

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK/BAKIR MERDANE ÇİFTİ KULLANILARAK İKİZ
MIRDANE SÜREKLİ DÖKÜM TEKNİĞİ İLE ÜRETİLEN 3105
ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

SEVAL AKSOY AYDIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK/BAKIR MERDANE ÇİFTİ
KULLANILARAK İKİZ MERDANE SÜREKLİ
DÖKÜM TEKNİĞİ İLE ÜRETİLEN 3105
ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KOROZYON
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

SEVAL AKSOY AYDIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. ERDEM ATAR

GEBZE
2023

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**INVESTIGATION OF CORROSION
PROPERTIES OF 3105 ALUMINUM ALLOY
PRODUCED BY TWIN ROLL CONTINUOUS
CASTING TECHNIQUE USING
STEEL/COPPER ROLL PAIR**

SEVAL AKSOY AYDIN
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
**DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND
ENGINEERING**

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. ERDEM ATAR

GEBZE
2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 13/07/2023 tarih ve 2023/39 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/07/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Seval AKSOY AYDIN'ın tez çalışması Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Erdem ATAR

ÜYE

: Prof. Dr. Koray ÖZTÜRK

ÜYE

: Prof. Dr. Behiye YÜKSEL

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu tez çalışmasında, inşaat sektöründe kompozit panel, yağmur oluğu ve panjur-garaj kapısı gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılan 3105 alüminyum alaşımı, aynı anda farklı katılma hızlarını sağlayacak şekilde çelik ve bakır malzemelerden imal edilen ikiz merdane sürekli döküm tekniği ile levha formunda üretilmiştir. Farklı katılma hızının, 3105 alüminyum alaşımının alt ve üst yüzeyinin mikroyapısına ve korozyon davranışlarına etkileri incelenmiştir.

Farklı termal iletkenlik değerlerine sahip çelik ve bakır merdane çifti kullanılarak üretilen 3105 alüminyum alaşımının mikroyapısal incelemeleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM), atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve optik mikroskop (OM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alaşımın iki yüzeyinde, matriste dağılan intermetaliklerin elementel haritalama ve nokta EDS analizleri çıkarılmıştır. Yüzeylerin elektrik iletkenlik değerleri ölçülmüştür. 3105 alüminyum alaşımının AFM/SKPFM (Taramalı Kelvin Prob Kuvvet Mikroskobu) ile volta potansiyel haritaları oluşturulmuştur. Yüzeylerin elektrokimyasal davranışlarını belirlemek için açık devre potansiyeli (OCP) ölçümü, 1 M NaCl çözeltisi içerisinde yapılmıştır. OCP testi sonrası, bakır merdane ile temas eden yüzeyin, çelik merdane ile temas eden yüzeye göre 42 mV daha pozitif bir korozyon potansiyel değeri sergileyerek daha soy davrandığı gözlemlenmiştir. Korozyon hızlarının belirlenmesi için potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri ve daldırma korozyon testleri sırasıyla, 1 M ve 0,1 M NaCl çözeltileri içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu test sonuçlarına göre, çelik merdane ile temas eden yüzeyin, bakır merdane ile temas eden yüzeye göre belirtilen testlerde sırasıyla, %22 ve %50 daha yüksek korozyon hızı sergilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3105 Alüminyum Alaşımı, İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği, Katılma Hızı, Korozyon, Mikroyapı Karakterizasyonu.

SUMMARY

In this thesis, 3105 aluminum alloy sheet widely used in construction applications such as composite panel, rain gutter and shutter-garage door, was produced by twin roll continuous casting technique including steel and copper roller pairs providing different solidification rates at the same time. The effects of different solidification rates on the microstructure and corrosion behavior of the upper and lower surfaces of 3105 aluminum alloy were investigated.

Microstructural investigations of 3105 aluminum alloy produced by using steel and copper roller pairs with different thermal conductivity values were carried out using scanning electron microscope (SEM), atomic force microscope (AFM) and optical microscope (OM). Elemental mapping and point EDS analyzes of intermetallics dispersed in the matrix were performed on both surfaces of the alloy and surface electrical conductivity values were measured. Volta potential maps were measured with AFM/SKPFM (Scanning Kelvin Probe Force Microscope). For determining electrochemical behavior of the surfaces, open circuit potential (OCP) measurement was made in 1 M NaCl solution. OCP test showed that the surface in contact with the copper roller behaved more noble by exhibiting a 42 mV more positive corrosion potential value than the surface in contact with the steel roller. Corrosion rates were determined by potentiodynamic polarization measurements and immersion corrosion tests performed in 1 M and 0.1 M NaCl solutions, respectively. The results showed that, the surface in contact with the steel roller exhibited 22% and 50% higher corrosion rates, respectively, than the surface in contact with the copper roller.

