi Alaşımlar
2xxx	İki Bin Serisi Alaşımlar
3xxx	Üç Bin Serisi Alaşımlar
4xxx	Dört Bin Serisi Alaşımlar
5xxx	Beş Bin Serisi Alaşımlar
6xxx	Altı Bin Serisi Alaşımlar
7xxx	Yedi Bin Serisi Alaşımlar
8xxx	Sekiz Bin Serisi Alaşımlar

## SİMGELER

$B_4C$	Boron Karbür
Hz	Hertz
mV	Milivolt
Q	Sabit Faz Elemanı (S, s <sup>n</sup> cm <sup>2</sup> )
$R_a$	Ortalama Pürüzlülük ( $\mu\text{m}$ )
$R_{ct}$	Yük Transfer Direnci ( $\Omega\cdot\text{cm}^2$ )
$R_p$	Polarizasyon Direnci ( $\Omega\cdot\text{cm}^2$ )
$R_s$	Çözelti Direnci ( $\Omega\cdot\text{cm}^2$ )
$R_z$	On Noktanın Ortalama Pürüzlülüğü
Z	Empedans ( $\Omega$ )
$Z_{im}$	Hayali Empedans
$Z_{re}$	Gerçek Empedans
$\alpha$	Alfa Fazı
$\beta$	Beta Fazı
$\Omega$	Ohm

## ÖZET

### KRİYOJENİK İŞLEMLERİN %3,5 NACİ ORTAMINDAKİ AA5083-H111 ALAŞIMININ KOROZYON DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Doğancan UZ  
Düzce Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi  
Danışman: Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ  
Ocak 2021, 68 sayfa

Alüminyum; yüksek mekanik direnci, elektriksel ve ısı iletkenliği, yüksek korozyon direnci ve diğer metallerle kıyaslandığında daha düşük ağırlığa sahip olması sebebi ile son yıllarda kullanımı oldukça artan bir metaldir. Bu özellikleri sayesinde alüminyum, birçok endüstride tercih edilen ve bu endüstrilerde farklı kullanım alanlarına sahip bir metaldir. Kriyojenik işlem; diğer ısı ılışlemlerle kıyaslandığında daha ekonomik olan ve aynı zamanda, uygulanan metale göre değişim göstermekle birlikte, metallerin çeşitli mekanik özelliklerini iyileştirmede oldukça etkili bir ısı ılışlemdir. Bu yöntem son zamanlarda alüminyum için uygulanmaya başlanmıştır. Korozyon; özellikle denizcilik sektöründe kontrol edilmesi zor ve aynı zamanda önlem alınması gereken bir oksidasyon mekanizmasıdır. Bu sektörde özellikle korozyon direnci diğer alaşımlara göre daha yüksek olan alüminyum alaşımları tercih edilmektedir. Alüminyum alaşımlarının korozyon dirençleri kıyaslandığında AA5083-H111 alaşımının korozyon direnci diğer alaşımlara göre daha yüksektir. Bu sebeple AA5083-H111 alaşımı denizcilik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı; -80 °C sığ kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 alaşımının korozyon mekanizmasını araştırmak ve uygulanan bu işlemin metalin yüzey sertliği üzerindeki etkisini gözlemlemektir. Çalışmada; 6 mm kalınlığındaki AA5083-H111 alaşımına 10, 24, 36, 48 ve 72 saat -80 °C'de sığ kriyojenik işlem uygulanmıştır. Kriyojenik işlem öncesi ve sonrasında alaşımın korozyon mekanizması %3,5 NaCl ortamında Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) yöntemi ile araştırılmıştır. Alaşımda meydana gelen sertlik değerleri brinell sertlik ölçümü yöntemi ile analiz edilmiştir. Ayrıca Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Optik Profilometre (OP) teknikleri kullanılarak korozyon deneyleri sonrası alaşımın yüzeyinde meydana gelen morfolojik değerişimler gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular incelendiğinde, sığ kriyojenik işlemin %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki AA5083-H111 alaşımının korozyon direncini iyileştirme konusunda yeterli etkiyi gerçekleştirmediği görülmüştür.

**Anahtar sözcükler:** Korozyon, AA5083-H111, Kriyojenik işlem, Sertlik.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CRYOGENIC PROCESSES ON THE CORROSION BEHAVIOR OF AA5083-H111 ALLOY IN 3,5% NaCl ENVIRONMENT

Doğancan UZ

Düzce University

Institute of Sciences, Department of Mechanical Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Hüsnü GERENGI

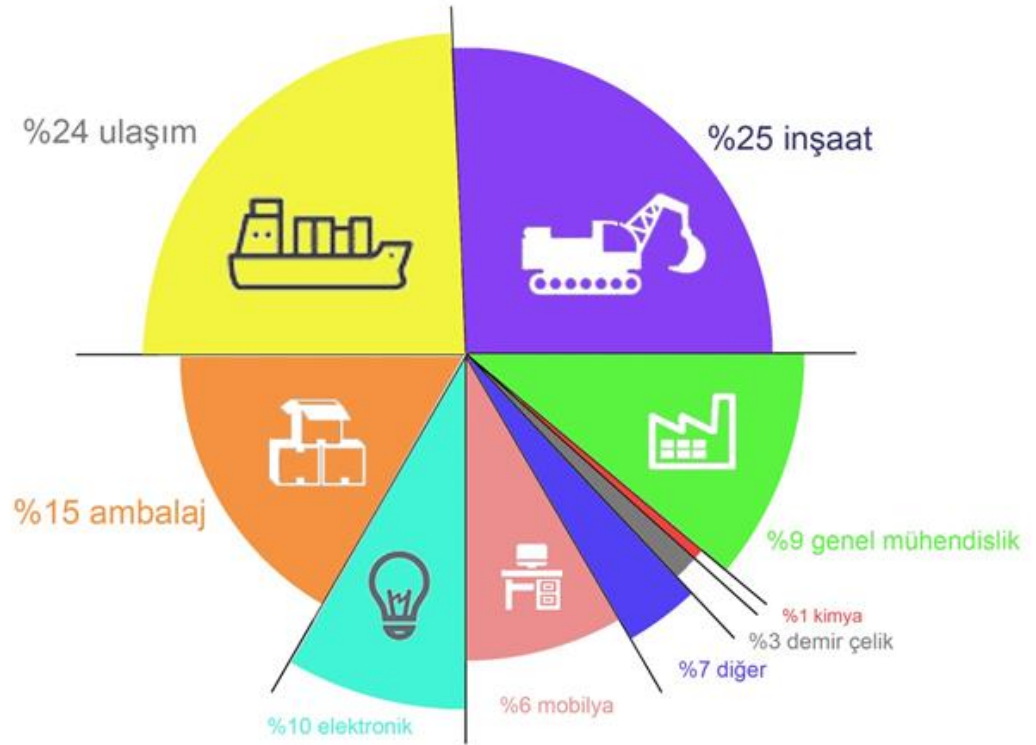
January 2021, 68 pages

Aluminum is a metal that has seen frequent use recently in many applications in the industrial sector because of its desirable properties. Many industries prefer aluminum because of its high mechanical resistance, electrical and thermal conductivity, high corrosion resistance, and lower weight compared to other metals. The cryogenic process is more economical compared to other heat treatments and at the same time, it is a very effective heat treatment for improving various mechanical properties of metals. This method has recently begun to be applied to aluminum. Although corrosion is an oxidation mechanism that is difficult to control, this control becomes a necessity in the maritime sector. Aluminum alloys with higher corrosion resistance than other alloys are preferred in this sector. The AA5083-H111 alloy has higher corrosion resistance compared with other aluminum alloys. For this reason, AA5083-H111 alloy is widely used in the maritime industry. The purpose of this study was to investigate the corrosion mechanism of AA5083-H111 alloy subjected to -80 °C shallow cryogenic processing and to observe the effect of this process on the surface hardness of the metal. In this study, shallow cryogenic treatment was applied to the 6 mm-thick AA5083-H111 alloy at -80 °C for 10, 24, 36, 48, and 72 h. Before and after the cryogenic process, the corrosion mechanism of the alloy was investigated via electrochemical impedance spectroscopy (EIS) in a 3,5% NaCl environment. The hardness values of the alloy before and after the experiments were analyzed by Brinell hardness measurement. In addition, after the corrosion experiments, morphological changes on the surface of the alloy were observed using scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM), and optical profilometer (OP) techniques. When the findings were examined, it was seen that the effect of the shallow cryogenic process was insufficient for improving the corrosion resistance of the AA5083-H111 alloy in a 3.5% NaCl solution.

**Keywords:** Corrosion, AA5083-H111, Cryogenic treatment, Hardness.

# 1. GİRİŞ

Alüminyum; oksijenden sonra dünya kabuğunda en çok bulunan element olarak bilinmektedir. Bu sebeple, alüminyumun günümüz şartlarındaki tüketimi göz önünde bulundurulduğunda bu elementin dünya üzerindeki rezervlerinin uzun süre tükenmeyeceği öngörülmektedir. Alüminyumun ve alaşımlarının; sahip oldukları yüksek mekanik direnç, yüksek korozyon direnci, iyi elektriksel ve ısı iletkenlik özellikleri sebebi ile son yıllarda kullanımı oldukça artmaktadır. Sahip olduğu bu özelliklerin yanında diğer metaller ile kıyaslandığında daha düşük bir yoğunluğa sahiptir ( $2,7 \text{ g/cm}^3$ ) [1]-[3]. Tüm bu özellikleri göz önünde bulundurulduğunda Şekil 1.1'de görülen oranlarla birçok farklı sektörde tercih edilmektedir.



Şekil 1.1. Alüminyumun sektörlere göre kullanım oranları [4], [5].

Alüminyum alaşımları sünek, hafif ve ağırlıklarına göre yüksek mukavemete sahip olmaları ile bilinmektedir. Fakat bu alaşımların nihai dayanımı çelik gibi geleneksel yapı malzemeleri kadar yüksek değildir [6]. Nihai dayanımı çeliğe kıyasla düşük

olmasına rağmen daha düşük yoğunlukta olması sebebiyle özellikle denizcilik ve havacılık sektöründe geniş kullanım alanına sahiptir [7]. Çelik ve diğer geleneksel yapı malzemelerine kıyasla daha hafif olan alüminyum, gerekli dayanımı sağladığı sürece başta yakıt ekonomisi olmak üzere birçok avantaja sahip olduğu için tercih sebebi olmaktadır [8]. Çalışma koşullarında yoğun korozyon ortamına maruz kalan gemiler ve diğer denizcilik uygulamalarında özellikle alüminyum alaşımı AA5083 yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [6]. Bu alaşımın diğer alüminyum alaşımlarına tercih edilmesinin başlıca sebebi mukavemetinin iyi olması, kolay şekillendirilebilmesi ve sahip olduğu yüksek korozyon direncidir [9].

Metallerin içinde buldukları ortam ile girdikleri kimyasal veya elektrokimyasal etkileşimler sonucu yapısal özelliklerini kaybetmesine korozyon denir [10]. Korozyon birçok sektör için sorun oluşturmakta ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Gemiler ve diğer deniz araçları gibi metalik kaynaklı yapılara sahip ulaşım araçları genellikle dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Aynı zamanda içinde buldukları deniz suyu ve açık hava sebebiyle korozyon ortamına da maruz kalırlar. Böyle bir durumda, çevredeki dinamik yüklerin ve içinde bulunulan ortamın metal yüzeyini aşındırması sebebiyle korozyon meydana gelmektedir. Genel olarak, metalik malzemelerde çevresel sebepler ile aşınmayı etkileyen faktörler arasında; çalışma koşullarında maruz kalınan yük frekansı, sıcaklık, metalurjik faktörler ve çevre koşulları kaynaklı korozyon yer almaktadır [11]. Korozyon; birçok farklı sektörü olumsuz anlamda etkilemektedir. Özellikle korozyon sebebi ile depolar, yer altı boru hatları, denizaltılar ve feribotlar daha kısa sürede servis dışı kaldıkları için ciddi ekonomik kayıplar meydana gelmekte; meydana gelen bu ekonomik kayıplar da çözülmesi gereken ciddi bir probleme neden olmaktadır [12].

Korozyonun, özellikle gemiler ve deniz araçları için problem yaratması sebebiyle denizcilik sektöründe korozyon direnci yüksek ve deniz suyuna dayanıklı 5xxx serisi alaşımlar kullanılmaktadır [9], [13]. Bu serinin içinde de AA5083 Al-Mg alaşımı tercih edilmektedir [7]. Yüksek korozyon direnci sayesinde gemi inşa endüstrisinde, tek veya çok gövdeli yüksek hızlı feribotlarda ve nakliye ekipmanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [14]-[16]. AA5083 alaşımı yoğun bir şekilde kullanıldığı için yüzey özelliklerinin, sertliğinin ve korozyon direncinin kullanılan ortama uygun olacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Korozyon probleminin çözüme kavuşturulması, ekonomiden malzemelerin ömrüne kadar birçok alanda pozitif etki yaratacaktır. Yüzey

sertliđi sođuk ısıl iřlem uygulanarak gerçekleřtirilebilmektedir [7], [17]. Korozyon direnci ve sertlik deđerlerini geliřtirirken kolay ve dūřuk maliyetli yontemler tercih etmek onemlidir [7].

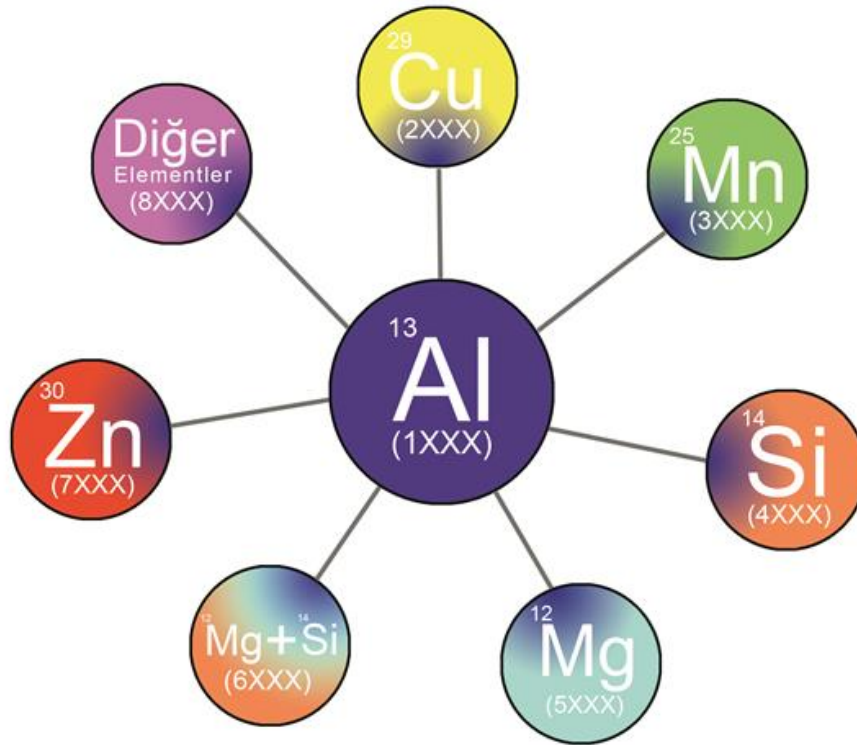
Kriyojenik işlem; malzemelerin oda sıcaklığına kıyasla çok daha dūřuk sıcaklıklarda belirli sūrelerde bekletilmesiyle gerçekleşen bir yūzey ısıl işlemidir. Bu işlem malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Kriyojenik işlem iki farklı yontem ile gerçekleştirilmektedir. Bu yontemlerden birincisi derin kriyojenik işlem, ikincisi ise sığ kriyojenik işlemidir. Derin kriyojenik işlemde malzeme -196  C'ye kadar soğutulur ve bu sıcaklıkta sabit tutularak bekletilir. Sığ kriyojenik işlemde ise malzeme -80  C ile -145  C arası sıcaklıklara kadar soğutulur ve derin kriyojenik işleme göre daha kısa sūreler bekletilerek işlem tamamlanır [18]. Kriyojenik işlem; çelikler, dökme demirler, demir dışı metaller başta olmak ūzere birçok farklı malzemeye uygulanmaktadır [19]. Diđer ısıl işlemlere kıyasla maliyetinin daha uygun olması avantajı ile tercih sebebi olmaktadır.

## 1.1. ALŪMİNYUM

Alūminyumu diđer metallerden ayıran özelliklerin bařında; yer kūrede en çok bulunan elementlerden biri olması ve hafif, elektrik iletkenliđinin yūksek, korozyon direncinin iyi olması gelmektedir [1], [20]. zgūl ađırlılıđının 2,7 g/cm<sup>3</sup> olması hafiflik anlamında avantaj sađlasa da % uzamasının 60, akma dayanımının 2,6 kg/mm<sup>2</sup>, çekme dayanımının 10,4 kg/mm<sup>2</sup> olması sebebiyle mekanik özellikleri diđer metallere kıyasla dūřūktūr. Alūminyumun mekanik özellikleri çeřitli elementlerin ilavesi ile iyileřtirilmekte ve yapılan bu iyileřtirme sonucu alūminyumun dayanım deđerleri basit yapı çeliklerinin deđerlerine rahatça ulařabilmektedir [5], [21].

Alūminyum alařımlarının kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri alařım elementlerine bađlı olarak deđerlik göstermektedir. En çok kullanılan alařım elementlerinin bařında bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinko gelmektedir [22]. Alūminyum alařımları ūretim yontemine göre dkūm ve dövme (řekillendirilebilen) alařımları olmak ūzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Dövme alařımların mekanik özellikleri ekstrūzyon, haddeleme, çekme gibi metal iřleme prosesleri ile geliřtirilirken dkūm alařımlarının mekanik özellikleri dkūm iřlemi sonucu sona yakın hale gelmektedir. Alūminyum alařımlarını bileřimlerine ve metalūrjik durumlarına bađlı olarak ayırt etmek için farklı tanımlama

sistemleri kullanılmaktadır [1]. Dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme sistemi Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından belirlenen simgeleme sistemidir. Bu simgeleme sistemi dört rakamın yan yana gelmesi ile oluşmaktadır. Yan yana gelen bu dört rakamdan ilki temel alaşım elementini belirtmektedir. Son iki rakam alüminyumun saflık oranının ondalık kısmını göstermektedir. Örneğin 1275 alüminyum alaşımında; ilk rakam %99 oranında alüminyumu gösterirken son iki rakam ise bu alaşımın saflık değerinin %99,75 olduğunu belirtir. Soldan ikinci rakam ise özel denetlenen karışım elementlerinin sayısını belirtmektedir. Temel alüminyum alaşımları ve bu alaşımların içinde bulundukları ana elementler Şekil 1.2’de gösterilmektedir [5].



Şekil 1.2. Alüminyum alaşım elementleri.

Birden sekize kadar yapılan alaşım sınıflandırmasının detayları aşağıdaki gibidir:

1xxx: Saf alüminyumdur. Genel olarak kimya endüstrisinde kullanılır.

2xxx: Al-Cu alaşımlarıdır. Bu alaşımında esas alaşım elementi bakırdır. Diğer alaşım elementleri de eser miktarda bulunabilir. Mukavemetin yüksek olması istenen havacılık sektöründe yaygın olarak tercih edilmektedir.

3xxx: Al-Mn alaşımlarıdır. Bu alaşımında esas alaşım elementi mangandır. Mimari uygulamalar ve sıvı tanklarında tercih edilmektedir.

4xxx: Al-Si alaşımlarıdır. Bu alaşımda esas alaşım elementi silisyumdur. Korozyon dayanımları yüksektir. Otomobil parçaları ve levha üretiminde kullanılmaktadır.

5xxx: Al-Mg alaşımlarıdır. Bu alaşımda esas alaşım elementi magnezyumdur [23]. Alaşımın magnezyum oranı arttıa mukavemeti ve sertliği de artmaktadır. Bu alaşımın denizel korozyona karşı direnci oldukça yüksek olduğundan deniz ortamında çalışacak makine ve yapıların imalatında oldukça fazla tercih edilmektedir.

6xxx: Al-Mg-Si alaşımlarıdır. Bu alaşımda esas alaşım elementi magnezyum ve silisyumdur. Alaşımın Őekillendirilebilme kabiliyeti yüksek olduğu için ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılmaktadır.

7xxx: Al-Zn alaşımlarıdır. Bu alaşımda esas alaşım elementi çinkodur. En yüksek mukavemete sahip alüminyum alaşımıdır. Çalışma Őartları altında yüksek yükler altında çalışan makine elemanlarının yapımında ve uçak parçalarının yapımında kullanılmaktadır.

8xxx: Diğer element alaşımlarıdır. Bu alaşımda esas alaşım elementi lityumdur. Tokluk ve yorulma direncinin yüksek olması sebebiyle uçak ve uzay sanayiinde kullanılan bu alaşımın maliyetleri oldukça yüksektir [22].

Alaşım sınıflandırmasını gösteren bu dört rakamın ardından yine bir takım sayısal ve alfabetik ifadeler gelebilmektedir. Bu ifadeler alaşımın gördüğü kararlılık işlemine, soğuk işlemine, kısmi tavlama işlemine, su verme işlemine, üreticinin dışında uygulanan ısıl işlemlerini, temperlerin uygulama ve çeşitlerini ifade etmektedir. Aşağıda yer alan Şekil 1.3'te bu ifadelerin açıklamaları yer almaktadır [24].

F	Üretim- Ürünlerde hiçbir özel ısıl kontrol veya sertleştirme koşulları kullanılmayan şekillendirme sistemidir.
T	Isıl İşlem- F, O, H'den daha kararlı tav sağlamak için kullanılan yöntemdir. Ürünler tava uygulaması bazen sabit sertlik derecesi sağlamak için şekil değiştirme sertleştirmesiyle birlikte uygulanır.
H	Şekil Değiştirme Sertleşmesi- Soğuk şekillendirme ile üretilen ürünlere uygulanır. Şekil değiştirme sertleşmesini, mukavemeti bir miktar düşüren ek ısıl işlem uygulamaları takip etmektedir. H'yi genelde 2 veya daha fazla sayı takip etmektedir.
O	Tavlama- Uygulanan tav, en düşük mukavemet koşullarını, süneklik ve boyutsal kararlılığı sağlamak için uygulanır.
W	Çökelti Sertleşmesi Isıl İşlemi- Kararlı olmayan alaşımlara yalnızca çözeltiye alma tavlamasından sonra oda sıcaklığında kendiliğinden yaşlanmayı sağlayan tav uygulanır.

Şekil 1.3. Alaşımların gördüğü işlemlerin harfler ile ifadesi.

H'den sonra gelen ilk rakam, uygulanan temel işlemi tanımlar.

- H1: Sadece Şekil Değiştirme Sertleşmesi
- H2: Şekil Değiştirme Sertleşmesi ve Yapay Yeniden Kristalleştirme
- H3: Şekil Değiştirme Sertleşmesi ve Yapı Dengelemesi
- H4: Şekil Değiştirme Sertleşmesi ve Parlatma veya Boyama

H'den sonra gelen ikinci rakam, şekil değiştirme sertliğinin derecesini tanımlamaktadır.

- HX2: Dörtte Bir Oranında Sert
- HX4: Yarım Sert
- HX6: Üç-çeyrek Sert
- HX8: Tam Sert
- HX9: Çok Sert

Isıl işlem tanımlamaları da aşağıdaki gibidir:

- T1: Ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklıkta şekil verilmiş parçalar soğutulduktan sonraki doğal yaşlandırma
- T2: Yüksek sıcaklıkta şekil verme soğutmasının ardından soğuk şekillendirme ve sonrasında doğal yaşlandırma
- T3: Çözeltiye alma ısıl işlemi, soğuk şekillendirme ve doğal yaşlandırma
- T4: Çözeltiye alma ısıl işlemi ve doğal yaşlandırma
- T5: Yüksek sıcaklıkta şekil verme soğutmasının ardından yapay yaşlandırma

- T6: Çözeltiye alma ısıl işlemi ve yapay yaşlandırma
- T7: Çözeltiye alma ısıl işlemi ve stabilizasyon
- T8: Çözeltiye alma ısıl işlemi, soğuk şekillendirme ve yapay yaşlandırma
- T9: Çözeltiye alma ısıl işlemi, yapay yaşlandırma ve soğuk şekillendirme
- T10: Yüksek sıcaklıkta şekil verme soğutmasından sonra soğuk şekillendirme ve sonra yapay yaşlandırma [24], [1].

Özellikle denizcilik sektöründe 5xxx serisi alüminyum alaşımlarının kullanımına olan ilgi artmıştır. AA5083-H111 alaşımı; hafifliği, iyi kaynaklanabilirlik özelliği ve deniz ortamındaki yüksek korozyon direnci sebebiyle denizcilik sektöründe diğer alaşımlara göre daha fazla tercih edilmektedir [11]. Bu alaşımdan üretilen parçalar çalışma koşullarında yüksek yüklere maruz kaldıkları için yüzey özellikleri, yüksek sertliğe ve daha iyi korozyon direncine sahip olacak şekilde geliştirilmelidir. AA5083 alaşımının yüzey sertliği soğuk işlem ile gerçekleştirilebilmektedir. Alaşımın korozyon direncini ve sertlik değerlerini geliştirirken de kolay ve düşük maliyetli yöntemler tercih edilmektedir [7].

## **1.2. KOROZYON**

Malzemelerin içinde buldukları ortam ile girdikleri kimyasal ve elektrokimyasal tepkimeler sonucunda yapılarında meydana gelen istenmeyen değişikliklere korozyon denir. Korozyon genellikle nemli havanın, tuzlu suyun, yüksek sıcaklığın, asidik-bazik ortamın ve kirli havanın bulunduğu ortamlarda gerçekleşmektedir. Korozyonun gerçekleşmesi için anot, katot, elektrolit (iletken çözelti) ve metalik iletim yolunun ortamda bulunması gereklidir. Metal iyonlarının oksitlenmesi sonucu ortaya çıkan elektronların metal iletkene ile katoda taşınmasıyla indirgenme tepkimesi meydana gelir. Böylece korozyon meydana gelmiş olur [25]-[27].

Korozyonun; çukurcuk korozyonu, galvanik korozyon, uniform korozyon ve tanecikler arası korozyon gibi birçok çeşidi bulunmaktadır. Alüminyum alaşımlarında en fazla görülen korozyon türü ise çukurcuk korozyonudur [28]. Korozyon probleminin önemi; dünya nüfusundaki hızlı artış ve bu artış ile birlikte metal üretiminin artması, teknolojinin birçok alanında metallerin kullanımının artması, korozyona uğramış cihazların işlevini yitirmesi sonucu endüstri üretiminin azalması, korozyona uğrayan malzemelerin çevre ve insan sağlığına son derece zararlı olduğunun anlaşılması ve

yeraltı maden yataklarının hızlı bir şekilde tükenmesi gibi sebeplerden ötürü günden güne artmaktadır [4].

Korozyonun doğrudan ya da dolaylı olarak sebep olduğu ekonomik kayıpları engellemek veya en aza indirmek için birtakım tedbirler almak gerekmektedir. Bu tedbirlerin başında; yüzey kaplamaları, korozyona dayanıklı malzemelerin kullanımı, agresif ortamlara yapılan ilaveler ve ömrünü tamamlayarak bozulan parçaların yenileri ile değiştirilmeleri gelmektedir. Korozyonun insan ve çevreye etkilerinden biri de can ve mal güvenliğidir. Korozyon sonucu beklenmedik bozunmalara uğrayan ve kullanım dışı kalan malzemeler çevreye ciddi zararlar verebilmektedir. Gıda maddelerinin temas halinde olduğu ambalajlarda meydana gelen korozyon olayları ise bu gıda maddelerinin sağlığa zararlı hale gelmesine neden olmaktadır.

Metal kullanımının hızla artması sebebiyle, ülkelerin korozyon nedeniyle uğradığı zararlar dikkat çekmeye başlamıştır. Çeşitli ülkelerde yapılan araştırmalar sonucu korozyon sebebiyle ülkelerdeki gayri safi milli hasılanın %3,5 ile %5'i arasında değiştiğini göstermektedir. Bu alanda bilinen en detaylı inceleme Amerika Birleşik Devletleri'ndeki NBS'nin (National Bureau of Standards) 1978 yılında yayımlanmış olduğu çalışmadır. Çalışmada; ülke ekonomisi 130 sektöre bölünmüştür. Bu 130 sektör için doğrudan veya dolaylı korozyon kayıpları girdi-çıkıtı analizi ile incelenmiş ve her sektöre özel endüstri katsayıları; birim dolar başına korozyon kayıpları ve önlenemez korozyon kayıpları olarak hesaplanmıştır. Yine bu çalışmada yer alan katsayıların uyarlanmış değerleri kullanılarak ve Türk ekonomisinin 1991 yılındaki girdi-çıkıtı verilerinden yararlanılarak Türkiye'de meydana gelen metalik korozyon kaybı tahmin edilmiştir. Bu çalışmanın sonucuna göre Türkiye'nin toplam metalik korozyon kaybı gayri safi milli hasılanın %4,36'sı, önlenemez korozyon kaybının ise %1,63 olduğu tespit edilmiştir [29]. Öte yandan, 2013 yılı verileri göz önüne alındığında ülkelerin farklı sektörlerdeki toplam korozyon maliyetlerinin Avrupa'da 18,331 milyon US\$, Amerika'da 16,72 milyon US\$, Çin'de 9,33 milyon US\$ ve Japonya'da 5,002 milyon US\$ olduğu görülmektedir [30].

### **1.2.1. Korozyon Türleri**

#### **1.2.1.1. Çukurcuk Korozyonu**

Çukurcuk korozyonu bölgesel bir korozyon çeşididir. Genellikle yüzeyinde aktif olmayan koruyucu bir tabaka bulunan malzemelerde gözlemlenir [1]. Aktif olmayan bu

tabaka genellikle metal yüzeyinde biriken toz ve pastan meydana gelmektedir [29]. Ortamda yer alan iyonlar veya yüzeyde meydana gelen bir hasar sonucu, bu bölgelerin daha anodik olmasına ve çevresiyle galvanik ikili oluşturmasına sebep olur. Tüm bunların sonucu olarak korozyon iç yüzeyine doğru tesir eder. Yüzeyde meydana gelen bu lokal potansiyel farklar sebebiyle çukurcuk korozyonu meydana gelir [27]. Çukurcuk korozyonu; çelikler, nikel, titanyum ve alüminyum alaşımlarında yaygın olarak görülen ve son derece tehlikeli sonuçlar doğurabilme potansiyeli sebebiyle kontrol edilmesi gereken bir korozyon oluşumudur [1].



Şekil 1.4. Çukurcuk korozyonu.

#### 1.2.1.2. *Uniform Korozyon (Genel Korozyon)*

Uniform korozyon ya da bir diğer adıyla tanınan genel korozyon; metalin tüm yüzeyinin homojen bir şekilde incilmesiyle ortaya çıkan bir korozyon çeşididir. Çeliklerin ve dökme demirlerin atmosfere açık korozif ortamlarda havaya, toprağa ve suya teması sonucu uniform korozyon oluşmaktadır [1]. Alüminyum ve alaşımlarında da asidik ve bazik ortamlarda bu tür korozyon meydana gelmektedir. Metal yüzeyinin her bölgesinde yaklaşık olarak aynı derecede kayıplar söz konusu olduğu için korozyon hızı tespit edilerek malzeme ömrü hesaplanabilir. Bu sayede önlem alınabilmektedir [29].



Şekil 1.5. Genel korozyon [24].

#### 1.2.1.3. Galvanik Korozyon

Birbiriyle etkileşim halinde bulunan ve birbirinden farklı standart elektrot potansiyeline sahip malzemelerin aynı ortamda bulunması sonucu zaman içinde meydana gelen korozyon çeşidine galvanik korozyon denir [1]. Standart indirgenme potansiyeli daha düşük olan metal anodik hale geldiğinde korozyon meydana gelir. Metaller arasındaki potansiyel fark ne kadar yüksek ise meydana gelen korozyon da çok daha hızlı bir şekilde gerçekleşir [29]. Alüminyum ve pirinç malzemelerin paslanmaz çelik ile teması sonrası oluşan galvanik korozyon Şekil 1.6'da gösterilmiştir [1].



Şekil 1.6. Galvanik korozyon.

Galvanik korozyonu önlemek için ilgili galvanik serisinde mümkün olduğunca yakın

metal çiftleri seçilmelidir [29].

#### 1.2.1.4. Seçici Korozyon

Alaşımın içerisindeki elementlerden birinin korozyona uğraması ve bu sebeple diğer elementlere göre alaşımdan daha erken ayrılması olayına seçici korozyon denir. Pirinç malzemelerde daha sık rastlanan bu olayda çinko elementi bakır elementine göre daha önce korozyona uğradığı için alaşımdan uzaklaşır [1].

#### 1.2.1.5. Gerilme Korozyonu

Korozyon oluşumuna müsait ortamlarda, metal aynı anda statik bir gerilime maruz kalıyorsa kırılması ve çatlama için uygun ortam oluşmuş demektir. Yüzeyde oluşan bu çukurcuklar, korozyonun meydana gelmesine neden olurlar [29]. İçten yanmalı motorların silindir gömlekleri, yüksek basınçlı kaplar ve buhar kazanları gibi koroziif ortamlarda çalışan birçok metal yapı için bu çukurcukların oluşması ve devamında gerilme korozyonu meydana gelmesi olasılığı oldukça yüksektir [1]. Diğer birçok korozyon mekanizmasında metallerin yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşurken yüksek gerilim altındaki metalin yüzeyinde bu tipte bir koruyucu tabaka oluşmaz. Böyle bir durumda da korozyon oluşumu devam ederek metal yüzeyinde çatlaklar meydana gelmektedir ve bu çatlaklar malzeme ömrü için ciddi tehlikeler yaratabilmektedir. Yüksek mukavemete sahip alüminyum alaşımlarının deniz suyu ile temas etmesi sonucunda gerilmeli çatlak korozyonu meydana gelmektedir [29].



Şekil 1.7. Gerilme korozyonu [29].

#### 1.2.1.6. Tane Sınırları Korozyonu

Bu korozyon şeklinde; tanecik sınırlarında fiziksel ve kimyasal olarak farklı bölgeler bulunmaktadır. Tane sınırlarının iç bölgelerine kıyasla tane sınırlarının yüzeyinde

potansiyel farkı daha büyük olduğu için soy yapıdaki tane içi korunurken tane sınırı korozyona maruz kalmaktadır [29]. Bu korozyon türü genellikle metale ısıl işlem uygulandığı sırada veya ergiyik metalin katılaşma anında gerçekleşir. Tanecik sınırlarında gözle görülür bir ayrışma meydana gelmektedir. Demir içeren alüminyum alaşımlarında da görülen bu korozyon çeşidinde, alüminyumun içinde yer alan çözünürlüğü düşük demir elementi tanecik sınırlarında birikir ve bu bölgelerdeki korozyon direncinin düşmesine sebep olur. Bu korozyon; paslanmaz çelik ve alüminyum kullanımının yaygın olduğu sektörlerde önemli bir problemdir [1].

#### 1.2.1.7. Erozyon Korozyonu

Bir metal ve bu metalin içinde bulunduğu korozif ortam arasındaki harekete bağlı olarak metalin yüzeyindeki aşınma sonucu meydana gelen korozyona erozyon korozyonu denmektedir [29]. İçerisinde korozif özellikteki akışkanları taşıyan metal malzemelerin iç yüzeylerinde akış yönünün aksindeki metalin yapısındaki homojensizlik sebebiyle erozyon korozyonu meydana gelmektedir [27]. Boru ile taşıma yapılan sistemlerde oldukça fazla meydana gelmektedir. Deniz ortamındaki bakırın ve alüminyumun korozyonu, erozyon korozyonuna verilebilecek en güzel örneklerden biridir. Alüminyum ve alaşımlarının erozyon dayanımlarının düşük olması sebebiyle elektrik enerji santralleri ve petrokimyasal çalışmalar yapılan uygulamalarda bu alaşımlar tercih edilmezler [1].



Şekil 1.8. Erozyon korozyonu.

### 1.2.2. Alüminyum Alaşımlarının Korozyonu

Dünyada demir dışı metallerin tüketiminde alüminyum ilk sırada gelmektedir. Alüminyumun kullanımı, ulaşımdan ambalajlamaya kadar birçok farklı sektörde yaygın hale gelmiştir. Alüminyum alaşımlarının hafif ve kolay şekillendirilebilir olmasının yanı sıra atmosferik, sulu ve kimyasal ortamlarda çok iyi bir korozyon direncine sahip olması da en önemli tercih edilme sebeplerinden biridir [29]. Alüminyum çok aktif bir metaldir. Açıkta kalan metal yüzeyi, içinde bulunduğu ortam ile reaksiyona girerek üzerinde ince saydam bir oksit filmi oluşturur [31], [32]. Bu film korozyon oranını kontrol eder ve alt tabaka metalini korur [33]. Bu sayede alüminyum ve alaşımlarının kullanım ömrü uzun olur. Oksit filmi hasar görürse ve onarılamazsa, metal yüzeyinde korozyon çok hızlı meydana gelir [31].

Deniz atmosferi korozyon için ideal bir elektrolittir. İletkenliği yüksek olan deniz suyu temas ettiği metal yapılar için oldukça korozif bir ortam oluşturur. Denizcilik sektörü, diğer ticari sektörlere kıyasla ulaşımda önemli bir paya sahiptir. Kara taşımacılığına göre, gemilerin yapım ve bakım maliyetleri son derece yüksektir. Gemiler ve doğal gaz hatları; 15 yıl gibi kısa bir sürede bakım ve onarımı iyi yapılmazsa hurdaya dönüşebilmektedir. Özellikle savaş gemileri, uçak gemileri ve denizaltılar gibi savunma teknolojileri açısından çok pahalı yatırımlar göz önüne alındığında, deniz suyunun aşındırıcı verimliliği büyük önem taşımaktadır. Deniz suyu, klorür içeriği nedeniyle, dünyadaki en büyük hacimli ve verimli elektrolittir [27].

Denklem 1.1 ve Denklem 1.2'ye göre alüminyum yüzeyinde oluşan oksit filmi korozyona karşı koruma sağlamaktadır. Fakat bu korumanın belli bir dereceye kadar sağlandığı kabul edilmektedir [34].



%3,5 NaCl ortamı gibi agresif ortamlarda oksit tabakası parçalanmaktadır. Oksit tabakasının parçalanmasının ardından çıplak metal yüzeyi aşındırıcı iyonlar ile reaksiyona girmektedir. Çıplak alüminyum yüzeyindeki bozunma reaksiyonları Denklem (1.3) ve Denklem (1.4)'te verilmiştir [34].



Bu bozunma reaksiyonlarına bağı olarak katodik tarafta ilerleyen reaksiyonlar (Denklem 1.5, Denklem 1.6) ve  $Cl^-$  iyonlarının  $Al^{+3}$  ile etkileşimi (Denklem 1.7) sonrası oksiklorür kompleksinin oluştuğu raporlanmıştır [34].



Denizcilik uygulamalarında kullanılan alüminyum malzemelerin bütünlüğünü etkileyen korozyon mekanizmalarının başında çukurcuk (pitting) korozyonu gelmektedir. Çoğu alüminyum alaşımı, metal yüzeyinde korozyon oranını azaltmaya yardımcı olan ince bir oksit tabakası içerdiği için korozyon direnci yüksektir. Bununla birlikte; bu oksit filmi lokal olarak parçalandığında, çukurcuk korozyonu meydana gelir. Böylece oksit film tabakasının altında kalan metalin çözünmesi hızlanır [4].

Alüminyumun 1xxx, 3xxx, 5xxx, 6xxx ve 8xxx serisi alaşımları deniz ve sanayi ortamlarındaki atmosferik korozyona karşı çok iyi direnç gösterir [29]. Korozyonun, özellikle gemiler ve deniz araçları için ciddi problemler oluşturması sebebiyle denizcilik sektöründe korozyon direnci diğer alaşımlara kıyasla yüksek olan 5xxx serisi alaşımlar kullanılır [7]. Bu seri özelinde de AA5083 Al-Mg alaşımı tercih edilmektedir [5]. Yüksek korozyon direnci sayesinde gemi inşa endüstrisinde, tek veya çok gövdeli yüksek hızlı feribotlarda ve nakliye ekipmanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [35].

Bu çalışmanın amacı;  $-80\text{ }^\circ\text{C}$  sığ kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 alaşımının korozyon mekanizmasını araştırarak uygulanan kriyojenik işlem yönteminin metalin yüzey sertliği üzerindeki etkisini gözlemlemektir. Çalışmada kullanılan AA5083-H111 alaşımı 6 mm kalınlığındadır ve bu alaşıma 10, 24, 36, 48 ve 72 saat  $-80\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sığ kriyojenik işlem uygulanmıştır. Kriyojenik işlem öncesi ve sonrasında alaşımın korozyon mekanizması %3,5 NaCl ortamında Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) yöntemi ile belirlenmiştir. Alaşımda meydana gelen sertlik değerleri Brinell sertlik ölçümü yöntemi ile analiz edilmiştir. Ayrıca Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Optik Profilometre (OP) teknikleri kullanılarak korozyon deneyleri sonrası alaşımın yüzeyinde meydana gelen morfolojik değişimler gözlemlenmiştir.

## 1.3. KRİYOJENİK İŞLEM

### 1.3.1. Kriyojenik İşlemin Gelişim Süreci

Isıl işlemlerin genel kullanım amacı metallerin mekanik özelliklerini iyileştirmektir. Günümüze kadar geliştirilerek kullanılan birçok ısıl işlem yönteminde oda sıcaklığına kıyasla çok daha yüksek sıcaklıklara çıkılması gerekmektedir. Sıfırın altındaki sıcaklıklardaki ısıl işlem uygulamalarının 20. yüzyılda “soğuk işlem” adıyla başlamasına karşın, gerçek anlamda kriyojenik işlem günümüz teknolojisiyle mümkün olmaktadır [36]. Soğuk uygulamaların malzemeler üzerindeki etkisini ilk fark eden kişiler NASA mühendisleridir. Uzay boşluğunda çeşitli çalışmalar yapıldıktan sonra geri dönen metal parçaların çoğunun, görev öncesindeki mekanik özelliklerine göre daha iyi özellikler sergiledikleri gözlemlenmiştir [37].

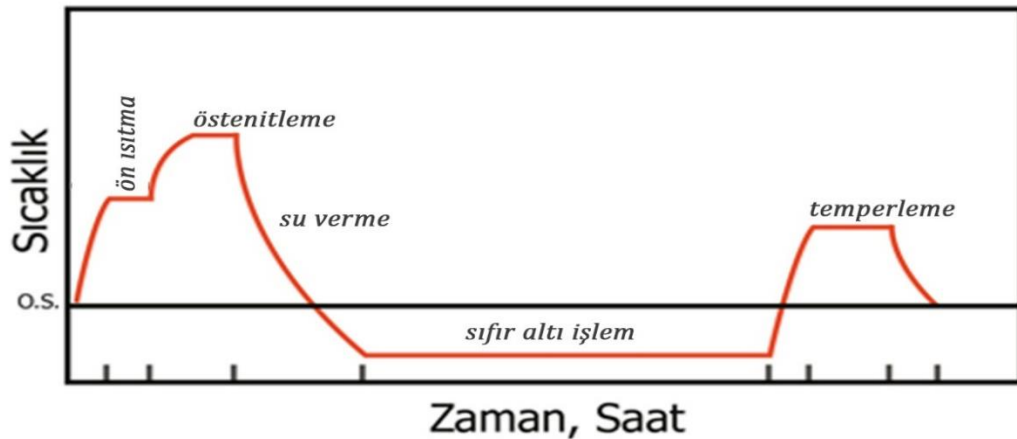
“Kriyojenik” kelimesi iki Yunanca kelimenin birleşiminden meydana gelmektedir. Bunlar; don veya dondurmak anlamına gelen “kryos” ve üretmek anlamına gelen “genic” kelimeleridir [37]. Kriyojenik işlem, teknolojik olarak tam anlamıyla 20. yüzyılın sonlarına doğru gerçekleştirilebilir hale gelse bile sıfırın altı ısıl işlemlerin geçmişi 1930’lu yıllara kadar dayanmaktadır. Bu yıllarda Alman WHN Şirketi’nin yapmış olduğu uçak motoru ekipmanlarında sıfırın altı ısıl işlemler kullanmıştır. Takip eden yıllarda (1940) sıfırın altı ısıl işlemler Amerika’da da uygulanmaya başlanmıştır. Fakat uygulanan bu yöntemler günümüz şartlarında uygulanan kriyojenik işlemler ile kıyaslandığında oldukça ilkel kalmaktadır. Kriyojenik işlemlerle ilgili araştırmalar ve çalışmalar 1950’li yıllarda takım ve üretim materyalleri ile ilgili dergilerde makale olarak yayımlanmaya devam etmiştir. O yıllarda kriyojenik işlemler ile ilgili en kayda değer ve kalıcı çalışmalar ise Louisiana Teknik Üniversitesinden Dr. Randall Baron tarafından yapılmış ve yayımlanmış çalışmalardır [38]. 1960’lara kadar yapılan çalışmalar doğrudan sıvı azot içine daldırılarak yapılmıştır [38]. 1965’lerden beri yapılan bazı çalışmalar, kriyojenik işlem uygulanan bazı takım çeliklerinin performansında ciddi iyileşmeler gerçekleştiğini göstermiştir [39]. 1980’li yıllarda işlem ünitelerinin bilgisayarlı kontrolünün yapılabilmesi ile sıcaklık kontrol altına alınmış ve bileşenleri çatlatmadan en yüksek başarı elde edilmiştir. Sıfır altı işlemde gerekli sıcaklıklara inebilmek ve hızlı soğuma elde edebilmek için sıvı azotu son derece verimli kullanabilen dondurucular da geliştirilmiştir. 1990’lardan itibaren kriyojenik işlem yarış motor parçaları, özellikle dişliler ve rulmanlar, petrol kuyusu açma ekipmanları, silah

namlusu, cerrahi ve diş ekipmanları gibi birçok farklı ürüne uygulanmıştır [40].

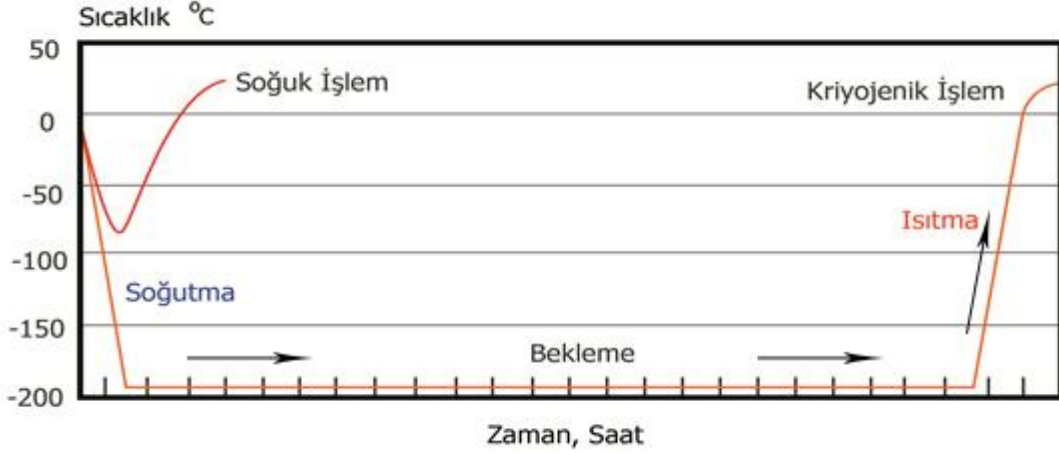
### 1.3.2. Kriyojenik İşlemin Özellikleri ve Çeşitleri

Teknolojinin gelişmesi ve şirketler arası artan rekabetin sonucu olarak ekonominin önemi her geçen gün artmaktadır. Bu durumun sonucu olarak da üretim sürecinde daha ekonomik yöntemlerin arayışı artmaktadır. Malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmesi, kullanım ömrünü artırması ve en önemlisi tek sefer uygulanan kalıcı ve ekonomik bir yöntem olması sebebiyle kriyojenik işlem, avantajları olan bir ısıl işlem yöntemidir. Bu yöntem bir soğutma işlemidir ve metallerin mikroyapılarını iyileştirmek için uygulanan geleneksel ısıl işlemleri tamamlayan bir yöntemdir [41], [42].

Kriyojenik işlem ile malzemenin mikroyapısında bulunan östenit, martenzite dönüştürülmektedir. Bu sayede homojen ve daha yoğun karbür dağılımı sağlanarak malzemelerin aşınma direnci artırılmış olmaktadır [19]. Geleneksel kriyojenik işlem yönteminde işlem gören parçalar, -160 °C ile -165 °C arası birkaç saat (1, 12, 24 saat vb.) ile birkaç gün arasında değişim göstererek kontrollü bir şekilde bekletilmektedir. Yapılan bu ısıl işlem diğer yöntemlerin aksine (kaplama vb.) malzemenin bütününe etki etmekte, bir sefer yapıldığı için de ucuz ve kalıcı bir ısıl işlem uygulaması olmaktadır [17]. Kriyojenik işlemin temelinde üç aşama yer almaktadır. İlk olarak malzemeler kapalı atmosfer ortamında sabit soğutma hızı ile bekleme sıcaklığına soğutulmaktadır. Bekleme süresi tamamlanan malzemelerin tekrar oda sıcaklığında dengeye gelmesi sağlanmakta ve ardından temperleme işlemi uygulanmaktadır. Kriyojenik işlemin geleneksel ısıl işlemler ile birlikte uygulanma aşamaları ve sıcaklık-zaman grafiği Şekil 1.9 ve Şekil 1.10'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Isıl işlem döngüsünde kriyojenik işlemin yeri.



Şekil 1.10. Soğuk işlem ve kriyojenik işlem döngüsü.

Ulaşılan minimum sıcaklık  $T_{min}$ , bekleme süresi, soğutma ve ısıtma hızları kriyojenik işlemin en önemli parametreleridir. Ulaşılan minimum gerçek sıcaklık  $T_{min}$  ile optimum değer arasında ısı yalıtım kayıpları olması sebebiyle fark olabilmektedir. Bu farktan oluşabilecek sapmaların önüne geçebilmek için kullanılan cihazın yalıtımına özen göstermek önemli olmaktadır. Kriyojenik işlem, takım çeliklerinde daha sık uygulanmasına rağmen diğer metal ve alaşımlarında daha az uygulanmıştır. Bu sebeple kriyojenik işlemin denendiği her yeni malzemede istenilen özelliklere göre değişik bekleme süreleri uygulanarak optimum sıcaklıklar belirlenmelidir [36].

Kriyojenik işlem; sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sığ kriyojenik işlemde malzemeler  $-80\text{ °C}$  ile  $-145\text{ °C}$  arası sıcaklıklara kadar soğutulur ve derin kriyojenik işleme göre daha kısa süreler bekletilerek işlem tamamlanır. Derin kriyojenik işlemde ise malzeme  $-196\text{ °C}$ 'ye kadar soğutulur ve bu sıcaklıkta sabit tutularak bekletilir. Derin kriyojenik işlemde soğutma prosesinin detayını incelemek gerekirse; ilk etapta malzemenin istenen sıcaklığa ulaşması 4-10 saat sürmektedir. Sonrasında malzeme  $-196\text{ °C}$ 'de 6-40 saat sabit tutulmaktadır. Son olarak 4-10 saat içerisinde oda sıcaklığına getirilen malzemenin kriyojenik işlem uygulaması tamamlanmış olur [16], [43]. Bu süreler malzemenin cinsine ve boyutlarına göre değişim göstermektedir.

Temelde aynı termodinamik prensibe dayanan kriyojenik işlem uygulaması için birbirinden farklı soğutma metotları kullanılmaktadır. Kriyojenik işlem uygulamasında kullanılan ekipmanlar, doğrudan ve dolaylı soğutma olarak iki ana grupta incelenebilir.

Doğrudan soğutma grubunda yer alan ekipmanlar, hızlı bir soğutma olması için sıvı

azotu etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Doğrudan soğutma grubundaki en yaygın yöntem, sprey püskürtme sistemiyle azot gazının atomize edilmesi ve bu gazın oldukça soğuk bir gaza dönüşürken buharlaşması esnasında metal parçanın soğutulmasıdır. Bu işlem esnasında noktasal martenzit oluşumunu engellemek önemlidir. Bu oluşumu engellemek için sıvı azotun metal parçaya direkt olarak teması engellenmelidir. Yalnızca soğuk azot gazının parçayı soğutması sağlanmalıdır. Akış kontrolü olacağı için soğuma hızı kontrolü yapmak da mümkün olacaktır.

Diğer soğutma grubu olan dolaylı soğutmaya örnek olarak “mekanik soğutma ekipmanları” verilebilir. Bir alkol tankının soğutulması ve metal parçaların soğuk işlemi için azot gazı ve mekanik soğutma ekipmanları birlikte kullanılır. Bu yöntem ile birlikte ulaşılabilecek en düşük sıcaklık  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Kriyojenik işlemin yapıldığı bölmelerin türü ve boyutları öncelikle işlemin uygulanacağı parçaların boyutlarına bağlıdır. İşlem uygulanacak parçanın ekipmana yüklenmesi önden ve üstten yapılabilir. Ek olarak, yüksek kapasiteli tünel soğutucular da kullanılabilir [40].

### **1.3.3. Kriyojenik İşlemi Etkileyen Faktörler**

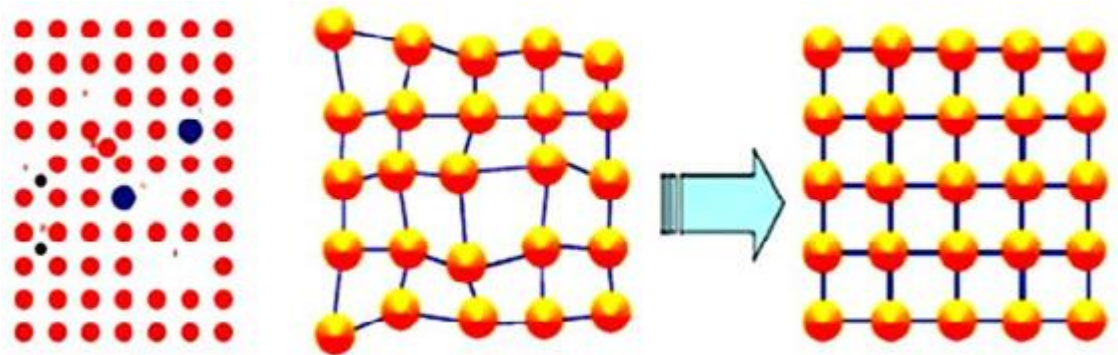
Tutma süresi ve ısıtma hızı, kriyojenik işlemin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Soğutma hızı, yalnızca ısıtma hızı veya bekletme süresi ile etkileşimlerde önemlidir. Kriyojenik işlem sırasında uygulanan kriyojenik sıcaklık, ıslatma süresi (soaking period), soğutma hızı ve tavlama sıcaklığı gibi parametreler malzemenin aşınma direncini iyileştirmede rol oynamaktadır. Bu parametreler sırasıyla yaklaşık %72, %24, %10 ve %2'lik bir iyileşme sağlamaktadır.