Keywords: 3105 Aluminum Alloy, Twin Roll Continuous Casting Technique, Solidification Rate, Corrosion, Microstructure Characterization.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve yüksek lisans eğitimim boyunca, değerli yardım ve yönlendirmeleri ile bana yol gösteren ve desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Erdem ATAR'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yaptığım çalışmalar süresince bilgi ve tecrübeleri ile bana destek olan Sayın Cemil IŞIKSAÇAN'a, Sayın Hikmet KAYAÇETİN'e ve Sayın Ece HARPUTLU'ya ve deneysel çalışmalarımı gerçekleştirmek için laboratuvar imkanlarını kullanmamı sağlayan Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye ve değerli Ar-Ge ekibine çok teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da beni koşulsuz destekleyen ve her daim yanımda olan kıymetli annem, babam, kardeşim ve eşime teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLOLAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	3
2.1. Alüminyum ve Genel Özellikleri	3
2.2. Alüminyum Alaşımları ve Genel Özellikleri	3
2.2.1. Al Alaşımları ve Sınıflandırılması	5
2.2.1.1. Mekanik İşlem (Dövme) Alüminyum Alaşımlar	5
2.2.1.2. Döküm Alüminyum Alaşımlar	7
2.2.2. Alaşım Elementlerinin Alüminyum Üzerine Etkisi	8
2.2.3. 3XXX Serisi Alüminyum Alaşımları	9
3. ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÜRETİM YÖNTEMLERİ	10
3.1. Alüminyum Üretim Yöntemleri	10
3.1.1. Birincil Üretim Yöntemi	10
3.1.2. İkincil Üretim Yöntemi	10
3.2. Alüminyum Alaşımlarının Üretim Yöntemleri	11
3.2.1. Doğrudan Soğutmalı Döküm Yöntemi (DC-Direct Chill)	11
3.2.2. İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği (TRC-Twin Roll Casting)	11

4. KOROZYON	14
4.1. Mekanizmasına Göre Korozyon Çeşitleri	14
4.1.1. Kimyasal Korozyon	14
4.1.2. Elektrokimyasal Korozyon	14
4.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Davranışları	16
4.3. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarında Meydana Gelen Korozyon Türleri	17
4.3.1. Çukurcuk (Oyuklanma-Pitting) Korozyonu	17
4.3.2. Genel (Uniform) Korozyon	19
4.3.3. Taneler Arası Korozyon	19
4.3.4. Galvanik Korozyon	19
4.3.5. Filiform Korozyon	20
4.4. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarında Korozyonu Etkileyen Faktörler	20
4.4.1. Alaşım Elementlerinin Korozyona Etkisi	21
4.4.2. İntermetaliklerin Boyut, Dağılım ve Kompozisyonu	22
4.4.3. Isıl İşlemin Etkileri	23
4.4.4. Ortam Etkileri	23
4.5. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyona Karşı Korunması	23
4.5.1. Malzeme Seçimi	23
4.5.2. Korozyondan Koruyan Kaplamalar	24
4.5.3. Anotlama (Anodizing)	24
4.5.4. Katodik Koruma	24
4.5.5. İnhibitör Kullanmak	25
5. KOROZYON TESTLERİ	26
5.1. Daldırma Korozyon Testi	26
5.2. Açık Devre Potansiyeli (OCP-Open Circuit Potential)	27
5.3. Potansiyodinamik Polarizasyon Ölçümleri	28
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	29
6.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Numunelerin Üretimi	29
6.2. Mikroyapısal Karakterizasyon Çalışmaları	31
6.2.1. Metalografik İncelemeler İçin Numune Hazırlama İşlemleri	31

6.2.2. Yüzey Mikroyapı İncelemeleri	31
6.2.2.1. Optik Mikroskop ve SEM Çalışmaları	31
6.2.2.2. Elektriksel İletkenlik Ölçümü	31
6.2.3. Elektrokimyasal ve Daldırma Korozyon Testleri	32
6.2.3.1. Açık Devre Potansiyel Ölçümü (OCP)	32
6.2.3.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Ölçümleri	34
6.2.3.3. Daldırma Korozyon Testi	35
6.2.4. Taramalı Kelvin Prob Kuvvet Mikroskop (AFM/SKPFM) Çalışmaları	36
7. DENEYSEL BULGULAR VE İRDELEME	38
7.1. Mikroyapı Çalışma Sonuçları	38
7.2. Korozyon Test Sonuçları	46
7.2.1. Elektrokimyasal Korozyon Test Sonuçları	46
7.2.2. Daldırma Korozyon Test Sonuçları	53
7.3. AFM-SKPFM Sonuçları	54
8. GENEL SONUÇLAR	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	64
EKLER	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
ρ	: Yoğunluk
C	: Santigrat
$^{\circ}$	: Derece
%	: Yüzde
β_a	: Anodik tafel eğimi
β_c	: Katodik tafel eğimi
A	: Alan
Al	: Alüminyum
Al_2O_3	: Alümina
Au	: Altın
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Fe	: Demir
g	: Gram
Ag/AgCl	: Gümüş/Gümüş klorür
HF	: Hidrojen florür
H_2S	: Hidrojen sülfür
Hz	: Hertz
Cr	: Krom
Cl-	: Klorür
kV	: Kilovolt
E_{kor}	: Korozyon potansiyeli
I_{kor}	: Korozyon akımı
i_{kor}	: Korozyon akım yoğunluğu
Mn	: Mangan
Mg	: Magnezyum
Mg_2Si	: Magnezyum silisit
M	: Molar