Soğutma hızı, bileşenlerin kırılmasını ve çatlamasını önlemek için  $20-30\text{ }^{\circ}\text{C/saat}$ 'i geçmemesi gereken en kritik parametredir. Isıl gerilmeleri ve iç yapıdaki bozulmayı azaltmak için soğutma ve ısıtma hızının yavaş olması gerekmektedir. Darwin ve arkadaşları çok daha düşük soğutma hızının martensitik dönüşümü desteklemediği ve daha yüksek soğutma hızı nedeniyle malzemenin daha kırılabilir hale geldiği sonucuna varmıştır [44]. Malzemeler, kriyojenik sıcaklığa düşürülmek için işlemin yapılacağı haznedeki azota doğrudan daldırılmamalıdır. Bu durum, yüksek termal gradyan ve ani soğutma nedeniyle malzeme yapısında bozulmaya ve çatlaklara neden olacaktır.

Malzemenin, genellikle gaz halinde veya sıvı azot olan söndürme ortamı içinde kriyojenik bir sıcaklıkta ıslatılması için geçen zaman aralığına “ıslatma süresi (soaking

period)'' denmektedir. Islatma süresinin farklı malzeme ve kriyojenik işlem için farklı olduğu unutulmamalıdır. Kriyojenik literatürde, belirli türden malzemeler için ıslatma süresinin belirlenmesinde herhangi bir prosedür bulunmamaktadır. Sığ kriyojenik işlem için ıslatma süresi birkaç dakika ila 6 saat arasında değişirken, derin kriyojenik işlemde 8 ila 72 saatlik bir ıslatma süresi vardır. M. Pellizari'ye göre minimum sıcaklıkta ıslatma süresi yaklaşık 35 saattir; daha uzun bir sürenin önemli bir etkisi yoktur [45]. Paulin, tutulan östenitin martensite tam dönüşümü ve ince ikincil karbürlerin çökmesi için zaman sağlamak için derin kriyojenik işlemde uzun süre ıslatmanın gerekli olduğunu öne sürmektedir [44]. Özbek vd. 24 saat boyunca kriyojenik işlem görmüş malzemedeki karbür uçların en iyi sonuçları gösterdiğini kaydetmiştir [46]. Gogte vd. kriyojenik işleme tabi tutulmuş AA 6061 alüminyum alaşımı numunelerinin sertliğinde, elektriksel iletkenliğinde ve yüzey kaplamasında, işlenmemiş olana kıyasla önemli bir artış olduğu gözlemlenmiştir [47].

Malzemenin sıvı veya gaz halindeki azot kullanılarak kriyojenik olarak işlendiği sıcaklık ''kriyojenik sıcaklık'' olarak tanımlanmaktadır. Araştırmalar, aşınma direncinde daha iyi sonuçlar elde etmek için malzemelerin  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kriyojenik olarak işlenmesi gerektiğini göstermektedir. Barron,  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kriyojenik işlem gören takım çeliğinin aşınma direncinin,  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kriyojenik işlem gören takım çeliğinin aşınma direncine kıyasla daha iyi olduğunu gözlemlenmiştir [44]. Bensley vd. geleneksel ısıl işlemler ile karşılaştırıldığında sığ kriyojenik işlemin ve derin kriyojenik işlemin, sement karbondanmış En353 çeliğinin aşınma direncinde %85 ve %372 iyileşme sağladığını bildirmiştir [44].



Şekil 1.11. Kriyojenik işlem öncesi malzemedeki atomlar arası boşluklar ve işlem sonrası ulaşılmak istenen ideal yapı [44].

#### 1.3.4. Kriyojenik İşlemin Kullanım Alanı ve Avantajları

Kriyojenik işlem başta; çelik, dökme demirler, demir dışı metaller, alaşımlar, plastikler ve seramiklere uygulanmaktadır. Ayrıca döküm, enjeksiyon kalıplama, demir dövme, talaşlı imalat, otomotiv, tarım, elektronik ve uzay gibi birçok farklı sektörde de uygulamaları görülmektedir. Bu işlem geleneksel ısı işlemlerin devamı olup malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmede tamamlayıcı rol oynamaktadır [48]. Aşağıda kriyojenik işlemin başlıca avantajları yer almaktadır;

- Kalıcı ve tek sefer uygulanan bir işlem olması,
- Malzemenin aşınma direncini artırması,
- Malzemenin kullanım ömrünü uzatması,
- Çekme mukavemetini ve tokluğu artırması,
- Malzemenin yalnızca yüzeyine değil her bölgesine etki etmesi,
- Malzeme iletkenliğinin artması,
- Daha iyi korozyon direnci.

Otomotiv endüstrisinde; motorlar ve motor alt grup parçalarının yorulma direncini, aşınma direncini ve fonksiyonel performansını iyileştirmek için kriyojenik işlem uygulanmaktadır. Alaşımli çelikten yapılan V8 yarış motorlarında kullanılan bağlantı çubuklarının sertlik değerini artırmak için derin kriyojenik işlem uygulanmaktadır. Kriyojenik işlem, araçlardaki fren rotorlarının değişim süresini 8000 milden 24000 mile kadar uzatmaktadır [49]. Kriyojenik olarak işlenmiş fren balatalarının, kavramaların, valf yaylarının, dişlilerin, yatakların, bağlantı çubuklarının, krank milleri ve tertibatlarının aşınma direnci ve yorulma ömründe önemli gelişme görülmektedir [44]. Motor bloğuna uygulanan kriyojenik işlemin, motor gücünü %15 artırdığı gözlemlenmektedir [44].

Yeni yüksek mukavemetli ve süper sert malzemelerin piyasaya sürülmesiyle, kesici takımların ve kalıpların işlevsel performansının iyileştirilmesi gerekmektedir. Matkaplara, kesici takımlara, kalıplara, parmak frezelere, zımbalara kriyojenik işlem uygulanarak sertlik, aşınma direnci ve takım ömrü artırılmaktadır. Yong vd. kriyojenik olarak işlenmiş aletlerin işlenmemiş olanlara göre daha iyi aşınma direnci sergilediğini gözlemlemişlerdir [50]. Diekman vd. derin kriyojenik işlem nedeniyle parmak frezelerin

ve zımbaların ömrünün 3 ile 82 kat aralığında arttığını belirtmişlerdir [51].

Kriyojenik işlem, helikopterlerde kullanılan dişli düzenekler gibi hassas bileşenlerin boyutsal stabilitesini sağlamak için de kullanılmaktadır. Kriyojenik işlem aynı zamanda, 2XXX ve 8XXX serisi alüminyum alaşımları gibi havacılık ve havacılık uygulamaları için kullanılan alüminyum alaşımlarında çekme mukavemetinde önemli bir artış sağlamaktadır [44].

Yine kriyojenik işlemler ile ilgili yapılan çalışmalarda takım ömründe yaklaşık %110'a varan iyileşme olduğu görülmüştür. Matkap uçları, sac kalıpları, pistonlar ve krank milleri gibi birçok parçanın servis ömründe önemli artışlar gözlemlenmiştir [41], [2], [52], [53].

Sağladığı birçok avantaj ile Amerika'da ve Avrupa'da yaygın olarak uygulanan kriyojenik işlemin ülkemizde hala çok az uygulaması bulunmaktadır [17]. Bu alanda yapılacak çalışmaların sıklığının artırılması ve buna bağlı olarak yapılacak gözlemler neticesinde, ülkemizin kalkınmasını sağlayacak uygulamalar elde edilme potansiyeli yüksektir.

#### **1.4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI**

Sonia ve ark. çözündürme işleminin (solution treatment) ve 10 dakika-24 saat arası uygulanan kriyojenik işlemin, AA6082 alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerinde yarattığı değişimi incelemişlerdir. Kriyojenik işlemin AA6082 alaşımının mikroyapısında meydana getirdiği değişimleri incelemek için optik mikroskop yöntemi uygulanmıştır. İnceleme sonucunda, kriyojenik işlem görmüş AA6082 alaşımının tane boyutunun işlem süresi arttıkça ufaldığı gözlemlenmiştir. Çözündürme işlemi görmüş alaşımın yüzey sertliğine kıyasla kriyojenik işlem görmüş AA6082 alaşımının yüzey sertliği %69,5 oranında daha yüksek bulunmuştur ( $0,5887 \text{ kg/mm}^2$ ) [33].

Wang ve ark. AA7075 alüminyum alaşımı aşınma direncini ve elektrokimyasal korozyon direncini arttırmak için %3,5 NaCl çözeltisinde, Laser Shock Peening (Lazer Darbeli Çekişleme) uygulamasının etkisini incelemiştir. Numuneler  $7,17 \text{ GW/cm}^2$  ile iki kez işlendiğinde aşınma kaybının, işlem görmeyen numunelere kıyasla sırasıyla %43,75 ve %46,09 azaldığı ve LSP ile AA7075 alüminyum alaşımının korozyon oranının %50,32'ye kadar azaltılabileceği görülmüştür.  $7,17 \text{ GW/cm}^2$  ile uygulanan yöntem sonrası; mikro sertlik test cihazı, optik mikroskop ve X ışını kırınımı (XRD) ile

gözlemlenen ve ölçülen LSP'nin güçlendirme mekanizmasını bulmak için farklı LSP darbeleri ve güç yoğunluğu ile mikro sertlik, mikro yapı ve artık gerilme üzerindeki etkiler araştırıldı. Tüm laboratuvar testlerinde, LSP'nin deniz suyundaki aşınma direncini ve AA7075 alüminyum alaşımının korozyon direncini iyileştirmek için pratik bir seçenek olduğu öngörülmüştür [54].

Yüksek mukavemetli ısı işlem uygulanabilen alüminyum alaşımının korozyon direnci, yüzeyde bir oksit filmi oluşturabilir. Agresif korozyon ortamındaki bu oksit film, klorür içeren ortamlarda korozyon tepkilerine maruz kalabilir. Kaynak uygulaması yapılan AA7075 alaşımı, uçak ve otomotiv endüstrilerindeki gelişmiş yapısal uygulamalar için önemlidir. Sürtünme Karıştırmalı Kaynak-Friction Stir Welding (FSW) yöntemi, alüminyum endüstrisinde geleneksel ergitme kaynağı tekniğine göre katılma, çatlama problemini ortadan kaldıran yeni bir teknik ve sağlam bir kaynak yöntemidir. Bu çalışmada; AA7075-T651'in 10 mm kalınlığındaki haddelenmiş levhaları FSW yöntemi ile alın kaynağı yapılmıştır. Korozyon, yüzey morfolojisi ve davranışı, çeşitli püskürtme sürelerinde, sodyum klorür çözeltisinde tuz sisi testi yapılarak incelenmiştir. FSW AA7075-T651 bağlantılarındaki korozyon oranını belirleyebilmek için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel koşulların sayısını azaltmak için merkezi döndürülebilir matrisin, üç faktör beş seviyesi kullanılmış ve tuz sisi değişkenleri arasında ampirik bir ilişki geliştirilmiştir. Sonuç olarak ampirik modelin; FSW AA7075-T651 bağlantılarının korozyon oranını tahmin etmek için kullanılabileceği görülmüştür [55].

Dört farklı oranda Ni içerikli döküm nikel-alüminyum bronz (NAB) alaşımlarının ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisindeki mekanik özellikleri ve korozyon davranışı incelenmiştir. Ni içeriğindeki artış, NAB alaşımlarının akma mukavemetini ve sertliğini iyileştirmektedir. Ni ilavesinin, aşınabilen  $\beta'$  fazı oluşumunu önemli ölçüde kısıtladığı ve  $\alpha$  katı çözeltilde Ni konsantrasyonunu artırdığı tespit edilmiştir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve statik daldırma testleri, Ni içeriğindeki artışın, ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisindeki NAB alaşımlarının korozyon direncini artırdığını göstermiştir [56].

Ramesh ve ark. yapı çeliği numunelerinin korozyon direncini kriyojenik işlem uygulayarak artırmayı hedeflemişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanan numunelerden bir kısmı kriyojenik işlem sonrası düşük sıcaklıkta tavlınmış, kalan numunelere ekstra bir işlem yapılmamıştır. Sonuçları incelemek için SEM ve XRD çalışmaları yapılmıştır. Metallerin yüzey karakteristiklerindeki değişimleri gözlemlemek için AFM

kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, kriyojenik işlem gören numunelerin korozyon direncinin arttığı görülmüştür. Bu nedenle kriyojenik işlemin (derin kriyojenik işlem), endüstriyel ve altyapı uygulamalarında kullanılan yapısal çeliğin korozyon direncini artırmada kullanılabilir ve endüstriyel olarak uygulanabilir bir işlem olabileceği sonucuna varılmıştır [35].

AA5083 alüminyum alaşımı; yüksek korozyon direnci, süper plastisite özelliği, yüksek mukavemeti ve kaynak kabiliyeti nedeniyle oldukça ilgi gören bir metaldir. Yapılan bir çalışmada; AA5083 alüminyum alaşımı esaslı kompozitler Boron karbür ( $B_4C$ ) parçacıklarının seramik parçacıkları kullanılarak hazırlanmış ve alüminyum alaşımının mekanik özelliklerini geliştirmek için metal matrise eklenmiştir. Çalışmada kullanılan 5083 esaslı alüminyum alaşım kompozitlerin imalatında karıştırılmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Standart metalurjik hazırlama ve görüntüleme yöntemleri kullanılarak kompozitler için mikroyapısal karakterizasyon araştırılmıştır. AA5083 alüminyum alaşımı yüksek korozyon direnciyle iyi bilindiğinden, 5083 bazlı alüminyum alaşım kompozitlerin korozyon direncini değerlendirmek için tuz püskürtme testi çalışması yapılmıştır. Test sonucuna göre; artan  $B_4C$  partikül içeriği nedeniyle kompozitlerin korozyon direncinin azaldığı gözlemlenmiştir [57].

AA5083'ün yaygın kullanımı ve yüksek korozyon direnci göz önüne alındığında, özünde hidrofilik olan AA5083'ün su itici süperhidrofobiğe dönüştürülmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada; gözenekli anodize AA5083 oluşturulmuş ve florosilanın kendi kendine birleşmesi ile süperhidrofobiklik elde edilmiştir. Yüzey topografyası, pürüzlülüğü ve kimyasal bileşimleri SEM, AFM ve XPS ile incelenmiştir. Yapılan EIS deneyleri sonucu süperhidrofobik AA5083 alaşımının korozyon direncinde belirgin bir iyileşme görülmüştür. Ek olarak; süperhidrofobik AA5083, ultra düşük yapışma kuvveti, kendi kendini temizleme ve mekanik stabilite özellikleri sergiler. AA5083'te mekanik sağlamlığa sahip süperhidrofobik yüzeylerin gelecekte etkili bir şekilde kullanılacağı tahmin edilmektedir [58].

5xxx serisi alüminyum alaşımlarının kullanımı, iyi mekanik özellikleri ve yüksek korozyon direnci nedeniyle denizcilik ile ilgili üretim endüstrilerinde artmaktadır. Bu çalışmada, AA5083-H111 alaşımı ve bu alaşımı birbirine bağlayan kaynak bağlantısının korozyon direncine etkisi incelenmiştir. Dolgu metali olarak ER 5183 kullanılmış ve gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) işlemi uygulanmıştır. Füzyon bölgesinde mikro yapı analizi yapılmış ve ısıdan etkilenen bölge ve ana metal bölge karşılaştırılmıştır. Kaynak

bölgesindeki mekanik davranış, mikro sertlik, darbe tokluğu, gerilme davranışı ve şekillendirilebilirlik özellikleri ana metal ile karşılaştırılmıştır. EIS yöntemiyle yapılan korozyon testlerine göre, ana metal numunesinin korozyon direncinin kaynak yapılan bölgedeki metalin korozyon direncine göre daha yüksek olduğu gözlemlendi. Kaynak yapılan kısımlardaki  $Mg_3Al_2$  çökeltilerinin varlığının, korozyon direncinde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir [59].

Zhou ve ark. kriyojenik İşlem (CT-Cryogenic Treatment) ve laser peening (LP) uygulamalarının 2024-T351 alüminyum alaşımının yorulma özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Yapılan çalışmada, gerilme özellikleri gözlemlenmiş ve mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, artık stres testleri (residual stress) de x-ışını kırınım (XRD) teknolojisi ile gerçekleştirilmiştir. Mikroyapının incelenmesi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) gözlemleri ile yapılmıştır. Yorulma testlerinin yapılmasının ardından yorulma kaynaklı kırılma morfolojileri de SEM ile analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, hem CT hem de LP'nin 2024 T351 alüminyum alaşımının yorulma direncini artırabileceği gözlemlenmiştir. Tek başına CT veya LP işlemine kıyasla, LP'den önce CT uygulanan malzemelerde daha yüksek bir yorulma ömrü sağlanabileceği öngörülmüştür. Tek başına CT ve LP ile uygulanan malzemeler ile karşılaştırıldığında, sırasıyla önce CT sonrasında LP uygulanan malzemelerde daha ince tanecikler, daha fazla çökelmiş ikinci fazlar, daha yüksek yoğunluklu dislokasyon ve kompresif artık gerilmeler gözlemlenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu, malzemelere LP'den önce CT uygulanması artık gerilme ve yorulma özelliklerinin iyileştirilmesine katkı sağlayan ana faktör olduğu kabul edilmiştir [60].

Pan ve ark. AA5083 alüminyum alaşımını sırasıyla fosforik-sülfürik asit anodik oksidasyonu ve ardından silanizasyon ile işlemiştir. Alüminyum alaşımı ile silan film arasında kimyasal bir bağ (Si-O-Al) oluşturulmuştur. Alüminyum alaşımı ile kriyojenik yapıştırıcı arasındaki bağlanma gücünü artırmak için silan film ile kriyojenik yapışkan arasında bir dehidrasyon yoğunlaşma reaksiyonu oluşturulmuştur. Bu işlemler uygulanmayan AA5083 ve uygulanan AA5083 alaşımları arasındaki farkı gözlemlemek için taramalı elektron mikroskobu, enerji dağılımlı spektroskopi ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca, düşük sıcaklıkta alüminyum alaşım ile kriyojenik yapıştırıcı arasındaki ara yüzeyin yapışma mukavemetini değerlendirmek için tek bindirmeli kesme testleri ve dayanıklılık testleri

gerçekleştirilmiştir. Anodik oksidasyon ve silanizasyon işlemleri kullanılarak iyileştirilmiş AA5083 alaşımının arayüzey mukavemeti  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de  $33.96\text{ MPa}$ 'a ulaşmıştır [61].

Sing ve ark. havacılıkta yaygın olarak kullanılan AA2014-T651 ve AA7075 T651 alüminyum alaşımlarının imalatının sürtümlü karıştırma kaynağı tekniği kullanılarak yapılabiliğini araştırmıştır. Bu alaşımların her ikisinin de eritme kaynak işlemleriyle kaynaklanması zor olmaktadır. Bu çalışmada, alın kaynaklı  $6,35\text{ mm}$  kalınlığındaki plakaların ilerleyen tarafta AA2014 plakası ve geri çekilme tarafında AA7075 plakası ile davranışı incelenmiştir. Birleşme noktaları, çeşitli dönüş hızlarında ( $900, 1200, 1500\text{ rpm}$ ) ve kaynak hızlarında ( $40, 60\text{ ve }80\text{ mm/dak}$ ) üç farklı takım malzemesi (HSS, H13 ve SS) kullanılarak üretilmiştir. Deneylerin tasarımında Taguchi'nin L9 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Çekme mukavemetinin belirlenmesinde en baskın faktörün alet malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Kaynak numunelerine kaynak sonrası kriyojenik işlem uygulanmasının, bağlantı noktalarının mekanik özelliklerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Çekme mukavemetinin sonuçları, yapay sinir ağı (YSA) yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir [62].

S. Yuan ve ark. alüminyum alaşımlı levhaların oda sıcaklığında çekme kabiliyetlerinin düşük olmasının üstesinden gelmek için kriyojenik sıcaklıklarda yeni bir derin çekme işleminin etkisini araştırmıştır. Sırasıyla oda sıcaklığında,  $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tek eksenli çekme testleri gerçekleştirilerek istenen kriyojenik derin çekme sıcaklığı elde edilmiştir. Yeni tasarlanmış bir kriyojenik derin çekme sistemine dayalı olarak, farklı kriyojenik sıcaklıklarda bir Al-Cu-Mn alaşım levhasının derin çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Hem oda sıcaklığında hem de kriyojenik sıcaklıklarda çekilen malzemelerin çekme oranı, çekme yükü, kalınlık dağılımı ve Vickers mikro sertliği ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sıcaklık  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye düştükçe derin çekilebilirliğin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığında sınırlayıcı çekme oranı  $1,80$  iken,  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bu oran  $\%15,6$  artarak  $2,08$ 'e yükselmiştir. Benzer şekilde,  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ortalama malzeme yüksekliği  $89,5\text{ mm}$  ölçülmüştür. Bu yükseklik oda sıcaklığında  $59,6\text{ mm}$  ölçülmüştür. Bu ölçümlere göre  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki malzeme yüksekliği, oda sıcaklığındaki malzeme yüksekliğinden  $\%50,2$  daha yüksek bulunmuştur. Kriyojenik olarak çekilmiş bu malzemelerde; hafif lokalize incelme, tekdüze kalınlık dağılımı ve büyük bir çekme yüksekliği ve çekme yükü meydana geldiği görülmüştür [63].

S. Tian ve ark. yüksek özgül mukavemeti, mükemmel kaynaklanabilirliği ve olağanüstü

sünekliği nedeniyle havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan 2219 alüminyum alaşımını incelemiştir. Çift lazer ışını çift taraflı senkron kaynak (DLBSW) teknolojisi, 2219-T87 alüminyum alaşımını deri kırış yapısının T eklemine birleştirilmesinde kullanılmaktadır. T-ek yerlerinin oda sıcaklığı ve kriyojenik sıcaklıklarda gerilme mukavemetini belirlemek için çekme testi yapılmıştır. Tane boyutu ile gerilme mukavemeti arasındaki ilişkiyi incelemek için kaynak dikişinin mikroyapısı gözlemlenmiştir. Ek olarak, kırılma morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözlemlenmiştir. Kırık yüzeylerin temel analizi, enerji dağıtıcı spektrometre (EDS) ile yapılmış ve kimyasal element bileşiminin gerilme mukavemeti üzerindeki etkisini incelemiştir. İnceleme sonuçlarına göre; oda sıcaklığında elde edilen en yüksek gerilme mukavemeti 360,01 MPa ölçülürken, kriyojenik sıcaklıkta aynı parametreler ile yapılan testlerde 422 MPa'lık çok daha yüksek bir gerilme mukavemeti elde edildiği görülmüştür. Mikroyapı analizi sonuçlarına göre, bağlantı noktaları kriyojenik sıcaklığa maruz kaldığında tane boyutunda küçülmeler gözlemlenmiştir. Bağlantı noktalarının kırılma morfolojisi incelendiğinde, kriyojenik sıcaklıkta test edilen numunenin çukurlarının oda sıcaklığındakinden daha büyük ve daha derin olduğu bulunmuştur. EDS sonuçlarına göre, Al<sub>2</sub>Cu miktarının -196 °C'de arttığı ve bunun da gerilme mukavemetinde bir artışa neden olduğunu tespit edilmiştir [64].

Liu ve ark. yaptıkları çalışmada derin kriyojenik işlemin (DCT-Deep Cryogenic Treatment), soğuk metal transfer (CMT-Cold Metal Transfer) teknolojisi ile çöktürülmüş bir bakır-alüminyum-silikon (Cu-Al-Si) alaşımının mikroyapısal değişimini ve bu teknolojinin mekanik özellikler üzerindeki etkisini araştırmıştır. CMT teknolojisine dayalı yenilikçi bir çift tel besleme sistemi kullanılarak T2 bakır substrat üzerine ~%8,3 alüminyum içeriğine sahip bakır açısından zengin Cu – Al – Si alaşımı yerleştirilmiştir. Yerleştirilen alaşım, çeşitli zaman aralıklarında (0, 6, 12 ve 24 saat) derin kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. Mikrosertlik ve gerilme özelliklerinin incelenmesi sonrası, derin kriyojenik işlemin bu özellikleri geliştirdiğini gözlemlenmiştir. Derin kriyojenik işlem süresindeki artışla birlikte mikrosertlik değerinin yaklaşık % 10 arttığı görülmüştür. Çekme yükleme koşulları altında 12 saat boyunca uygulanan derin kriyojenik işlem, hem gerilme verimini hem de nihai mukavemeti artırmıştır (~%20 artış). Mikroyapısal değişim ve tane boyutları değişimi, Elektron Geri Saçılan Kırınım (EBSD) kullanılarak incelenmiştir. Mikroyapısal incelemelerde derin kriyojenik işleme bağlı olarak alt taneciklerin, ince tanelerin ve deformasyon ikizlerinin oluştuğu

görülmüştür. Yüksek açılı tane sınırlarının oluşumundaki artış nedeniyle önemli ölçüde tane incelmeleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, derin kriyojenik işlemin Cu-Al-Si alaşımının mekanik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür [65].

Bansal ve ark. havacılık ve uzay endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Al-Zn-Cu alaşımı AA7050-T7451'i incelemiştir. Havacılık ve uzay bileşenleri genellikle uçağın toplam ağırlığını artıran perçinleme kullanılarak birleştirilmektedir. Bu bağlamda, sürtünmeli karıştırma kaynağı (FSW-Friction Stir Welding) işlemi potansiyel bir çözüm olabilmektedir. Bu çalışmada AA7050-T7451 numuneleri, takım dönüş hızı ve kaynak hızının farklı parametrik kombinasyonları kullanılarak FSW ile kaynaklanmıştır. Sürtünme-karıştırma kaynakları ayrıca derin kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. Kaynak bağlantılarının mikroyapısı ve bazı mekanik özelliklerindeki değişim araştırılmıştır. Alaşımın tane boyutunun, kriyojenik işlemde sonra incelendiği gözlemlenmiştir. Ayrıca kriyojenik işlem görmüş alaşımların mikro sertliğinin, işlem görmemiş alaşımlara kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca derin kriyojenik işlemin, FSW uygulanan bağlantı noktalarındaki akma dayanımı ve % uzama miktarı gibi gerilme özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür [66].

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

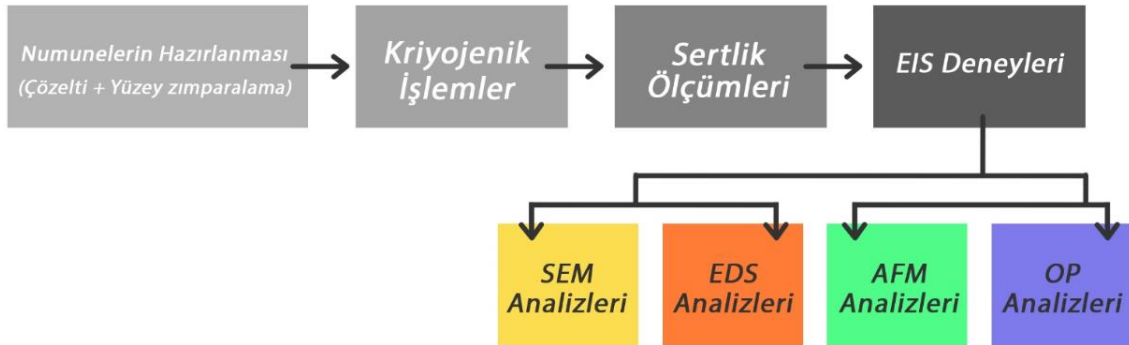
### 2.1. ÇALIŞMA ELEKTROTU VE KULLANILAN KİMYASALLAR

Bu çalışmada incelenen AA5083-H111 alaşımı metaller ALRO S.A. Romanya'dan tedarik edilmiştir. AA5083-H111 alaşımının ağırlıkça % bileşimi aşağıdaki Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. AA5083-H111 alaşımının kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça).

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Ti	Sn	Zr	Al
AA5083	0.07	0.40	0.03	0.27	4.30	0.08	0.01	0.00	0.01	<0.00	<0.00	94.79
-H111	5	4	1	6	0	1	2	7	8	2	5	6

6 mm et kalınlığındaki AA5083-H111 alaşımı metaller dikdörtgen şeklinde kesilmiştir (20 mm uzunluk - 40 mm genişlik). Oluşturulan bu elektrotların orta yüzeylerinde 0,785 cm<sup>2</sup> bir alan belirlenerek deney hücresine bağlanmıştır. Ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisinden oluşan korozyon ortamı, Sigma-Aldrich şirketinden temin edilen NaCl kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 2.1. Deney iş akış planı.

### 2.2. NUMUNELERE KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMASI

Deneylere başlamadan önce malzeme yüzeylerinin parlak olması da önemlidir. Bu sebeple deneyde kullanılacak elektrotların yüzeyleri 400, 600, 800 ve 2000 numaralı zımparalar yardımı ile parlatılmıştır. Yüzeyleri parlatılan malzemeler 10, 24, 36, 48 ve

72 saat sıg kriyojenik işlem görmek üzere Nüve DF 490 cihazına yerleştirilmiştir.



Şekil 2.2. Nüve DF 490 cihazı.

Kriyojenik işlemleri tamamlanan AA5083-H111 alaşım malzemelerinin yüzeylerinden sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri sonrası malzemelerin yüzeyleri saf su ile yıkanarak sırasıyla deney hücrelerine yerleştirilmiştir. Kullanılan alüminyum alaşımı AA5083-H111'in korozyon mekanizması Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ölçüm yöntemi ile incelenmiştir.

## 2.3. UYGULANAN SERTLİK ÖLÇÜM YÖNTEMİ

### 2.3.1. Brinell Sertlik Derecesi Ölçümü

10, 24, 36, 48 ve 72 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşım metalinin sertlik değerindeki değişim, kriyojenik işlem görmemiş metal yüzeyinin sertlik değerleri ile kıyaslanmıştır. Yapılan tüm ölçümler Brinell Sertlik Değeri cinsinden ölçülmüştür.

Her numunenin Brinell sertlik değerini hesaplamak için DIGIROCK-RB sertlik test cihazı (Şekil 2.3) kullanılmıştır ve tekrarlanan yedi ölçümün ortalaması alınmıştır. 8 mm çaplı bir bilyalı sistem yardımıyla numunelerin sertliğini belirlemek için 60 kg'lık bir yük uygulanmıştır.

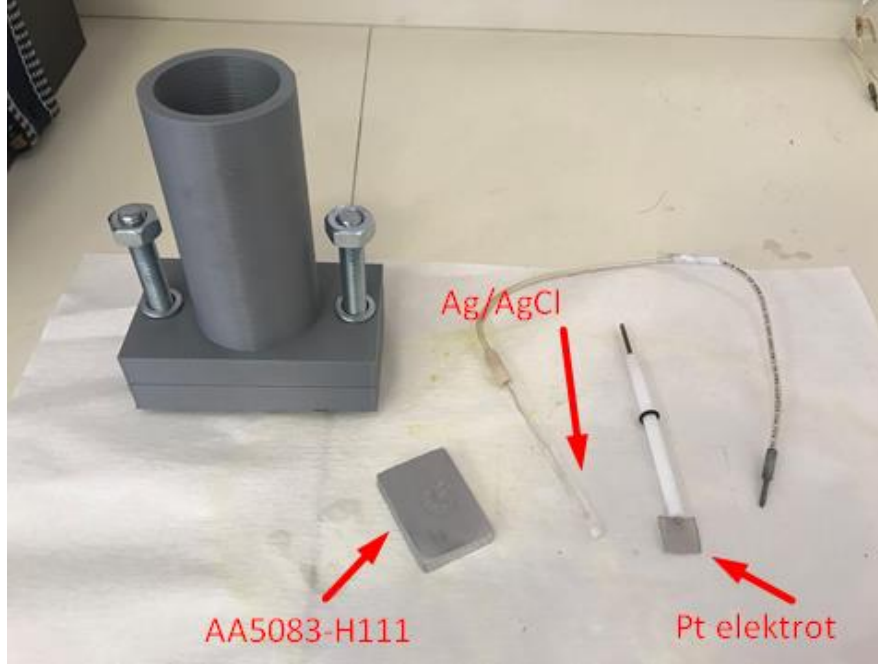


Şekil 2.3. DIGIROCK-RB Brinell sertlik değeri ölçüm cihazı.

#### **2.4. KOROZYON DENEYLERİNİN YAPILMASI**

AA5083-H111'in Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) deneyleri, Şekil 2.5'te görülen GAMRY Referans/600 potansiyostat/galvanostat/ZRA sisteminde gerçekleştirilmiştir. Yapılan elektrokimyasal korozyon çalışmalarının tümü oda sıcaklığında, karşıt ve referans elektrotları olarak Pt elektrot ve Ag/AgCl'nin kullanıldığı üç elektrotlu bir hücrede gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.4). Çalışma elektrotları (AA5083-H111 numuneleri), 0.785 cm<sup>2</sup>'lik yüzey alanı korozif %3,5 NaCl çözeltisine temas edecek şekilde korozyon hücresine konulmuştur. EIS deneylerini gerçekleştirmek için Şekil 2.6'da gösterilen deney düzeneği kurulmuştur. 2 saat süre ile bekleyerek

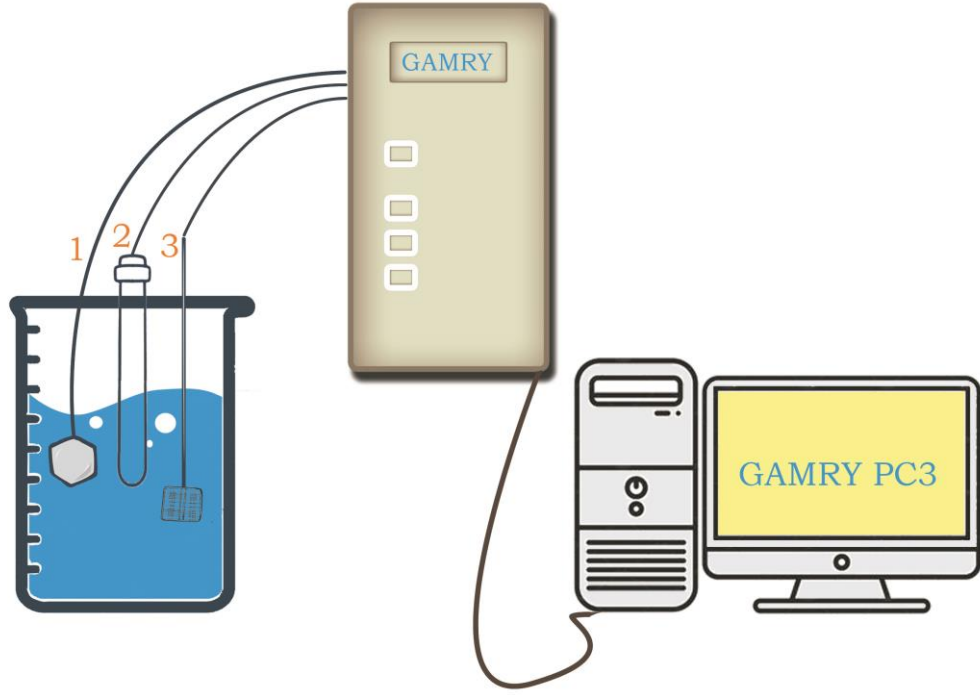
elektrot ile ortam arasında meydana gelen reaksiyonların durağan hale gelmesi beklenmiştir [67]. EIS ölçümleri 0,1 Hz – 100000 Hz frekans aralığında 21600 saniye yapılmış ve empedans analizleri ZsimpWin 3.21 yazılımı ile yapılmıştır [68]. Tekrarlanabilir bir sonuç elde etmek için deneyler, aynı koşullar altında ve yedi kez tekrarlanmıştır.



Şekil 2.4. Korozyon deneylerinde kullanılan deney hücresi ve elektrotlar.



Şekil 2.5. GAMRY Referans 600 potentiostat/galvanostat/ZRA.



Şekil 2.6. Deney düzeneği (1-Çalışma elektrodu, 2-Ag/AgCl referans elektrot, 3-Pt elektrot).

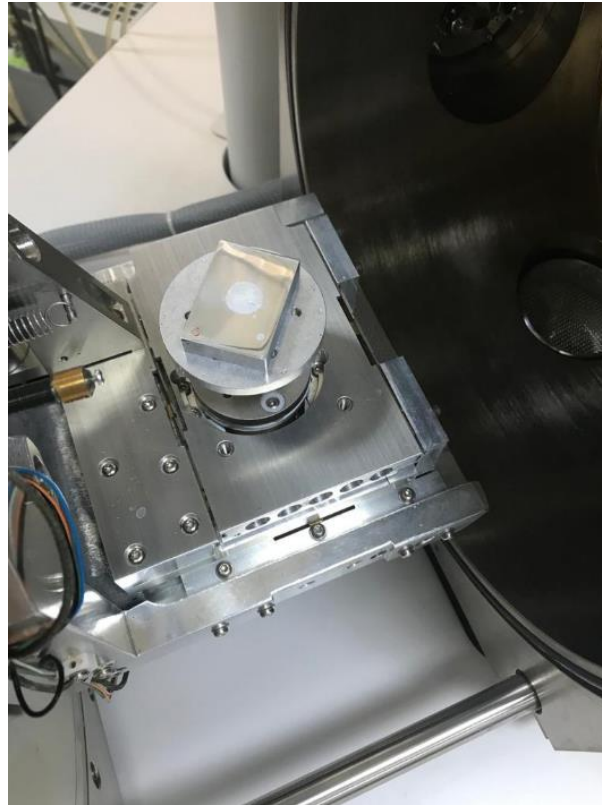
## 2.5. UYGULANAN YÜZEY MORFOLOJİ ANALİZİ YÖNTEMLERİ

### 2.5.1. SEM ve EDS Analizi

10, 24, 36, 48 ve 72 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşım metalinin ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde EIS deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonrasında metalin yüzeyinde meydana gelen değişimleri incelemek için Şekil 2.7'de gösterilen J. Quanta FEG 250 (FEI, Holland) model cihaz ile SEM ve EDS analizleri yapılmıştır [69].



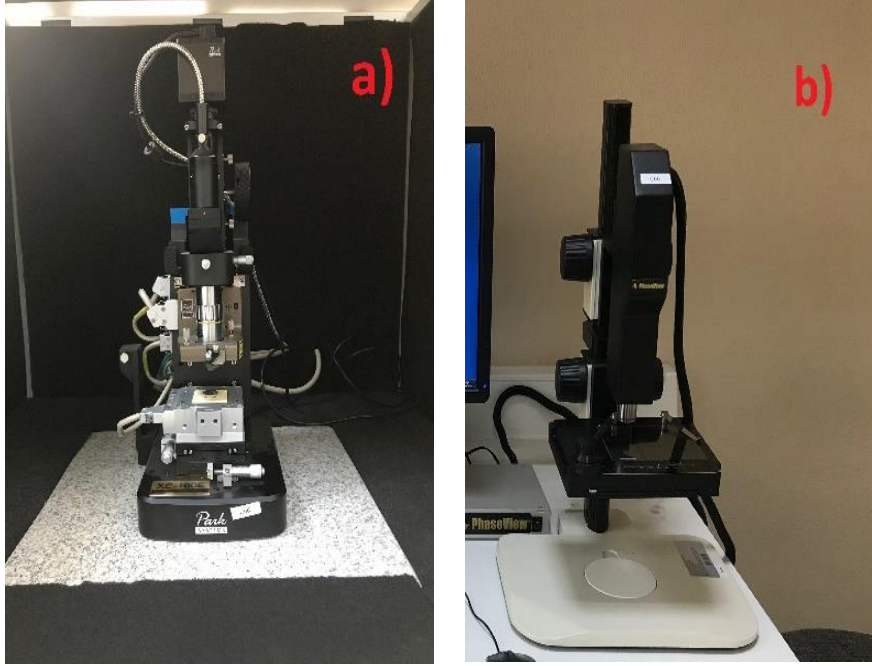
Şekil 2.7. J. Quanta FEG 250 EDS SEM analiz cihazı.



Şekil 2.8. J. Quanta FEG 250 EDS SEM analiz cihazı (iç görünüm).

### 2.5.2. AFM ve Optik Profilometre (OP) Analizi

Yapılan elektrokimyasal ölçümlerden sonra AA5083-H111 alaşım metalinin AFM analizleri PARKSYSTEMS, Model: XE-100E (Şekil 2.9.a) cihazı ile; OP analizleri Phaseview, Model: Zeescope (Şekil 2.9.b) cihazı ile incelenmiştir [70].

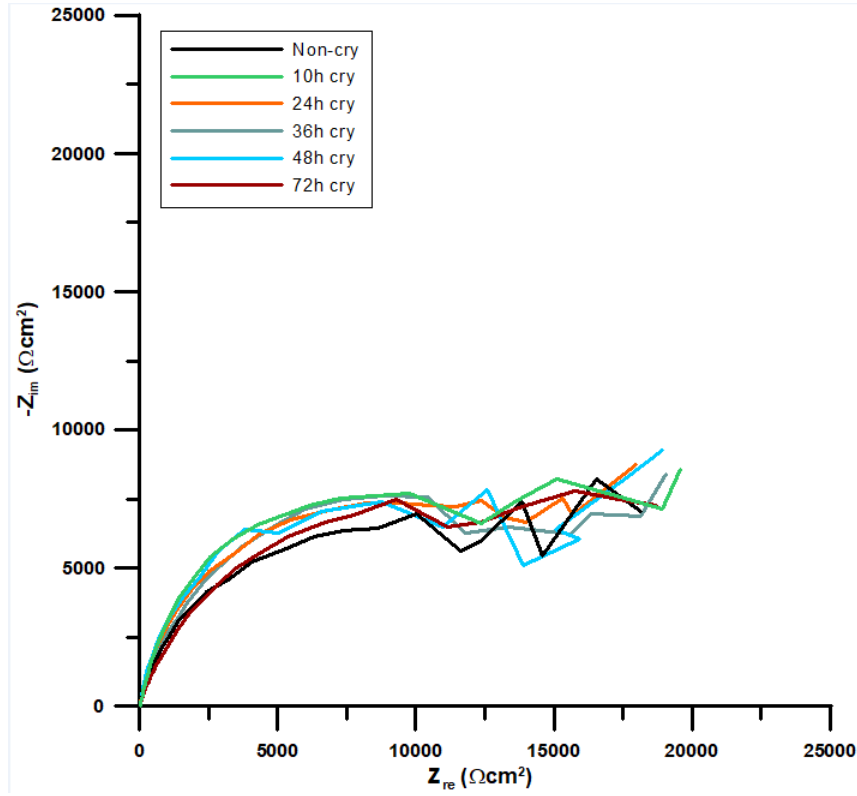


Şekil 2.9. PARKSYSTEMS, Model: XE-100E AFM analiz cihazı (a) ve Phaseview, Model: Zeescope OP analiz cihazı (b).

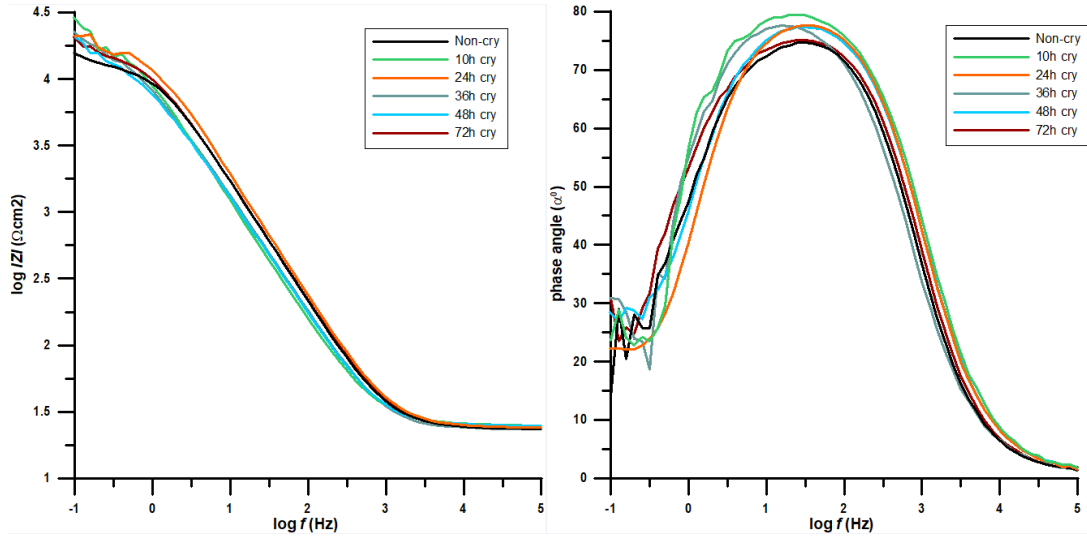
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. KOROZYON DİRENCİNİN EIS YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Şekil 3.1’de %3,5 NaCl çözeltisine maruz kalmış, işlem görmemiş ve sırasıyla 10, 24, 36, 48 ve 72 saat sığ kriyojenik işlem (-80 °C) görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS yöntemi sonrası elde edilen Nyquist diyagramları görülmektedir.

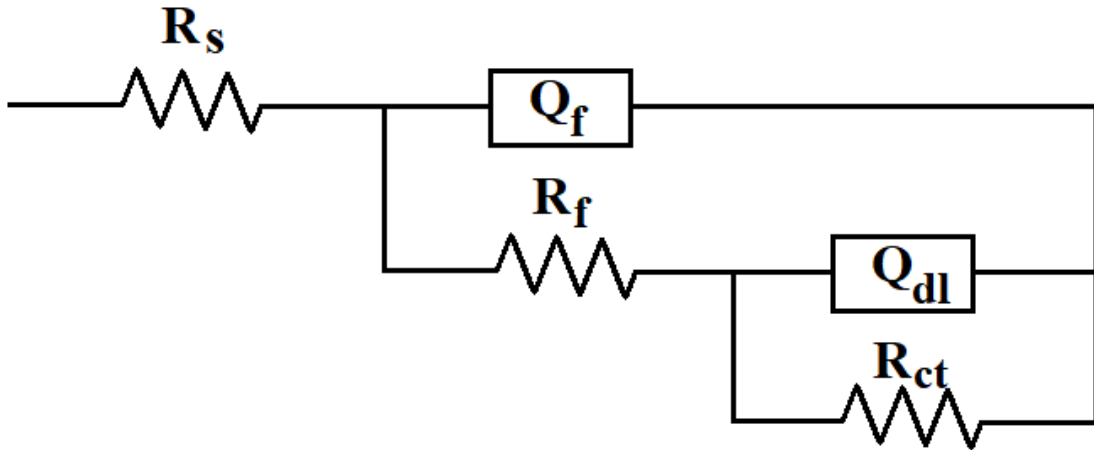


Şekil 3.1. Kriyojenik işlem öncesi ve sonrası elde edilen Nyquist diyagramları.



Şekil 3.2. Kriyojenik işlem öncesi ve kriyojenik işlem sonrası elde edilen a) Bode, b) Angle diyagramları.

Şekil 3.2’de verilen grafikler incelendiğinde,  $\log |ZI|$  değerinin  $4,2-4,4 \Omega\text{cm}^2$  arasında faz açısı değerlerinin ise  $72-79^\circ$  arasında değiştiği görülmektedir. Kriyojenik işleme bağlı olarak bu değerlerde düzenli bir artış ya da azalış olmadığı dolayısıyla kriyojenik işlemin AA5083-H111 alaşımının korozyonuna etki etmediği görülmüştür. İlgili elektrokimyasal parametreleri elde etmek için Şekil 3.3’te gösterilen eşdeğer bir devre şeması seçilmiştir. Bu çalışmada, empedans analizi için  $R(Q(R(QR)))$  devresi kullanılmıştır.



Şekil 3.3.  $R(Q(R(QR)))$  devre modeli.

Bu devredeki dirençler sırasıyla; çözelti direnci ( $R_s$ ), metal yüzeyi şarj transfer direnci ( $R_{ct}$ ) ve film direncidir ( $R_f$ ). Q parametresi sabit faz elemanını (CPE) belirtir ve

incelenen metal elektrotların pürüzlülüğünü ve homojenliğini dengelemek için kullanılmaktadır.  $Q_f$  ve  $Q_{dl}$ , yüzey filmi ve çift katman için kapasitansı temsil etmektedir. Seçilen tüm deneysel veriler için uyumluluğu ifade eden ki kare parametrelerinin  $10^{-3}$ 'ten büyük olmayacak şekilde seçilmiştir. EIS yöntemi sonucu elde edilen veriler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

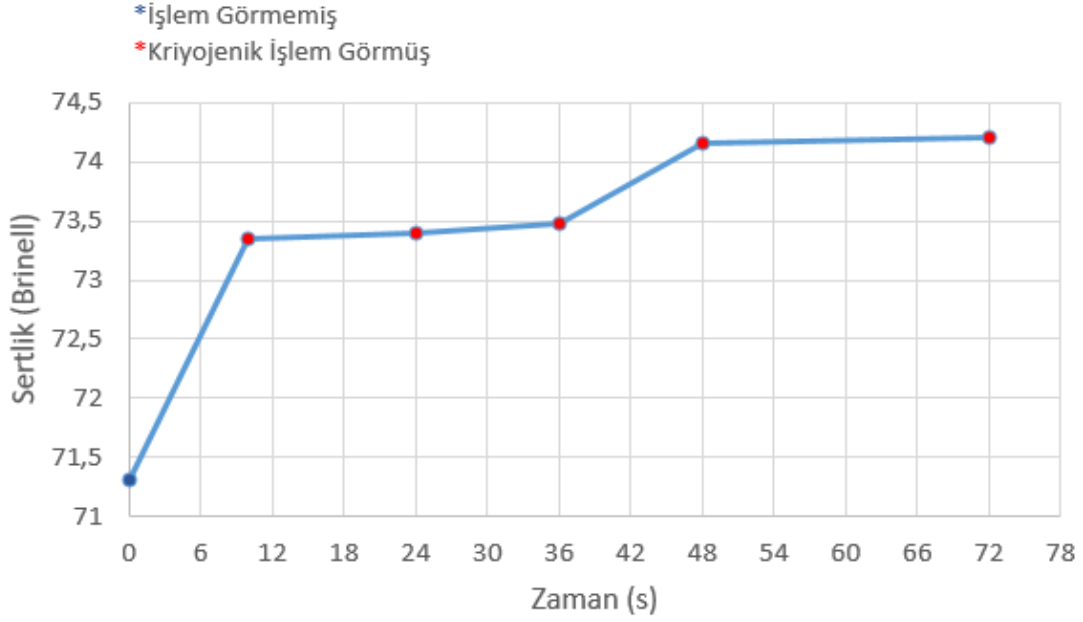
Çizelge 3.1. %3,5 NaCl Çözeltisindeki AA5083-H111 Alaşımının EIS Sonuçları.

AA5083-H111	$R_s$ ( $\Omega.cm^2$ )	$Y_{01}$ ( $\mu\Omega^{-1}s^2cm^{-2}$ )	$n_1$	$R_{ct}$ ( $\Omega.cm^2$ )	$Y_{02}$ ( $\mu\Omega^{-1}s^2cm^{-2}$ )	$n_2$	$R_f$ ( $\Omega.cm^2$ )	$R_{total}$ ( $\Omega.cm^2$ )
İşlem Görmemiş	18,73	16,6	0,91	10700	366	0,99	8491	19191
10 Saat	19,91	7,40	0,89	15910	305	0,99	6395	22305
24 Saat	19,01	17,2	0,90	13070	211	0,98	13160	26230
36 Saat	18,11	13,8	0,92	10051	212	0,91	9530	19581
48 Saat	20,07	22,9	0,91	17060	207	0,95	7707	24767
72 Saat	19,7	13,5	0,89	10717	230	0,92	7422	18139

Çizelge 3.1'den de görüldüğü gibi kriyojenik işlem ve işlem süreleri  $R_{ct}$  ve  $R_f$  değerlerinde önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır. Elde edilen  $R_{total}$  dirençlerinden en yüksek değer 24 saat kriyojenik işlem uygulanan metale ait olduğu görülmüştür.  $R_{total}$  direnç değerlerinde gözlemlenen değişikliklerin, kriyojenik işlemin süresine bağlı olmadığı görülmektedir.

### 3.2. SERTLİK DERECESESİ ÖLÇÜMLERİ

Kriyojenik işlem uygulanan tüm AA5083-H111 alaşımlarının sertlik derecesi ölçümleri her bir numunenin yüzeyindeki on farklı konumdan alınarak yedişer tekrar ile yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucu sertlik ile korozyon direnci arasında bir korelasyon olduğu gözlemlenmiştir. Sertlik derecesi ölçüm sonuçları Şekil 3.4'te verilmiştir.



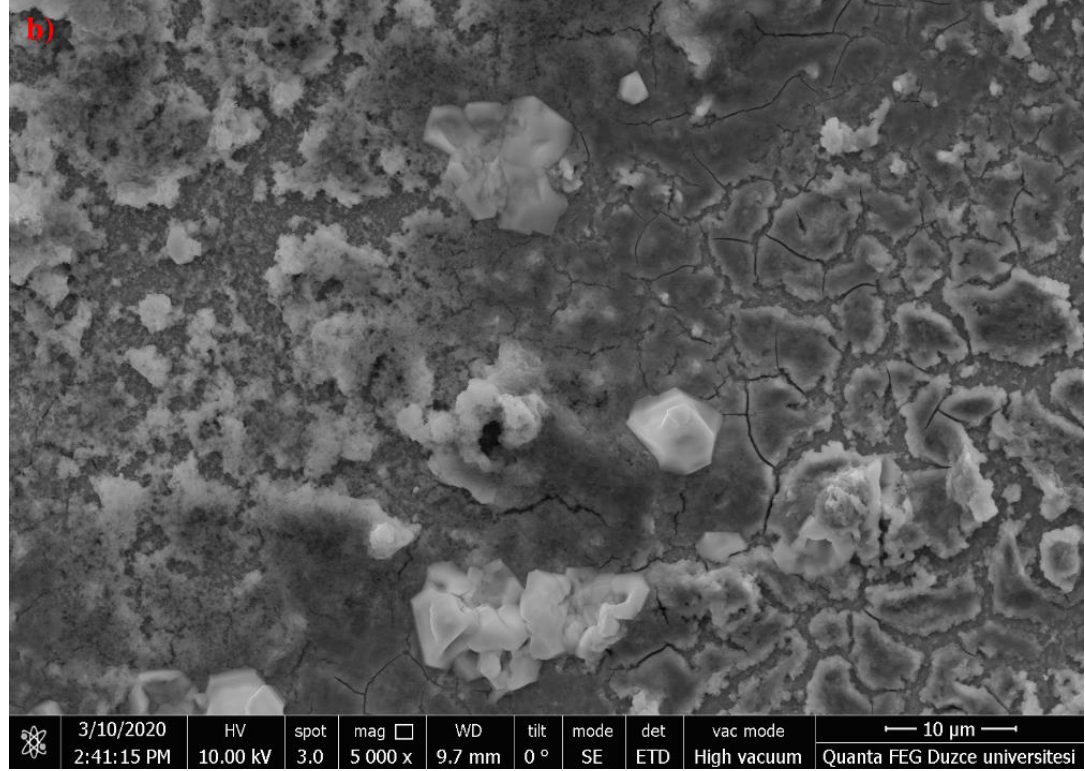
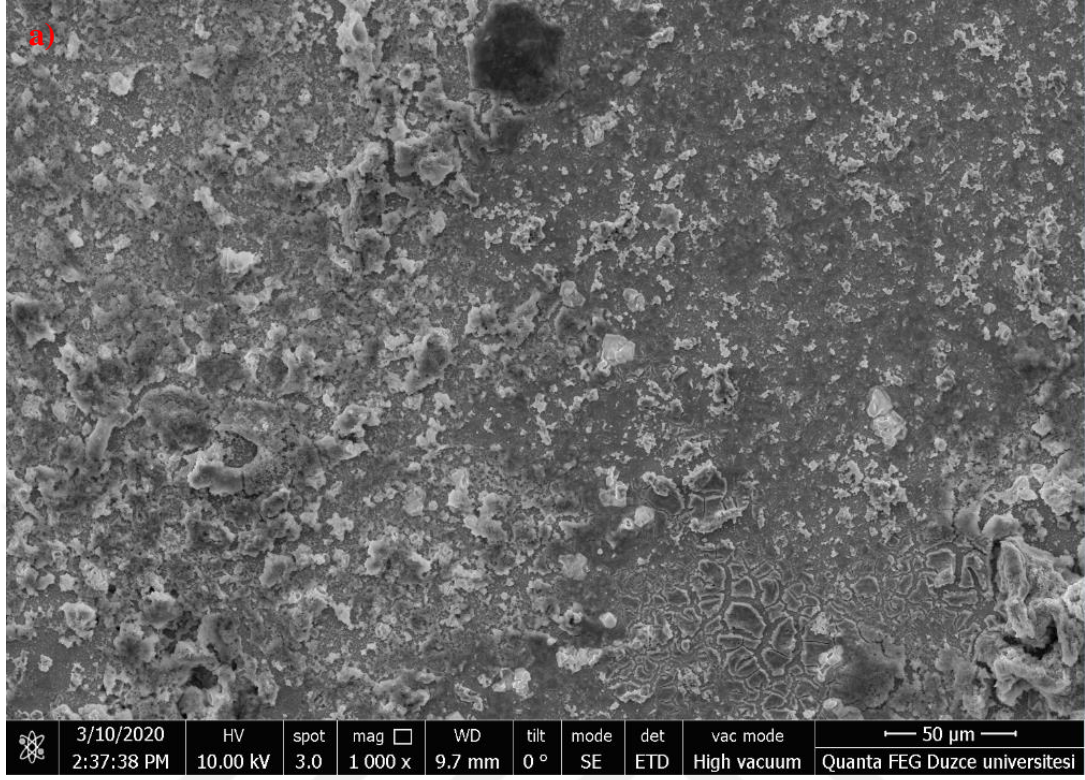
Şekil 3.4. İşlem görmemiş ve zamana bağlı sığ kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının yüzey sertlik değerleri.

Elde edilen sonuçlar, zamana bağlı kriyojenik işlem görerek elde edilen verilerde çok az farklılıklar olduğunu göstermektedir. 72 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 numunelerinin ortalama sertlik değerleri ile işlem görmemiş AA5083-H111 numuneleri arasındaki farkın 2.9 HB olduğu gözlemlenmiştir. Bu değer, kriyojenik işlemin AA5083-H111 alaşımının sertlik derecesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

### 3.3. SEM VE EDS ANALİZLERİ

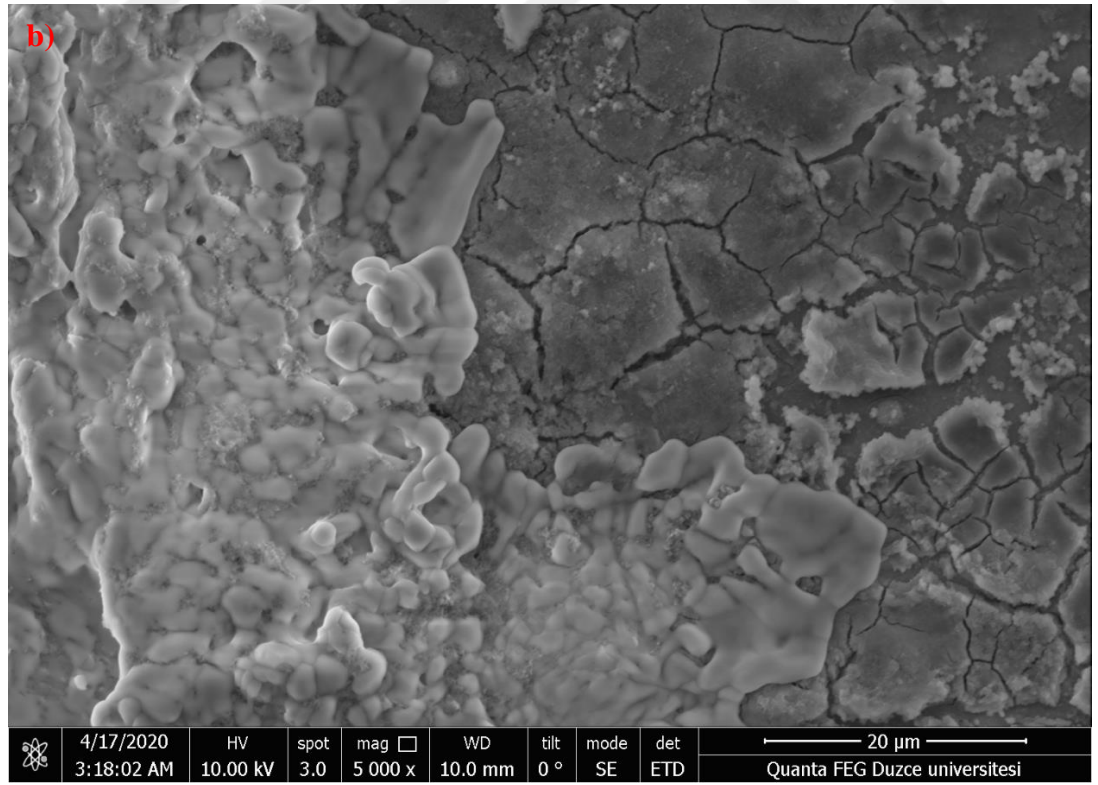
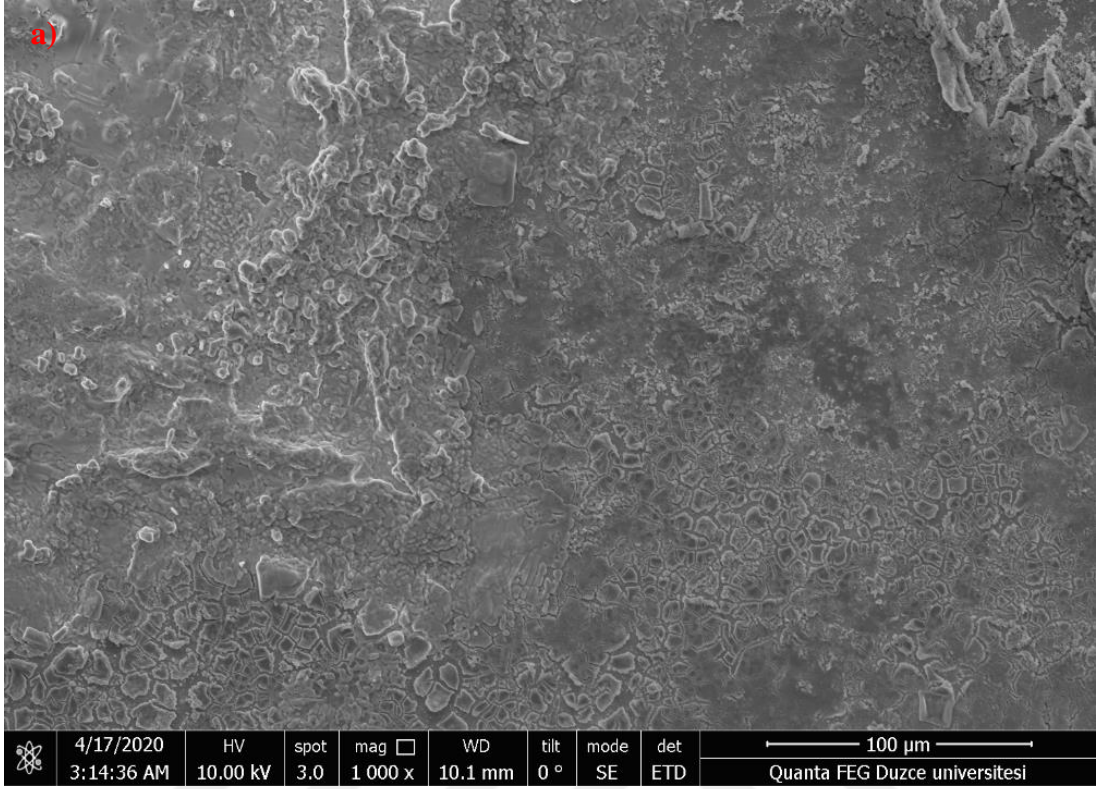
İşlem görmemiş ve sırasıyla 10, 24, 36, 48, 72 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşım metalinin yüzeyinde meydana gelen morfolojik değişimleri gözlemlemek için SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Yapılan SEM ve EDS analizlerinin görselleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 3.5 – Şekil 3.13).

## Kriyojenik İşlemsiz



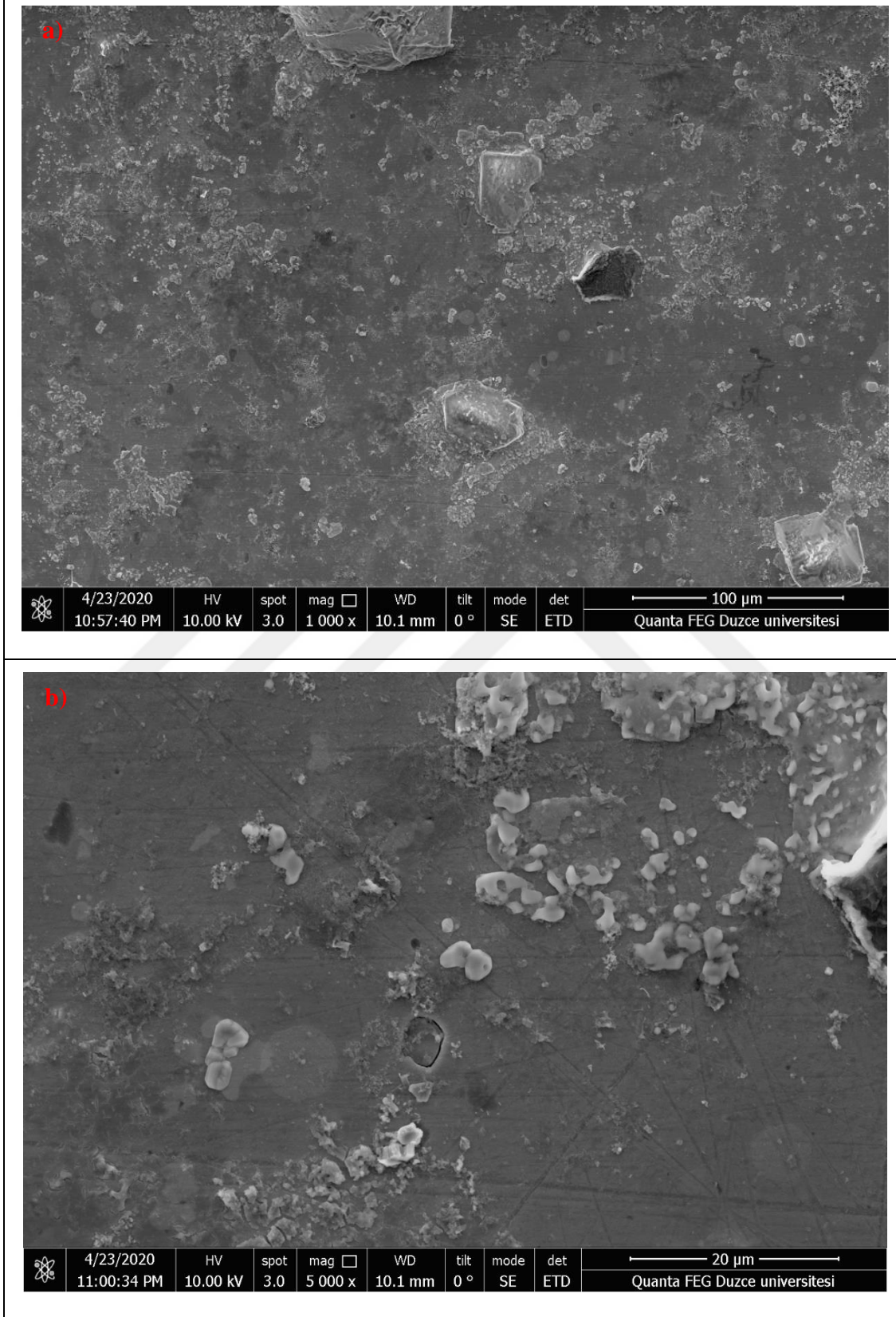
Şekil 3.5. Kriyojenik işlem görmemiş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X.

## 10 Saat Kriyojenik İşlem Uygulanan



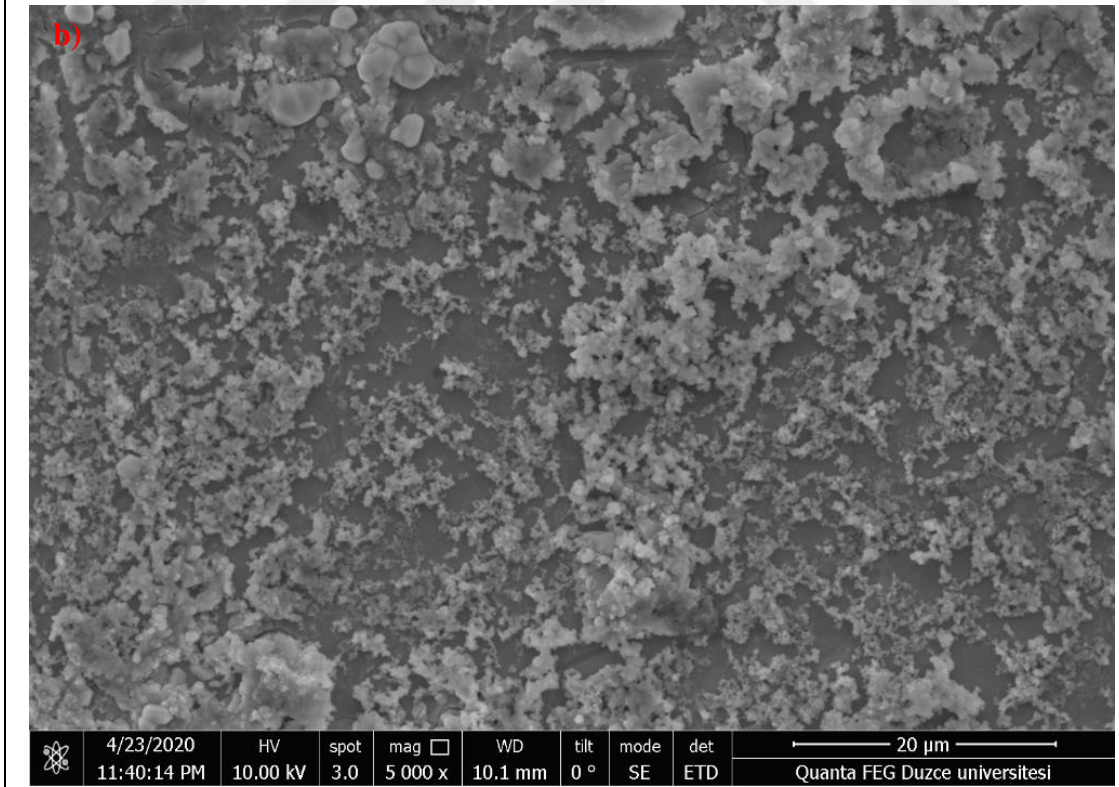
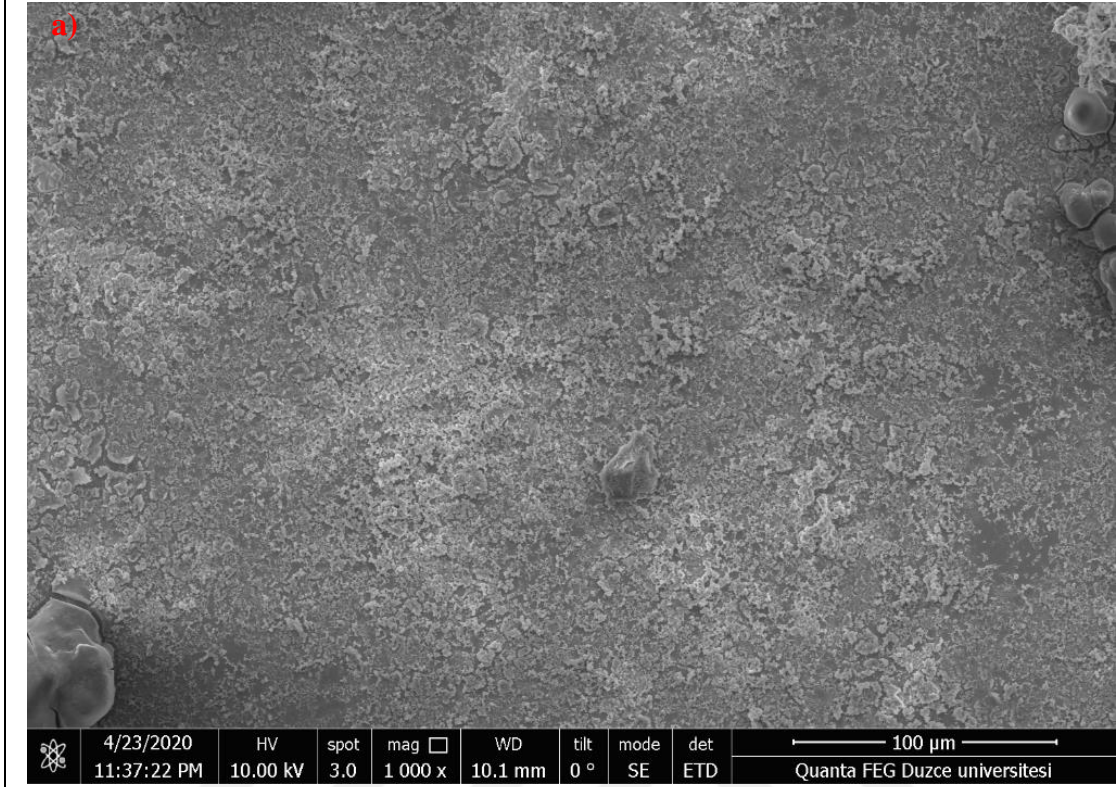
Şekil 3.6. 10 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X.

## 24 Saat Kriyojenik İşlem Uygulanan



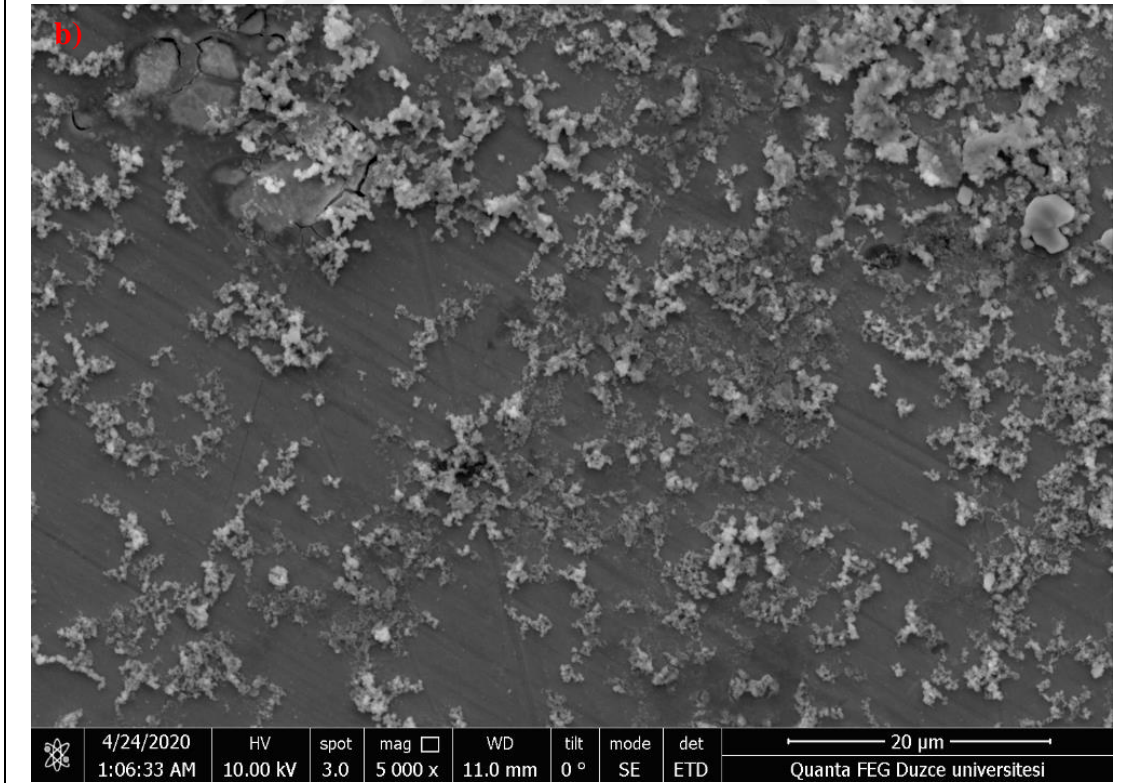
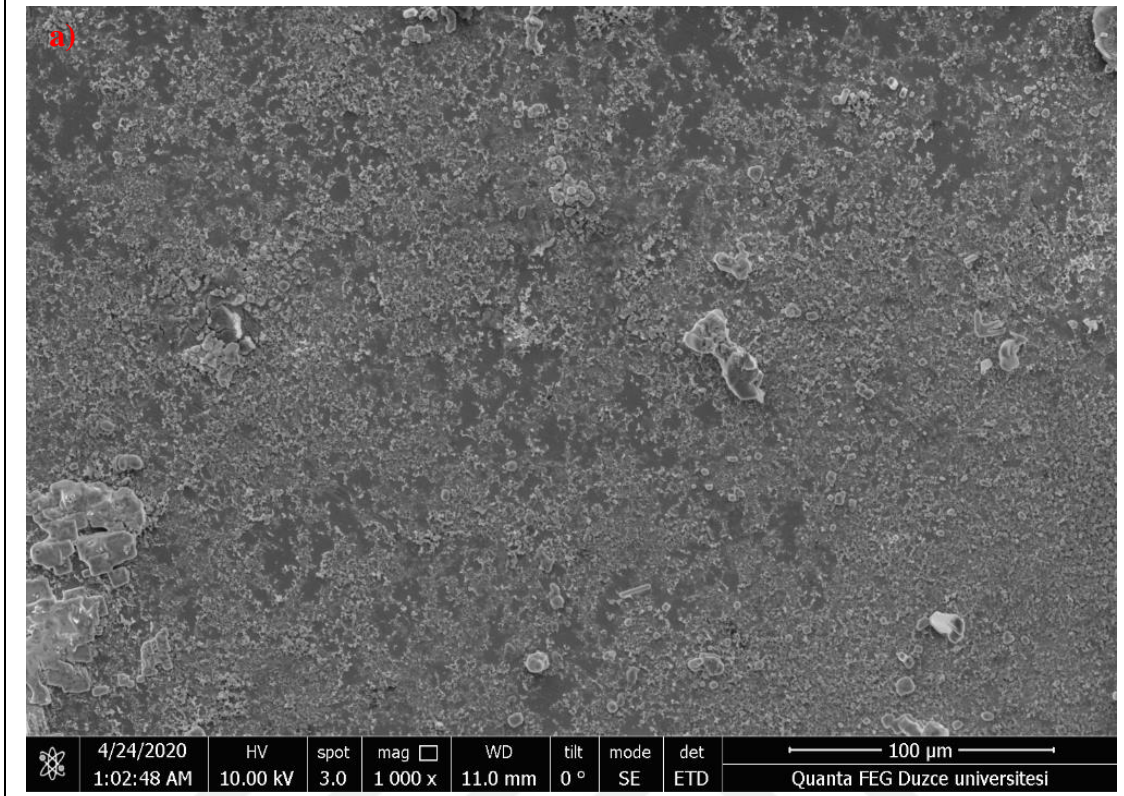
Şekil 3.7. 24 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X.

## 36 Saat Kriyojenik İşlem Uygulanan



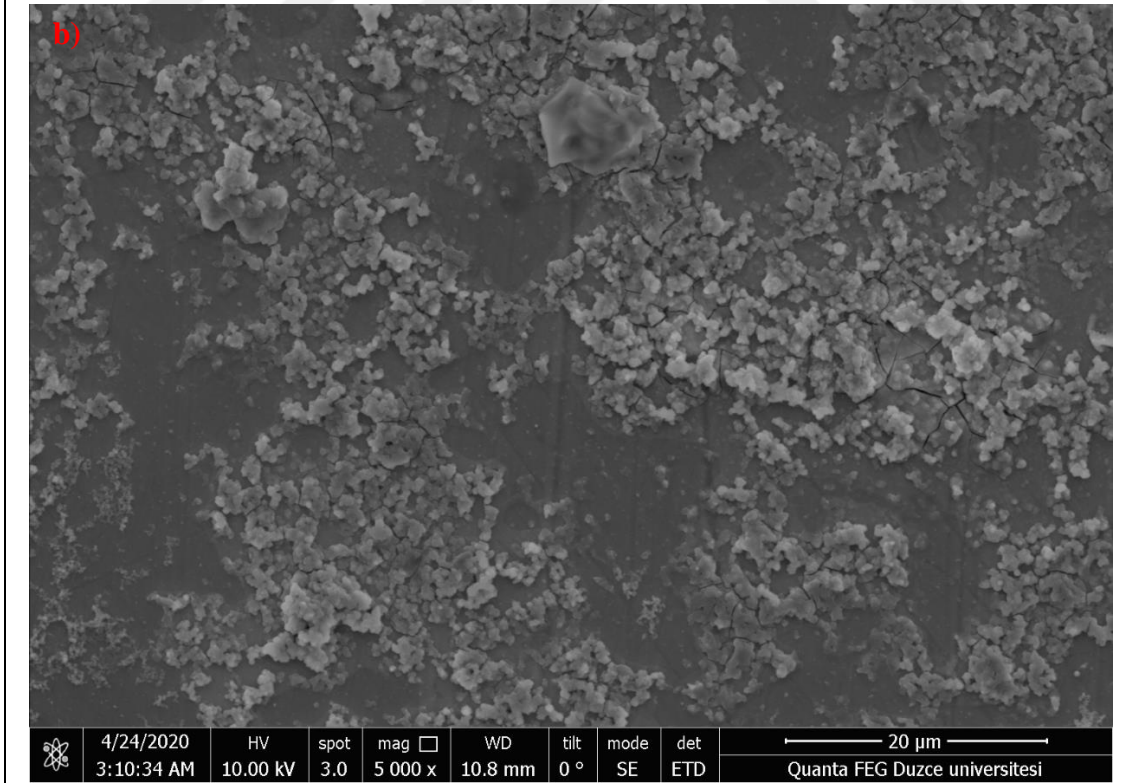
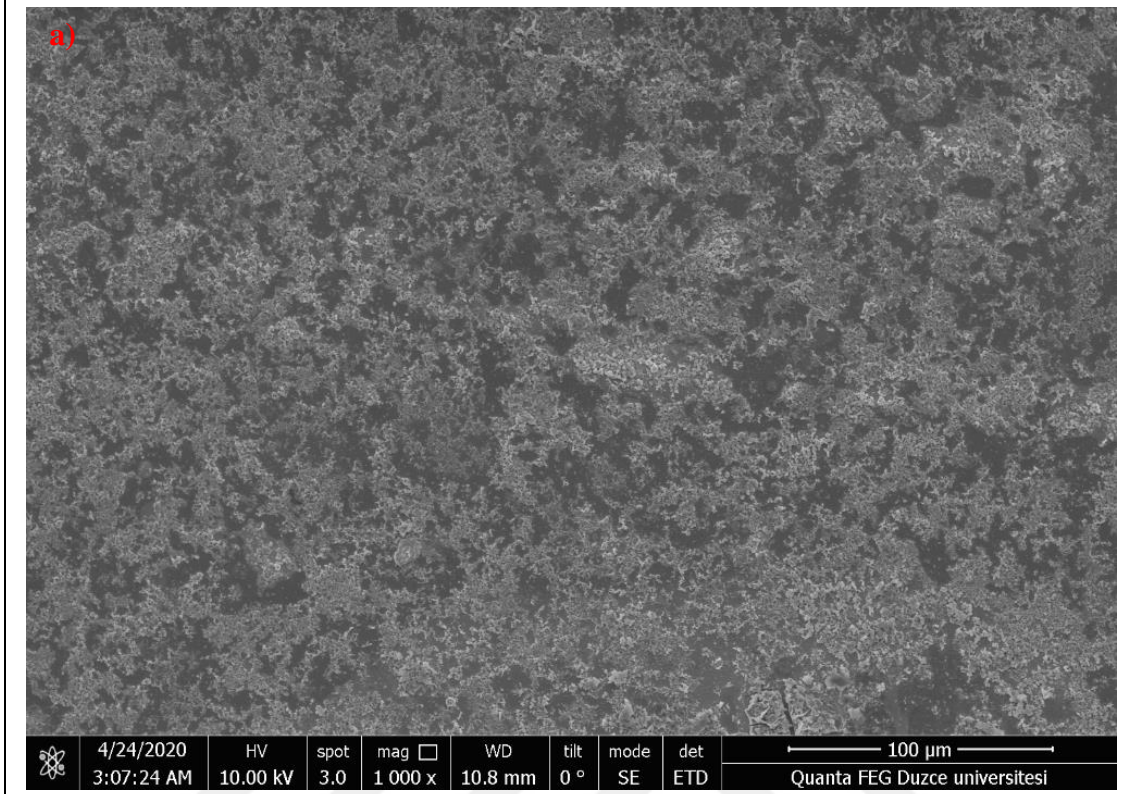
Şekil 3.8. 36 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X.

## 48 Saat Kriyojenik İşlem Uygulanan



Şekil 3.9. 48 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X.

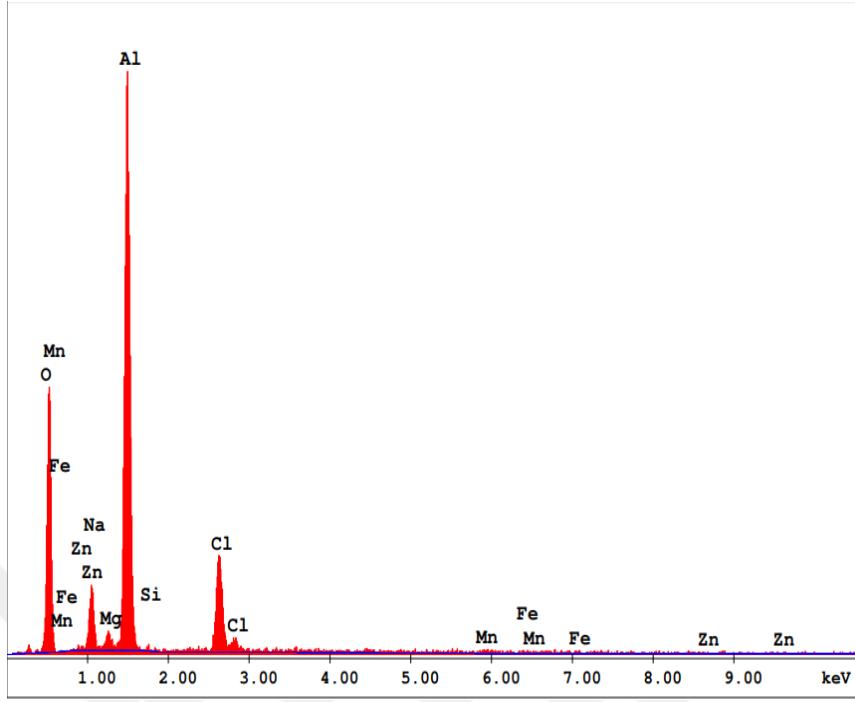
## 72 Saat Kriyojenik İşlem Uygulanan



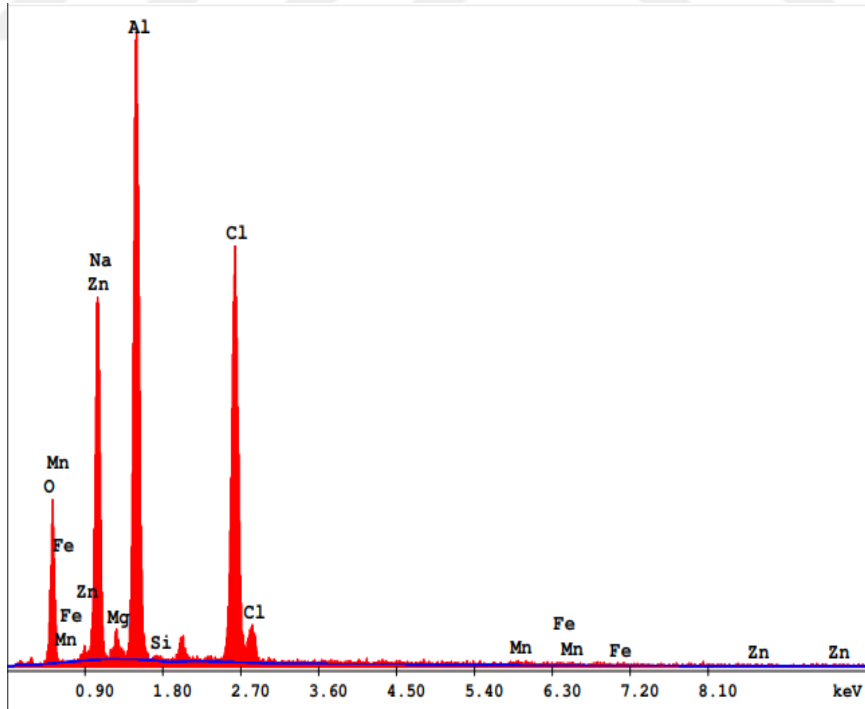
Şekil 3.10. 72 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 metalinin EIS deneyleri sonrası SEM görüntüleri; a) 1000X, b) 5000X.

SEM görüntüleri incelendiğinde korozyon deneyleri sonrasında metal yüzeyinde korozyon ürünlerinin oluştuğu görülmektedir. Kriyojenik işlemin süresine bağlı olarak AA5083-H111 alaşımına ait yüzey görüntülerinde önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir.

Kriyojenik İşlemsiz (a)

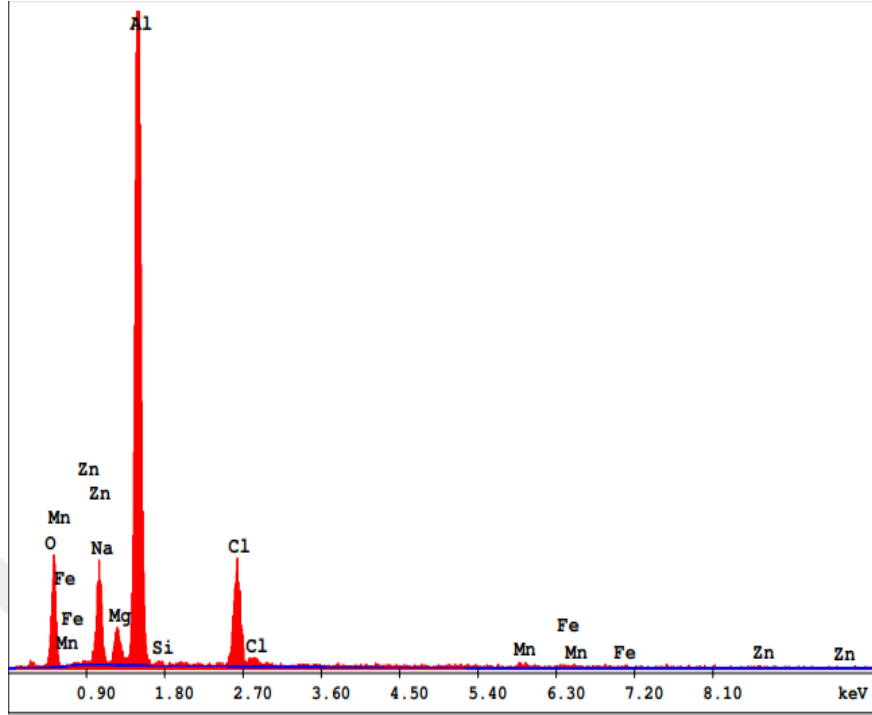


10 Saat Kriyojenik İşlem Uygulanan (b)

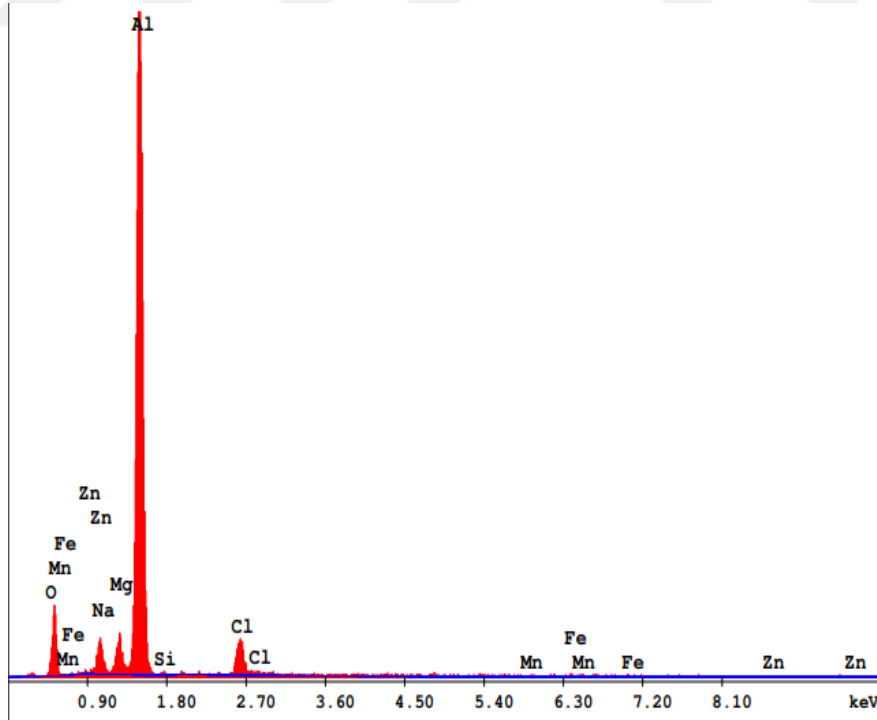


Şekil 3.11. İşlem görmemiş (a) ve 10 saat kriyojenik işlem uygulanan (b) AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizi.

24 Saat Kriyojenik İşlem Uygulanan (a)

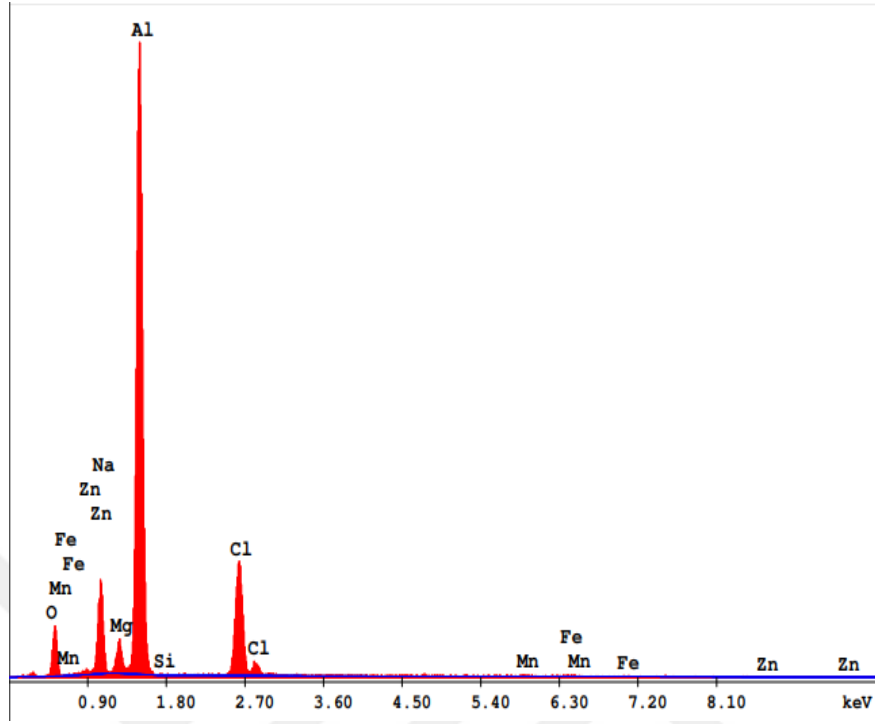


36 Saat Kriyojenik İşlem Uygulanan (b)

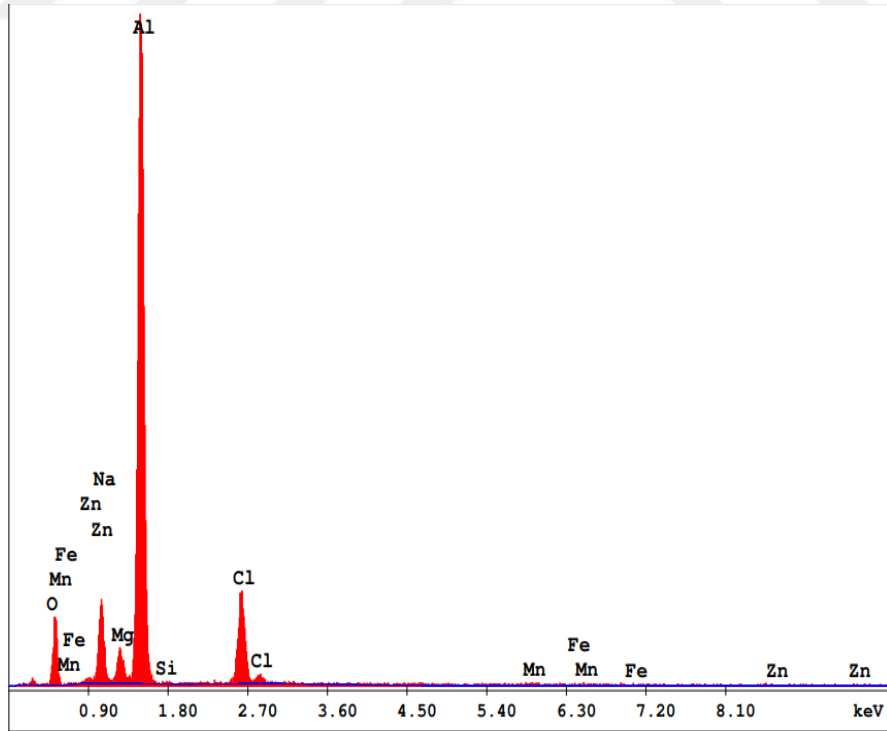


Şekil 3.12. 24 saat kriyojenik işlem uygulanan (a) ve 36 saat kriyojenik işlem uygulanan (b) AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizi.

48 Saat Kriyojenik İşlem Uygulanan (a)

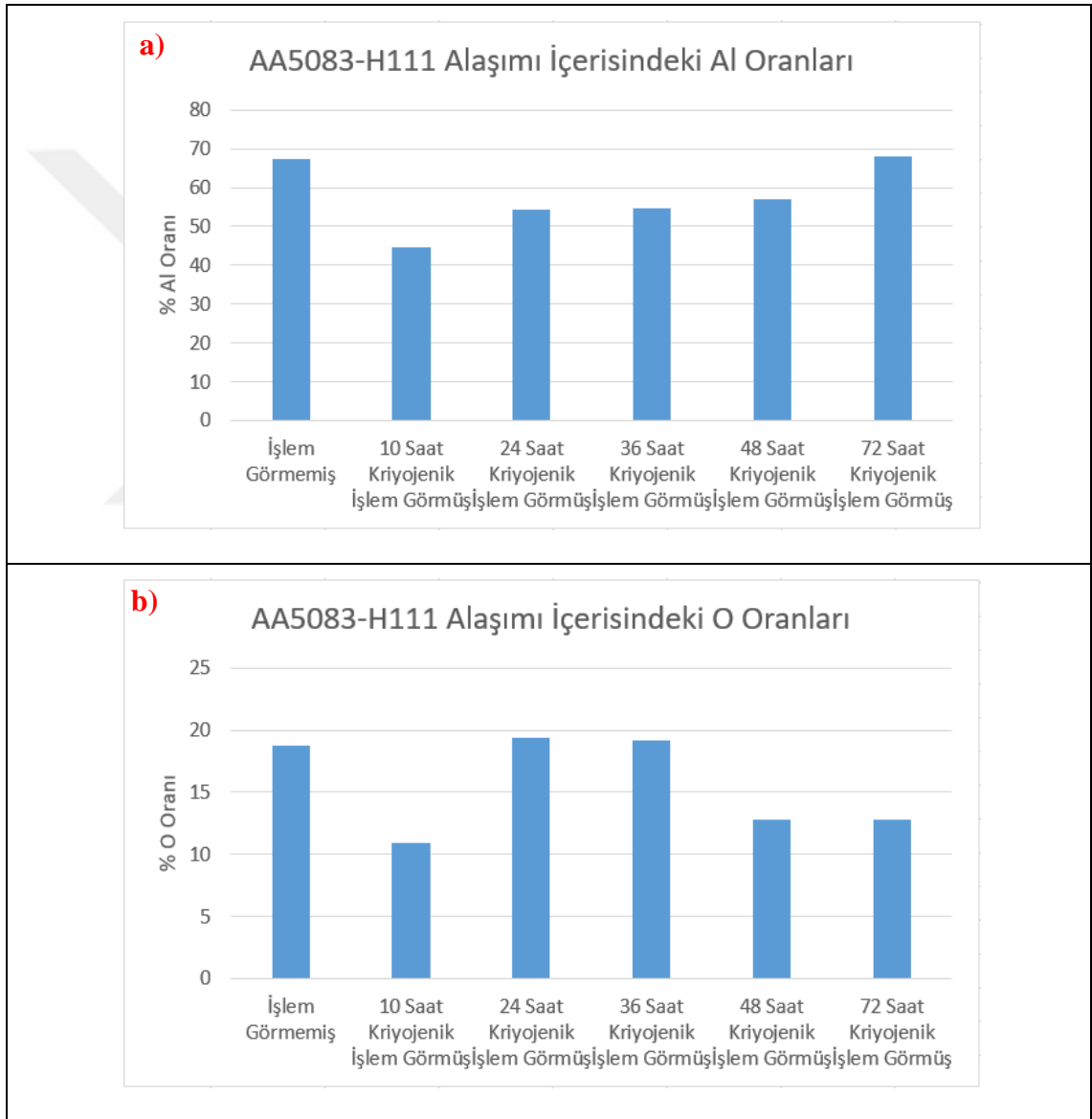


72 Saat Kriyojenik İşlem Uygulanan (b)

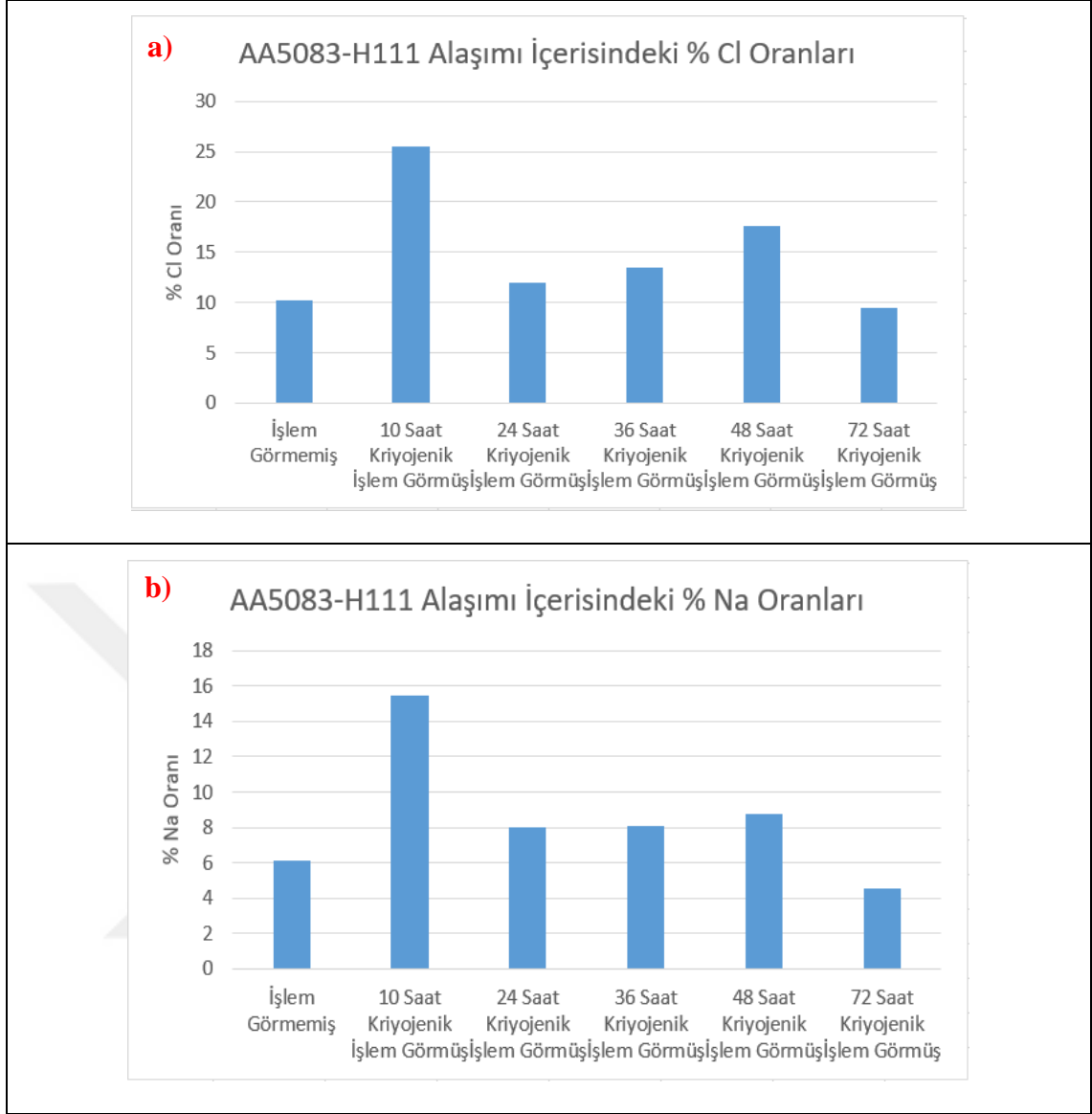


Şekil 3.13. 48 saat kriyojenik işlem uygulanan (a) ve 72 saat kriyojenik işlem uygulanan (b) AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizi.

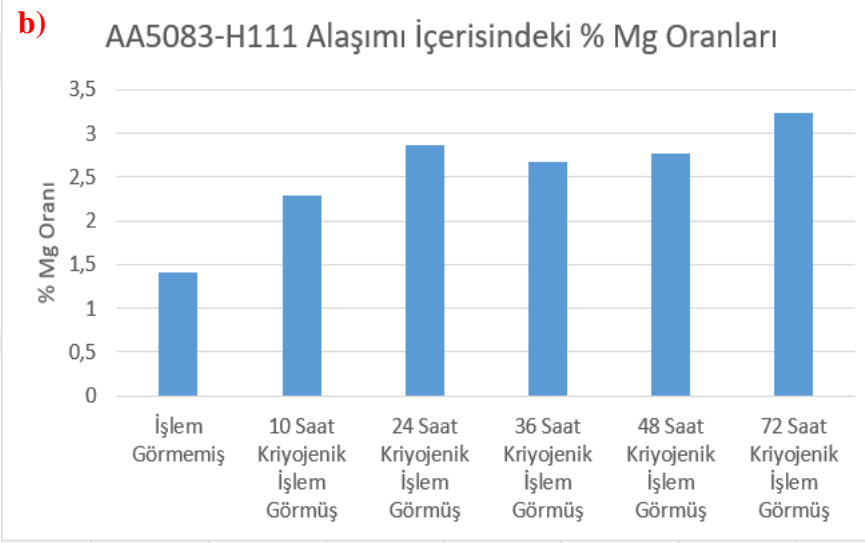
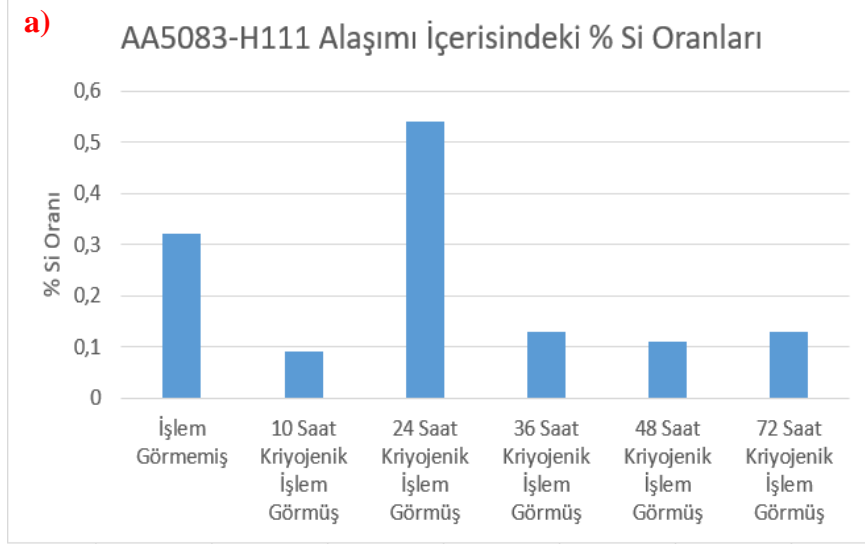
Yukarıdaki şekillerde (Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13) verilen EIS deneyleri sonrası EDS analizleri incelendiğinde metal yüzeyinde ağırlıklı olarak Al elementi görülmektedir. EDS spektrumlarında alüminyum metalinin yüzeyinde oluşan pasif film tabakası ile ilişkilendirmek amacıyla alüminyum (Al) ve oksijen (O) elementlerine odaklanılmıştır. Ayrıca, EDS spektrumlarında çalışılan ortama bağlı olarak Na ve Cl elementlerine ait pikler de görülmektedir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 3.14 – Şekil 3.18) korozyon deneyleri sonrası EDS analizinden elde edilen elementlerin yüzde dağılımları verilmiştir.



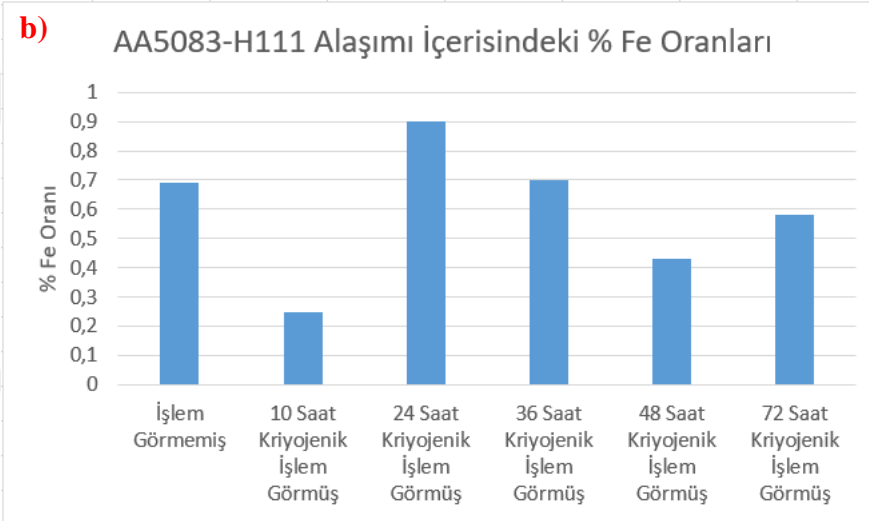
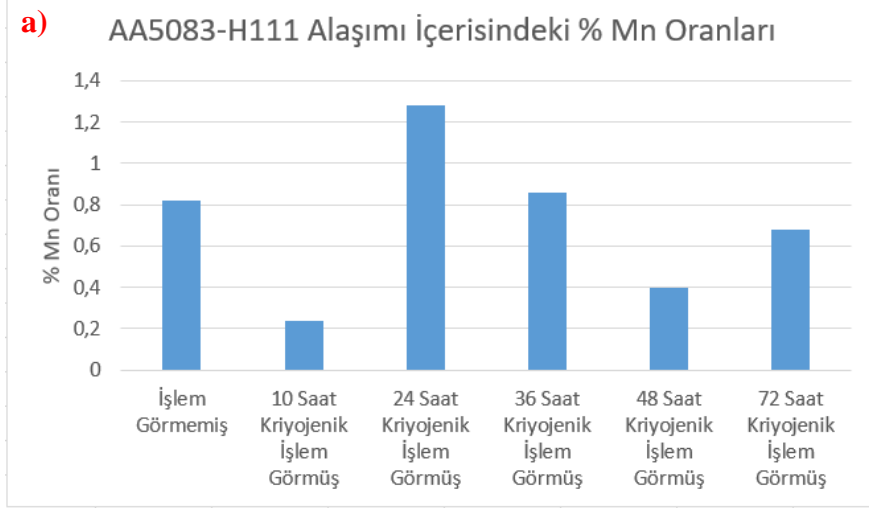
Şekil 3.14. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizinde elde edilen Al (a) ve O (b) elementlerinin yüzde dağılımı.



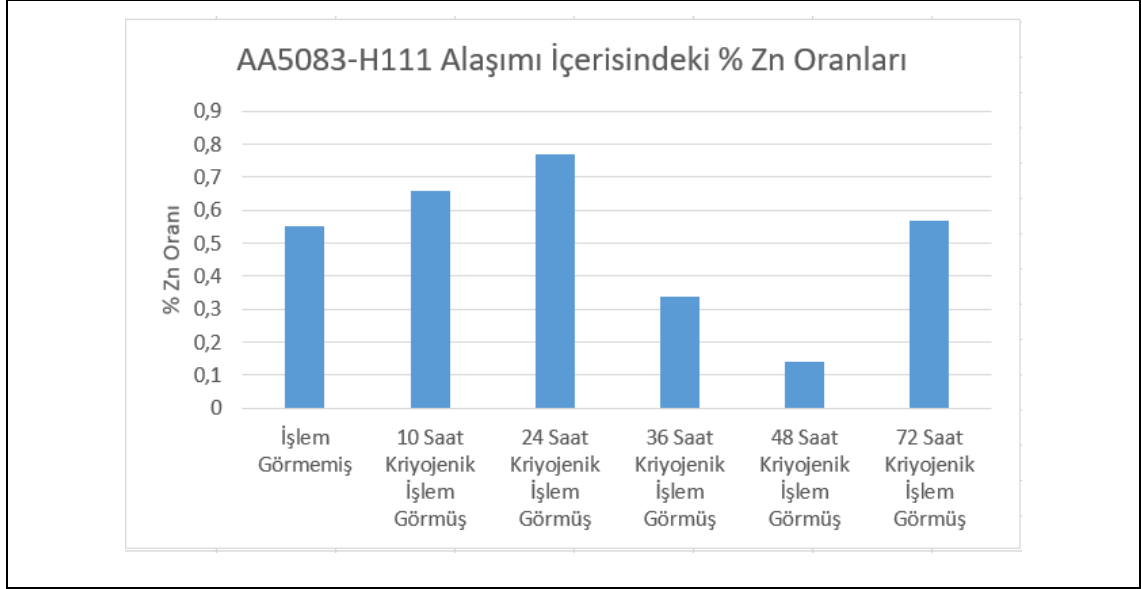
Şekil 3.15. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizinde elde edilen Cl (a) ve Na (b) elementlerinin yüzdece dağılımı.



Şekil 3.16. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizinde elde edilen Si (a) ve Mg (b) elementlerinin yüzdece dağılımı.



Şekil 3.17. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizinde elde edilen Mn (a) ve Fe (b) elementlerinin yüzdece dağılımı.



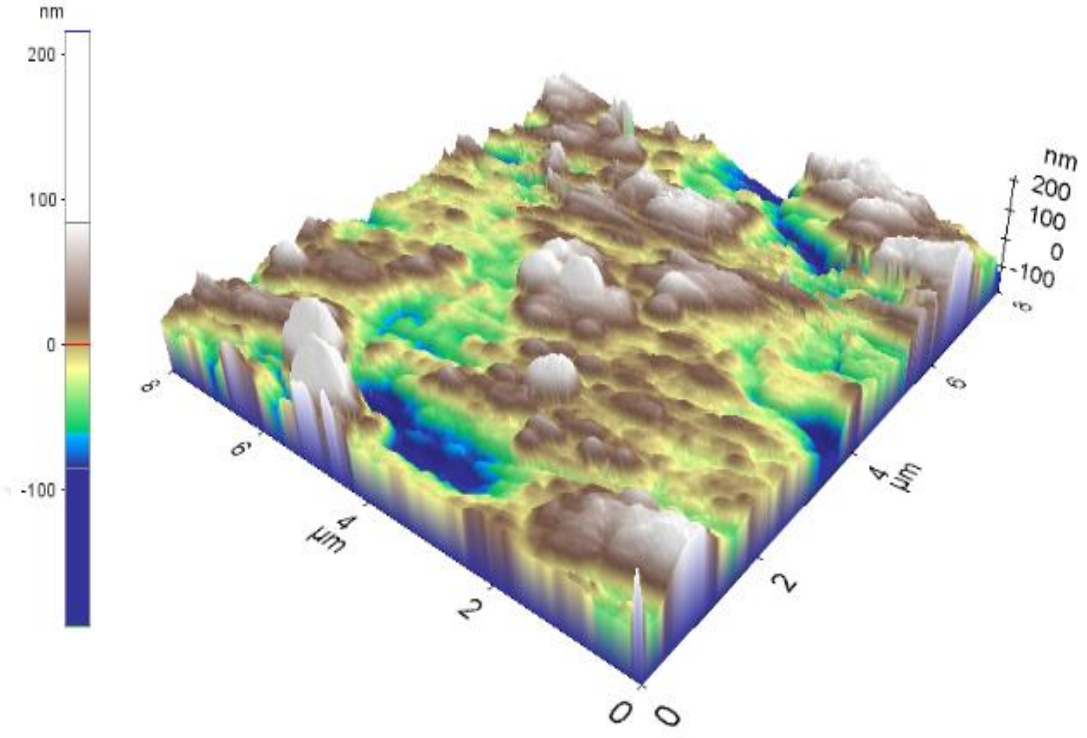
Şekil 3.18. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem uygulanan AA5083-H111 metallerin EIS deneyi sonrası EDS analizinde elde edilen Zn elementinin yüzdece dağılımı.

Yukarıdaki şekiller (Şekil 3.14 – Şekil 3.18) incelendiğinde Al ve Mg elementlerinin yüzdesindeki artış ve azalışın lineer olmadığı gözlenmiştir. O yüzdesindeki artış ve azalışın da lineer olmadığı görülmüştür.

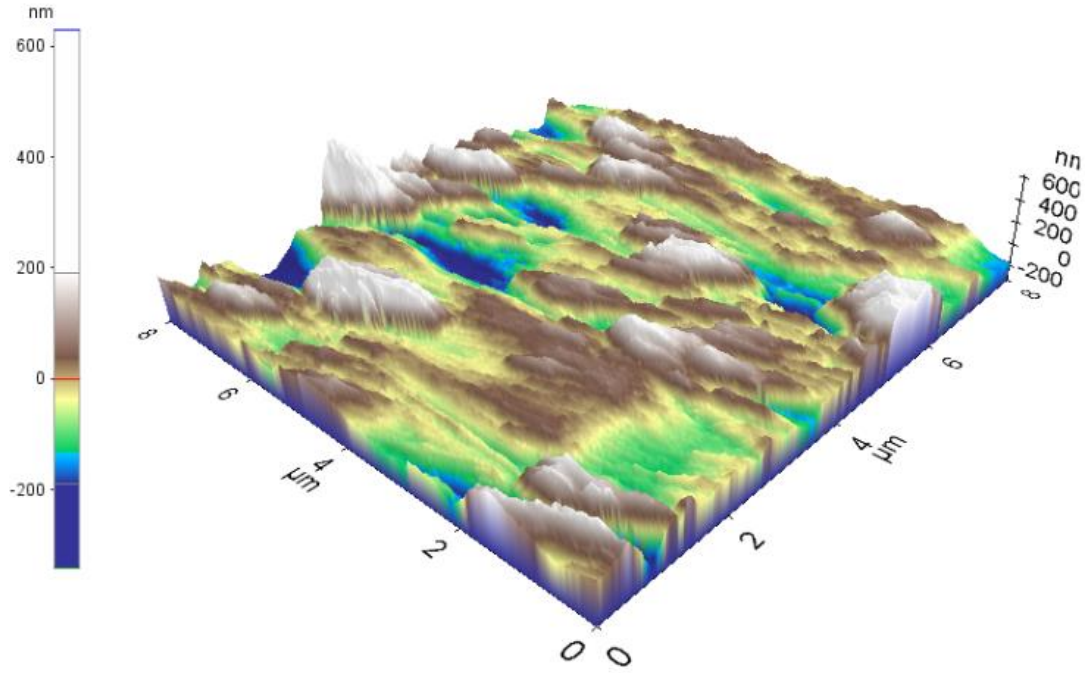
### 3.4. AFM VE OP ANALİZLERİ

Yapılan EIS ölçümleri sonrası işlem görmemiş ve 10, 24, 36, 48, 72 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının yüzeyleri AFM ile incelenmiştir. AA5083-H111 alaşım yüzeylerinin ortalama pürüzlülükleri, AFM görüntülerinin istatistiksel analizi ile elde edilmiştir. Metal yüzeyindeki pürüzlülük değerlerini gösteren  $R_a$  değeri, yüzey bandları ve dalgalar arasındaki çukurların bireysel ölçümlerinin ortalamasını verirken  $R_z$  değeri, on hattan alınan yükseklik sapmalarının ortalamasını ifade etmektedir [71]. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem görmüş numuneler için AFM görüntüleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21) gösterilmiştir. Elde edilen AFM görüntülerinin yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

### İşlem Görmemiş

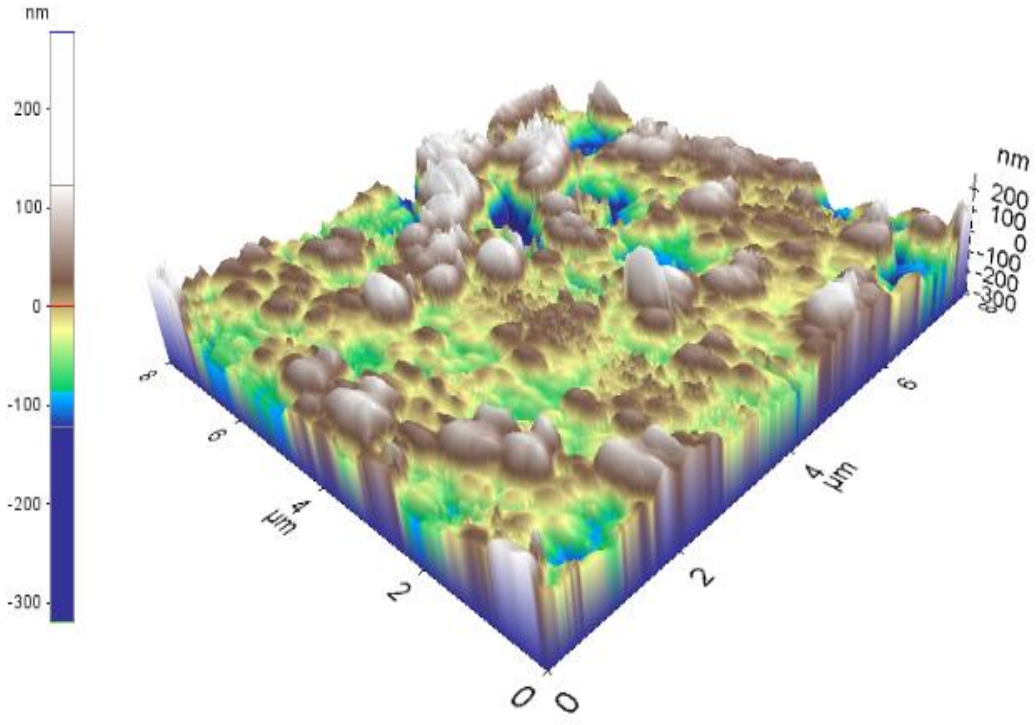


### 10 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş

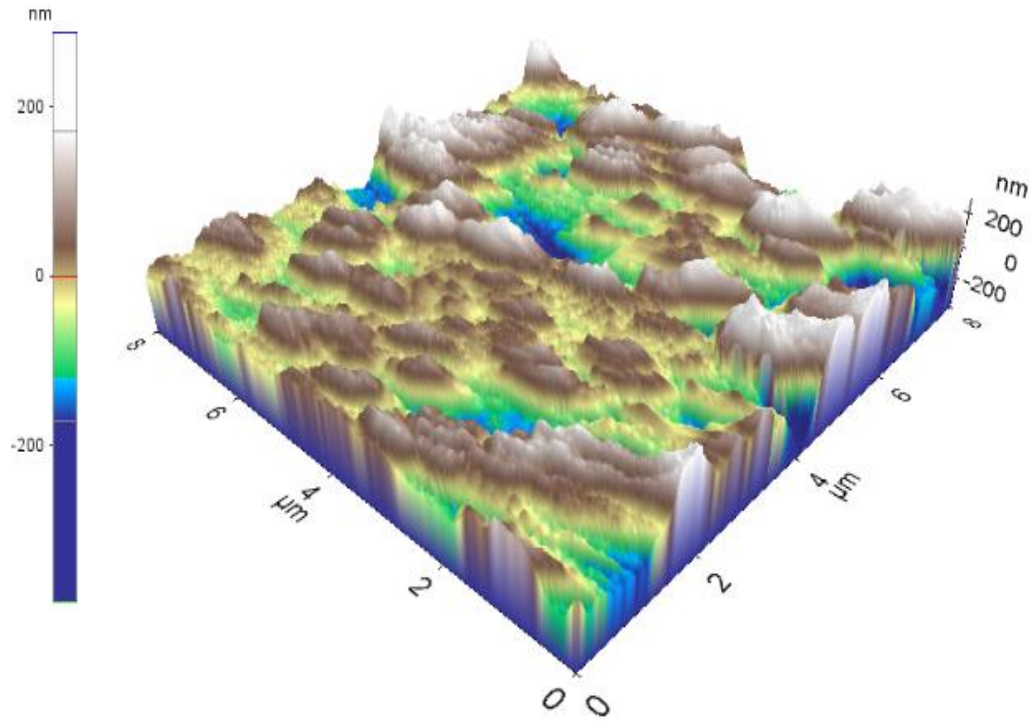


Şekil 3.19. İşlem görmemiş ve 10 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası AFM analizleri.

### 24 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş

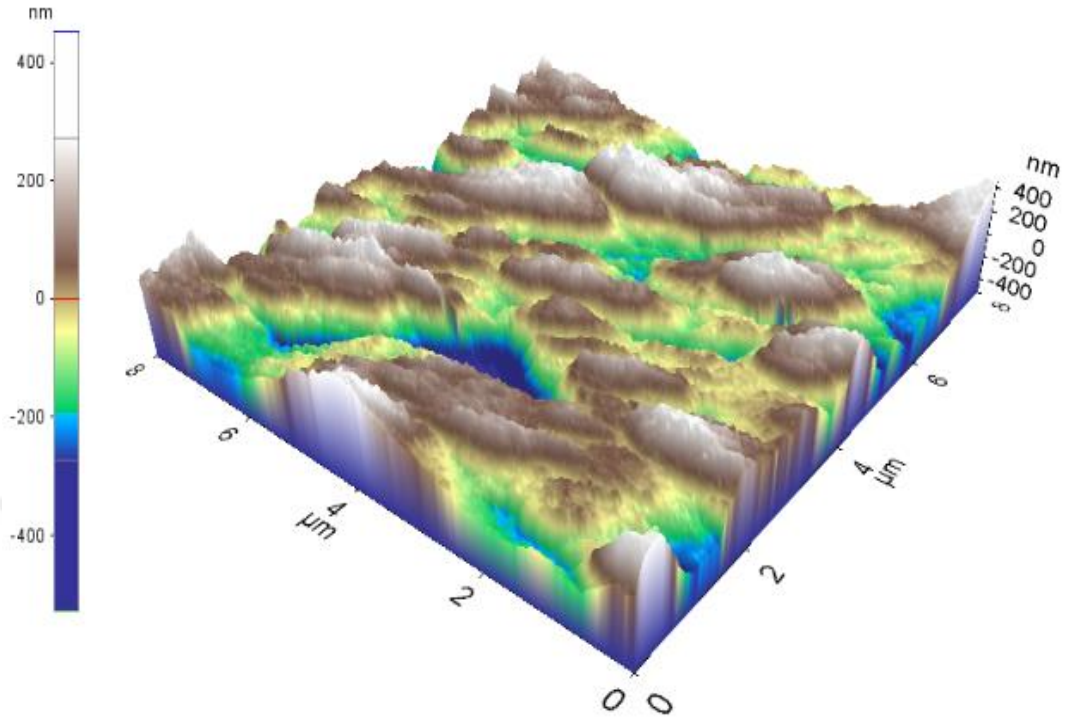


### 36 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş

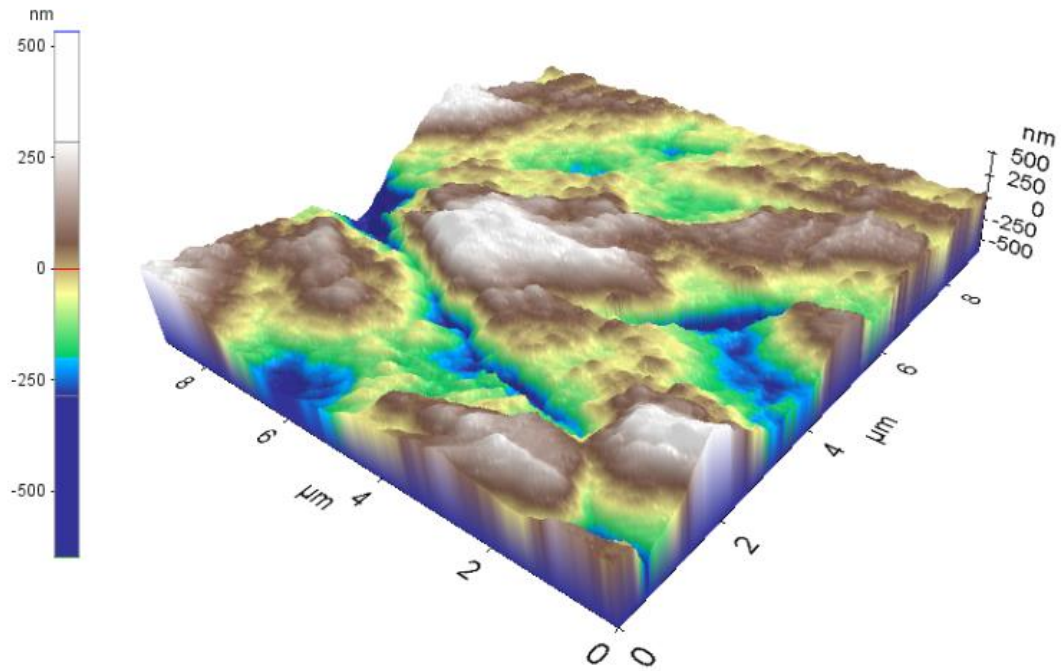


Şekil 3.20. 24 saat kriyojenik işlem görmüş ve 36 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası AFM analizleri.

### 48 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş



### 72 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş



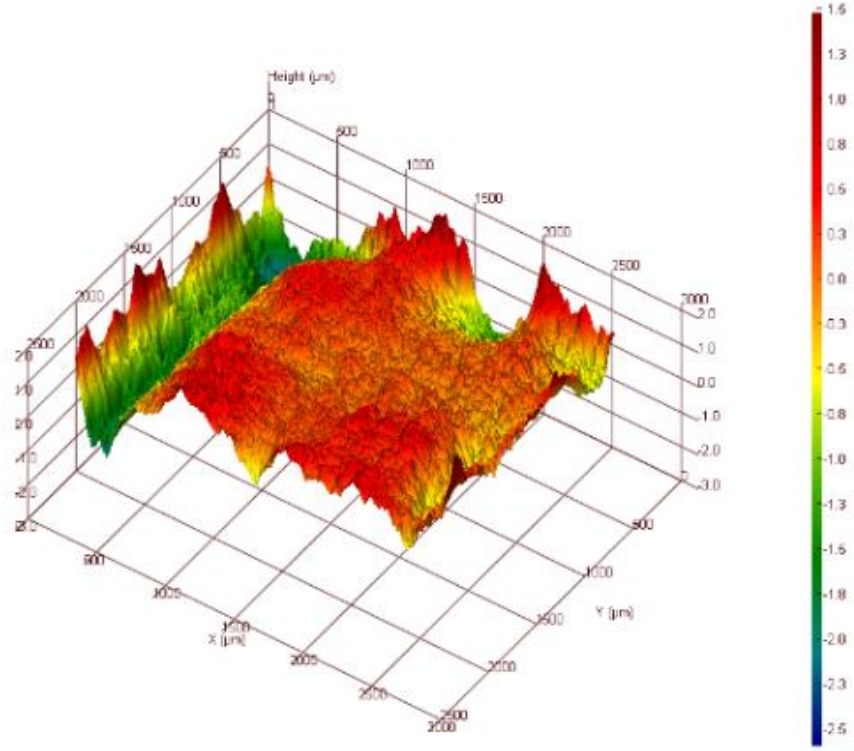
Şekil 3.21. 48 saat kriyojenik işlem görmüş ve 72 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası AFM analizleri.

Çizelge 3.2. EIS ölçümleri sonrası AFM sonuçları.

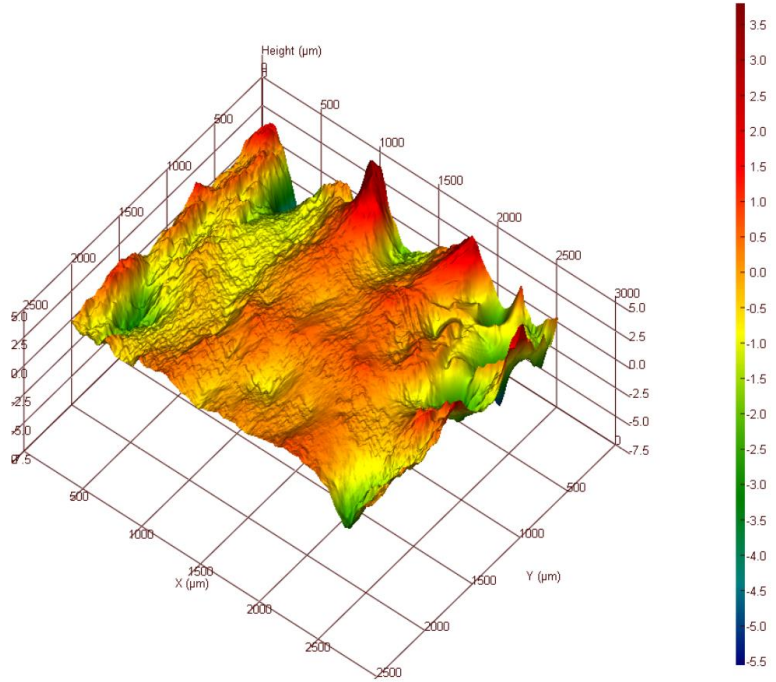
AA5083-H111		
	R <sub>a</sub> (nm)	R <sub>z</sub> (nm)
İşlem Görmemiş Numune	47.874	213.921
10 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş Numune	114.926	509.889
24 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş Numune	126.810	406.219
36 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş Numune	126.872	403.466
48 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş Numune	183.892	731.526
72 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş Numune	242.253	842.441

İşlem görmemiş yüzeylerin ortalama pürüzlülüğü yaklaşık 48 nm iken; kriyojenik işlem süresi 10 saatten 24 saate, 36 saate, 48 saate ve 72 saate yükseldikçe pürüzlülük değeri sırasıyla 114.926 nm, 126.810 nm, 126.872 nm, 183.892 nm ve 242.253 nm ölçülmüştür. İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem görmüş numuneler için OP görüntüleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24) gösterilmiştir. Elde edilen AFM görüntülerinin yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

## İşlem Görmemiş

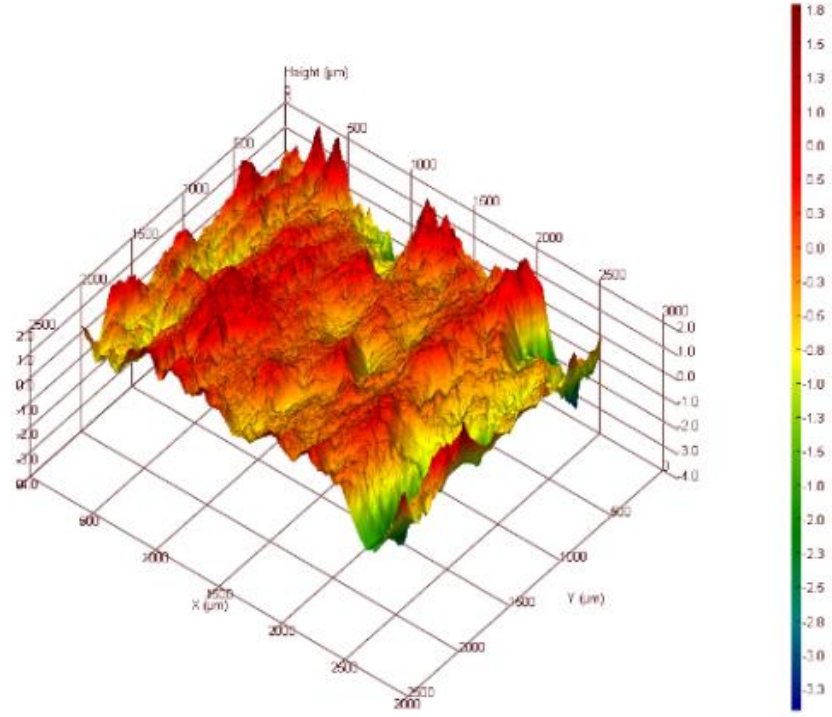


## 10 Saat İşlem Görmüş

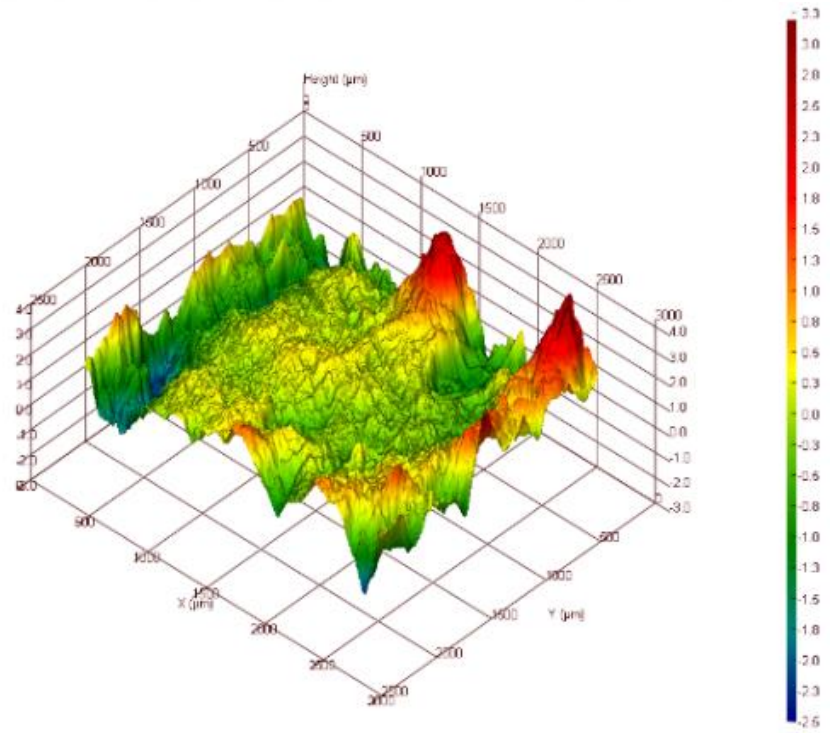


Şekil 3.22. İşlem görmemiş ve 10 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası OP analizleri.

### 24 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş

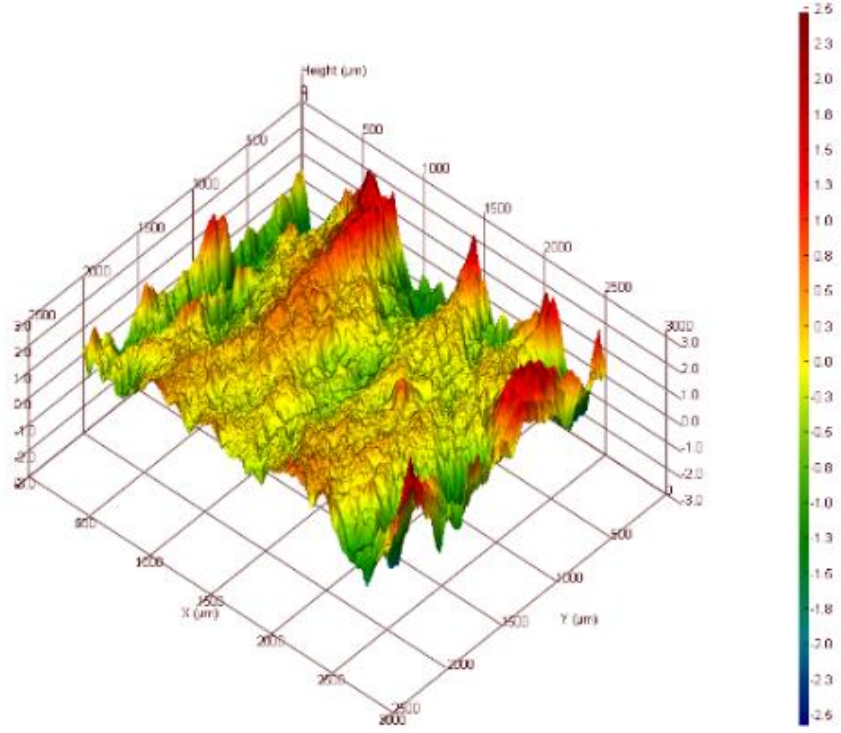


### 36 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş

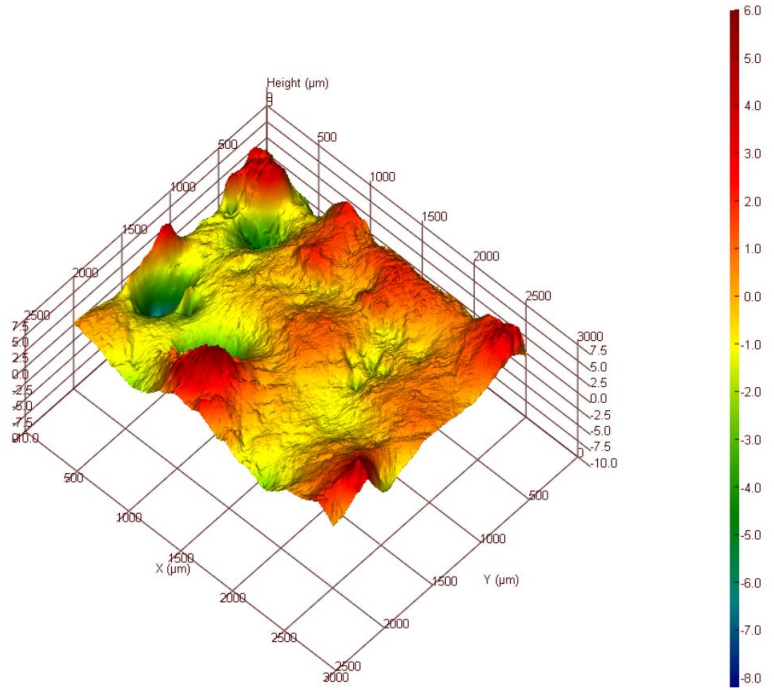


Şekil 3.23. 24 saat kriyojenik işlem görmüş ve 36 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası OP analizleri.

### 48 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş



### 72 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş



Şekil 3.24. 48 saat kriyojenik işlem görmüş ve 72 saat kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımlarının EIS ölçümleri sonrası OP analizleri.

Çizelge 3.3. EIS ölçümleri sonrası OP sonuçları.

AA5083-H111		
	R <sub>a</sub> (µm)	R <sub>z</sub> (µm)
İşlem Görmemiş	79.35	517.3
10 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş Numune	208.9	975.7
24 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş Numune	132.5	658.7
36 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş Numune	143.7	899.8
48 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş Numune	155.7	849.6
72 Saat Kriyojenik İşlem Görmüş Numune	281.5	1375

OP sonuçları da AFM bulguları ile benzerlik göstermektedir (Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24). EIS ölçümleri sonrası yapılan OP sonuçları incelendiğinde (R<sub>z</sub>) değerinin de kriyojenik işlem süresi ile arttığı gözlemlenmiştir (Çizelge 3.3). İşlem görmemiş yüzeylerin ortalama pürüzlülüğü yaklaşık 79 nm iken; kriyojenik işlem süresi 10 saatten 24 saatte, 36 saate, 48 saate ve 72 saate yükseldikçe pürüzlülük değeri sırasıyla 208.9 nm, 132.5 nm, 143.7 nm, 155.7 nm ve 281.5 nm ölçülmüştür. Ölçümlenen EIS verilerine göre, kriyojenik işlem metal yüzeyinde bir oksit filmi oluşturmuştur ve metali korozyona karşı korumuştur. Bununla birlikte, bu oksit tabakasının stabil olmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, EIS ölçümlerinden sonra metal yüzeydeki pürüzlülükler artmıştır.

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İşlem görmemiş ve kriyojenik işlem görmüş AA5083-H111 alaşımının %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki korozyon mekanizmasının araştırılması ile ilgili deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- AA5083-H111 alaşımının %3,5 NaCl ortamında korozyona karşı direncinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.
- Sığ kriyojenik işlemin %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki AA5083-H111 alaşımının korozyon direncini iyileştirme konusunda yeterli etkiyi gerçekleştirmediği görülmüştür.
- EIS değerleri ile sertlik sonuçları arasında anlamlı bir korelasyon olduğu görülmüştür. Her iki yöntemle elde edilen bulgular, kriyojenik işlemin süresi arttıkça çok az değişiklik göstermiştir.
- EIS ölçümlerinin sonuçları, yük transfer direncinin kriyojenik işlem süresince arttığını ortaya koymuştur. Ancak, bu değişimin yüksek derecede olmadığı görülmüştür.
- AFM ve OP analizi görüntüleri, kriyojenik işlemin AA5083-H111'in yüzey morfolojisini değiştirdiğini ortaya koymuştur. Kriyojenik işlem süresi arttıkça, EIS ölçümlerinden sonra metal yüzeyinde daha fazla pürüzlülük gözlemlenmiştir. Bu olayı daha iyi açıklamak ve zamana dayalı empedans analizini gerçekleştirmek için Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) kullanılarak uzun süreli çalışmalar yapılmalıdır.
- Derin kriyojenik işlemin %3,5 NaCl çözeltisinde AA5083-H111'in korozyonunun iyileştirilmesi üzerindeki etkisi de araştırılmalıdır.
- EIS verilerine göre kriyojenik işlem, metal yüzeyinde metali korozyona karşı koruyan bir oksit filmin oluşmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, bu oksit tabakasının stabil olmadığı görülmüştür. Bu bulgu XRD ve diğer yöntemler kullanılarak araştırılmalıdır.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] G. Akçay, "Effect Of Friction Stir Processing On Fracture Toughness And Crack Growth Behaviour Of Fusion Welded 5083 Grade Aluminum Plates", Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [2] İ. Uygur, H. Gerengi, Y. Arslan ve M. Kurtay, "The effects of cryogenic treatment on the corrosion of AISI D3 steel", *Materials Research*, c. 18, sayı 3, ss. 569-574, 2015.
- [3] G. Svenningsen, "Corrosion of Aluminium Alloys", Yüksek lisans tezi, Department of Materials Technology, Norwegian University of Science and Technology, 7491 Trondheim, Norway, 2003.
- [4] M. Kurtay, "İnşaat Sektöründe Kullanılan Alüminyum Alaşımlarında Asit Yağmurlarının Etkisiyle Oluşan Korozyonun İncelenmesi", Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2014.
- [5] M. Erdem, "Alüminyum Alaşımlarının (5083 ve 7039) Kaynak Öncesi ve Sonrası Mekanik ve Balistik Özelliklerinin Araştırılması", Yüksek lisans tezi, Metal Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2001.
- [6] M. M. Sharma, J. D. Tomedi ve J. M. Parks, "A microscopic study on the corrosion fatigue of ultra-fine grained and conventional Al-Mg alloy", *Corrosion Science*, c. 93, ss. 180-190, 2015.
- [7] K. Stambekova, H. Lin ve J. Uan, "Surface modification of 5083 Al alloy by electrical discharge alloying processing with a 75 mass% Si-Fe alloy electrode", *Applied Surface Science*, c. 258, ss.4483-4488, 2012.
- [8] G. Y. Elewady, I. A. El-Said ve A. S. Fouda, "Anion Surfactants as Corrosion Inhibitors for Aluminum Dissolution in HCl Solutions", *International Journal of Electrochemical Science*, c. 3, ss. 177-190, 2008.
- [9] O. Nese, "Corrosion properties of AA5083 and AA6082 in seawater – effect of temperature, Ph and potential", Yüksek lisans tezi, Department of Engineering Design and Materials, Norwegian University of Science and Technology, Norway, 2016.
- [10] H. Gerengi, P. Slepski, E. Ozgan ve M. Kurtay, "Investigation of corrosion behavior of 6060 and 6082 aluminum alloys under simulated acid rain conditions", *Materials and Corrosion*, c. 66, ss. 233-240, 2015.
- [11] M. N. Iman, N.A. Triwibowo, A. Wahyudianto ve M.R. Muslih, "Environmentally assisted fatigue behaviour of stress relieved metal inert gas (MIG) AA5083 welds in 3,5% NaCl solution", *International Journal of Fatigue*, c. 100, ss. 285-295, 2017.
- [12] H. Gerengi, Ç. Akçay, C. Güler ve H. İ. Şahin, "Orman ürünleri endüstrisinde kullanılan fenol ve melamin formaldehit tutkallarının paslanmaz çelik (AISI

- 316L) korozyonuna etkisi”, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, c. 13, ss. 155-161, 2012.
- [13] S. R. Kumar, R. Smart ve J. Alexis, “Corrosion behaviour of Aluminium Metal Matrix reinforced with Multi-wall Carbon Nanotube”, *Journal of Asian Ceramic Societies*, c. 5, ss. 71-75, 2017.
- [14] B. Güngör, E. Kaluç, E. Taban ve A. Şık, “Mechanical and microstructural properties of robotic cold metal transfer (CMT) welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys”, *Materials and Design*, c. 54, ss. 207–211, 2014.
- [15] B. Güngör, E. Kaluç, E. Taban ve A. Şık, “Mechanical, fatigue and microstructural properties of friction stir welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys”, *Materials and Design*, c. 56, ss. 84–90, 2014.
- [16] G. E. Totten ve S. Mackenzie, *Handbook of Aluminum*, c. 1, Physical Metallurgy and Processes, Marcel Dekker Inc, USA, 2003.
- [17] K. Stambekova, H.M. Lin ve J.Y. Uan, “Surface modification of 5083 Al alloy by electrical discharge alloying processing with a 75 mass % Si–Fe alloy electrode”, *Applied Surface Science*, c. 258, sayı 10, ss. 4483–4488, 2012.
- [18] Ö. Çeliker, “Bilyalı Dövme ve Kriyojenik İşlem Uygulanmış Inconel 718 Alaşımının Aşınma Davranışının İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2018.
- [19] M. Uzun, “Kriyojenik İşlem Görmüş Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışının İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2014.
- [20] O. Hatamleh, P. M. Singh ve H. Garmestani, “Corrosion susceptibility of peened friction stir welded 7075 aluminum alloy joints”, *Corrosion Science*, c. 51, ss. 135-143, 2009.
- [21] I. A. Kartsonakis, D.A. Dragatogiannis, E.P. Koumoulos, A. Karantonis ve C.A. Charitidis, “Corrosion behaviour of dissimilar friction stir welded aluminium alloys reinforced with nanoadditives”, *Materials and Design*, c. 102, ss. 56-67, 2016.
- [22] C. Mısırlı, “5083 Kalite Alüminyum Alaşımının Homojenize Edilerek Sertlik Değerlerinin Ve Mikroyapılarının İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2011.
- [23] A. Tevfik Şimşek, “5083 Al-Mg Alaşımının Gerilmeli Korozyonu”, Doktora Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 1997.
- [24] B. Güngör, “AW 5083-H111 Ve AW 6082-T651 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma (FSW) Ve Robotik CMT-MIG Kaynak Yöntemleri İle Kaynağında Mekanik Ve Metalürjik Özelliklerin İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2013.
- [25] T. Y. Eken, “İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği İle Üretilen Hadde Alüminyum Alaşımının Korozyon Davranışı Ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Fen

Bilimleri Enstitüsü, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2018.

- [26] E. Alp, “Farklı Ortamlarda Alüminyum Korozyonuna Saponin Türevinin İnhibitör Etkisi”, Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye, 2014.
- [27] K. C. Es, “Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çeliklerin Yapılarda Cephe Elemanı Olarak Kullanılabilirlik Şartlarının İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Mimarlık Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [28] İ. Güler, “Corrosion Control Methods In Ships And Advances In Marine Coatings”, Yüksek lisans tezi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [29] M. Abdoullahi, “2024 Alüminyum Alaşımının Korozyonunu Önlemek İçin Kahve Atıklarının(Ekstraktı) Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, 2019.
- [30] M. Yıldız, “Bor İçeren İyonik Sıvıların Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılması”, Yüksek lisans tezi, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2017.
- [31] A. S. Yaro ve H. A. Dahyool, “Corrosion Inhibition of Aluminum Alloy 5083”, *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, c. 10, ss. 19-25, 2009.
- [32] C. M. Abreu, M. J. Cristobal, R. Figueroa ve G. Pena, “Influence of molybdenum ion implantation on the localized corrosion resistance of a high strength aluminium alloy”, *Corrosion Science*, c. 54, ss. 143-152, 2012.
- [33] M. Trueba ve S. P. Trasatti, “Pyrrole-based silane primer for corrosion protection of commercial Al alloys. Part II. Corrosion performance in neutral NaCl solution”, *Progress in Organic Coatings*, c. 66, ss. 265-275, 2009.
- [34] H. Gerengi, M. M. Solomon, E. Kaya, F. E. Bağcı ve E. J. Abai, “An evaluation of the anticorrosion effect of ethylene glycol for AA7075-T6 alloy in %3.5 NaCl solution”, *Measurement*, c. 116, ss. 264-272, 2018.
- [35] M. Dilek, “Mechanical Properties of Different Aluminum Alloys Joined By Friction Stir Welding”, Yüksek lisans tezi, Makina Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2006.
- [36] E. Kaya, “Kriyojenik (Buzul) İşlem Uygulanmış Mikro Alaşımlı Çeliklerin Tribolojik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2016.
- [37] P. I. Patil ve R. G. Tated, “Comparison of Effects of Cryogenic Treatment on Different Types of Steels : A Review”, *IJCA Journal*, c. 9, ss. 10-29, 2012.
- [38] T. S. Vinothkumar, R. Miglani ve L. Lakshminarayanan, “Influence of Deep Dry Cryogenic Treatment on Cutting Efficiency and Wear Resistance of Nickel–Titanium Rotary Endodontic Instruments”, *Journal of Endodontics*, c. 33, ss. 1355-1358, 2007.
- [39] D. Anooshiravani, T. A. Svec, K. White ve J. M. Powers, “OR 2 Effects of cryogenic treatment on wear resistance of endodontic stainless steel files”,

*Journal of Endodontics*, c. 25, ss. 282, 1999.

- [40] Y. Arslan, “Kriyojenik İşlemin AISI D3 Soğuk İş Takım Çeliğinin Performansına Etkilerinin İncelenmesi”, Doktora tezi, Makina Eğitimi Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [41] A. Takmaz, “Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin İşlenebilirliğe Etkisinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu”, Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.
- [42] H. Singh, B. S. Ubhi ve H. Lal, “Improvement In The Corrosion Rate And Mechanical Properties Of Low Carbon Steel Through Deep Cryogenic Treatment”, *International Journal of Scientific & Technology Research*, c. 2, sayı 6, 2013.
- [43] A. R. Jha, “Cryogenic Technology and Applications”, *Elsevier Academic Press*, c. 21, ss. 411-417, 2006.
- [44] T. Sonhar, S. Lomte ve C. Gogte, “Cryogenic Treatment of Metal – A Review”, *Materials Today: Proceedings*, c. 5, ss. 25219-25228, 2018.
- [45] M. Pellizzari ve A. Mollinari, *Proceedings of the 6th International Tooling Conference*, Karlstad University, Sweden, 2002, 657-669.
- [46] N. A. Özbek, A. Çiçek, M. Gülesin ve O. Özbek, “Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 86, ss. 34-43, 2014.
- [47] C. Gogte, A. Likhite, D. Peshwe, A. Bhokarikar ve R. Shetty, “Effect of cryogenic processing on surface roughness of age hardenable AA6061 alloy”, *Materials and Manufacturing Processes*, c. 29, ss. 710-714, 2014.
- [48] S. Sendooran, “Metallurgical Investigation On Cryogenic Treated Hss Tool”, *International Journal of Engineering Science and Technology*, c. 3, sayı 5, ss. 3992-3996, 2011.
- [49] D. Herring, *Industrial Heating – A Comprehensive Guide To Heat Treatment*, 1. baskı, c. 1, Michigan, USA: BNP Media, 2005, ss. 112-132.
- [50] A. Yong, K. Seah ve M. Rahman, “Performance of cryogenically treated tungsten carbide tools in milling operations”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 32, ss. 638-643, 2007.
- [51] F. Diekman, “Cold and Cryogenic Treatment of Steel”, *Steel Heat Treating Fundamentals and Processes-ASM Handbook*, 1. baskı, c. 4(A), Ohio, USA: ASM International, 2013, ss. 390-396.
- [52] Z. Pu, S. Yang, G. –L. Song, O. W. Dillon Jr., D. A. Puleo ve I. S. Jawahir, “Ultrafine-grained surface layer on Mg–Al–Zn alloy produced by cryogenic burnishing for enhanced corrosion resistance”, *Scripta Materialia*, c. 65, ss. 520-523, 2011.
- [53] P. Baldissera ve C. Delprete, “Deep cryogenic treatment of AISI 302 stainless steel: Part II – Fatigue and corrosion”, *Materials and Design*, c. 31, ss. 4731-4737, 2010.
- [54] H. Wang, C. Ning, Y. Huang, Z. Cao, X. Chen ve W. Zhang, “Improvement of

- abrasion resistance in artificial seawater and corrosion resistance in NaCl solution of 7075 aluminum alloy processed by laser shock peening”, *Optics and Laser in Engineering*, c. 90, ss. 179-185, 2017.
- [55] P. Prabhuraj ve S. Rajakumar, “Experimental investigation on corrosion behavior of friction stir welded AA7075-T651 aluminium alloy under 3,5% wt NaCl environment”, *Materials Today: Proceedings*, c. 6, ss. 23210-23221, 2020.
- [56] F. Yang, H. Kang, E. Guo, R. Li, Z. Chen ve Y. Zeng, “The role of nickel in mechanical performance and corrosion behaviour of nickel-aluminium bronze in 3,5 wt.% NaCl solution”, *Corrosion Science*, c. 139, ss. 333-345, 2018.
- [57] N. Vasudevan, G. B. Bhaskar, A. R. Prasad ve S.M. Suresh, “Corrosion study on AA5083 aluminum alloy - boron carbide composite”, *Materials Today: Proceedings*, c. 16, ss. 1124-1129, 2019.
- [58] B. Zhang, W. Xu, Q. Zhu, Y. Sun ve Y. Li, “Mechanically robust superhydrophobic porous anodized AA5083 for marine corrosion protection”, *Corrosion Science*, c. 158, 108083, 2019.
- [59] A. V. Jebaraj, K. V. V. Aditya, T. S. Kumar, L. Ajaykumar ve C.R. Deepak, “Mechanical and corrosion behaviour of aluminum alloy 5083 and its weldment for marine applications”, *Materials Today: Proceedings*, c. 22, ss. 1470-1478, 2020.
- [60] J. Zhou, J. Li, S.Xu, S.Huang, X. Meng, J. Sheng, H. Zhang, Y. Sun ve A. Feng, “Improvement in fatigue properties of 2024-T351 aluminum alloy subjected to cryogenic treatment and laser peening”, *Surface and Coatings Thecnology*, c. 345, ss. 31-39, 2018.
- [61] L. Pan, A. Zhang, Z Zheng, L. Duan, L Zhang, Y. Shi ve J. Tao, “Enhancing interfacial strength between AA5083 and cryogenic adhesive via anodic oxidation and silanization”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, c. 84, ss. 317-324, 2018.
- [62] S. Singh ve G. Dhuria, “Investigation of post weld cryogenic treatment on weld strength in friction stir welded dissimilar aluminium alloys AA2014-T651 and AA7075-T651”, *Materials Today: Proceedings*, c. 4, ss. 8866-8873, 2017.
- [63] S. Yuan, W. Cheng, W. Liu ve Y. Xu, “A novel deep drawing process for aluminum alloy sheets at cryogenic temperatures”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 284, ss. 116746, 2020.
- [64] S. Tian, W. Chen, S. Chen, Y. Gu, X. Gong ve X. Zhan, “The effect of cryogenic applications on tensile strength of aluminum 2219-T87 T-joint welded by dual laser-beam bilateral synchronous welding”, *Journal of Manufacturing Precesses*, c. 56, ss. 777-785, 2020.
- [65] K. Liu, X. Chen, Q. Shen, Z. Pan, R. A. Singh, S. Jayalakshmi ve S. Konovalov, “Microstructural evolution and mechanical properties of deep cryogenic treated Cu–Al–Si alloy fabricated by Cold Metal Transfer (CMT) process”, *Materials Characterization*, c. 159, ss. 110011, 2020.
- [66] A. Bansal, A. K. Singla, V. Dwivedi, D. K. Goyal, J. Singla, M. K. Gupta ve G. M. Krolczyk, “Influence of cryogenic treatment on mechanical performance of friction stir Al-Zn-Cu alloy weldments”, *Journal of Manufacturing Processes*, c. 56, ss. 43-53, 2020.

- [67] A. S. El-Amoush, "Investigation of corrosion behaviour of hydrogenated 7075-T6 aluminum alloy", *Journal of Alloys and Compounds*, c. 443, ss. 171-177, 2007.
- [68] H. B. Shao, J. M. Wang, Z. Zhang, J. Q. Zhang ve C. N. Cao, "The cooperative effect of calcium ions and tartrate ions on the corrosion inhibition of pure aluminum in an alkaline solution", *Materials Chemistry and Physics*, c. 77, ss. 305-309, 2002.
- [69] M. A. Amin ve K. F. Khaled, "Copper corrosion inhibition in O<sub>2</sub>-saturated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions", *Corrosion Science*, c. 52, sayı 4, ss. 1194-1204, 2010.
- [70] H. Gerengi, G. Bereket ve M. Kurtay, "A morphological and electrochemical comparison of the corrosion process of aluminum alloys under simulated acid rain conditions", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, c. 58, ss. 509-516, 2016.
- [71] J. Li, L. Ecco, A. Ahniyaz ve J. Pan, "Probing electrochemical mechanism of polyaniline and CeO<sub>2</sub> nanoparticles in alkyd coating with in-situ electrochemical-AFM and IRAS", *Progress in Organic Coatings*, c. 132, ss. 399-408, 2019.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Doğancan UZ  
Doğum Tarihi ve Yeri :  
Yabancı Dili : İngilizce (TOEFL İbt: 72 – YÖKDİL: 70)  
E-posta :

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2021
Lisans	Makine Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2017
Lise	Sayısal	Düzce Arsal Anadolu Lisesi	2011

## YAYINLAR

H. Gerengi, İ. Uygur, M. Yıldız, D. Uz, 2019, “The effect of cryogenic treatments on pitting corrosion susceptibility of AA5083-H111 in 3,5% NaCl environment”, 16th International Conference on Tribology (SERBIATRIB ‘19), University of Kragujevac, Kragujevac-Sırbia, Oral presentation book, Page: 254-258.