MHz	: Megahertz
mm	: Milimetre
mA	: Miliamper
mV	: Milivolt
MS	: Mili Siemens
μm	: Mikrometre
μA	: Mikroamper
nm	: Nanometre
N	: Newton
O ₂	: Oksijen
R _p	: Polarizasyon direnci
sn	: Saniye
cm ²	: Santimetrekare
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum karbür
NaCl	: Sodyum klorür
Ti	: Titanyum
V	: Volt
ağ.%	: Ağırlık%
at.%	: Atomik%
ASTM	: Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
DC	: Direct Chill Casting- Doğrudan Soğutmalı Döküm
EDS	: Enerji Dağılımı X Işını Spektroskopisi
EW	: Equivalent Weight- Eşdeğer ağırlık
OCP	: Open Circuit Potential- Açık Devre Potansiyeli
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SKPFM	: Taramalı Kelvin Prob Kuvvet Mikroskobu
SCE	: Doygun Kalomel Elektrot
TRC	: Twin Roll Casting- İkiz Merdane Döküm

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: İkiz merdane sürekli döküm üretim yöntemi.	12
3.2: DC ve TRC proses şeması.	13
4.1: Korozyon hücresinin şematik gösterimi.	15
4.2: %0,2 mangan içeren alüminyum alaşımının üzerinde bulunan oksit tabakası.	16
4.3: AA 2050 T8 alaşımında oluşan pitting korozyonu.	18
4.4: Döküm alüminyum numunesinde görülen çukurcuk korozyonu.	18
4.5: Alüminyumun uğradığı galvanik korozyon.	19
4.6: Filiform korozyon örneği.	20
5.1: Tafel ekstrapolasyon grafiği.	28
6.1: 3105 alüminyum alaşımına ait üretim akış şeması.	30
6.2: Fischer Sigmascopie marka elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı ile numuneye yapılan ölçümün örnek gösterimi.	32
6.3: Elektrokimyasal korozyon testlerinde kullanılan korozyon test hücresi.	33
6.4: Daldırma korozyon testi deney düzeneği.	36
7.1: 3105 alaşımının a) Bakır, b) Çelik merdane ile temas eden yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri.	39
7.2: 3105 alaşımı yüzeyden SEM görüntüleri a), c), e) Bakır merdane ile temas, b), d), f) Çelik merdane ile temas yüzeyi (korozyon öncesi).	41
7.3: Bakır merdane ile temas eden yüzeydeki intermetalikler için elementel haritalama ve nokta EDS analiz sonuçları.	42
7.4: Çelik merdane ile temas eden yüzeydeki intermetalikler için elementel haritalama ve nokta EDS analiz sonuçları.	43
7.5: Çelik merdane ile temas eden yüzeydeki dikdörtgen morfolojideki intermetalik için elementel haritalama ve nokta EDS analiz sonuçları.	44
7.6: 3105 alüminyum alaşımının çelik ve bakır merdaneler ile temas eden yüzeylerinin OCP sonuçları.	46

7.7:	3105 alüminyum alaşımının bakır ve çelik merdaneler ile temas eden yüzeylerinin tafel ekstrapolasyon grafikleri.	48
7.8:	(a-c) Bakır merdane, (b-d) Çelik merdane ile temas eden yüzey-korozyon sonrası yüzeyden optik mikroskop görüntüleri.	49
7.9:	(a-c-e) Bakır merdane, (b-d-f) Çelik merdane ile temas eden yüzey-korozyon sonrası SEM görüntüleri.	51
7.10:	a) Bakır merdane, b) Çelik merdane ile temas eden yüzey-korozyon sonrası enine kesit optik mikroskop görüntüleri.	52
7.11:	a) Bakır merdane, b) Çelik merdane ile temas eden yüzey-korozyon sonrası enine kesit optik mikroskop görüntüleri.	52
7.12:	a) Bakır merdane, b) Çelik merdane ile temas eden yüzey-enine kesit optik mikroskop görüntüleri.	54
7.13:	(a-c) Bakır merdane, (b-d) Çelik merdane ile temas eden yüzey-yüzeyden optik mikroskop görüntüleri.	54
7.14:	Bakır ve çelik merdaneler ile temas eden yüzeylere ait sırası ile a) ve c) Yüzey topografya, b) ve d) Volta potansiyel harita ölçüm yüzey görüntüleri.	55
7.15:	3105 alüminyum alaşımı bakır ve çelik merdane ile temas yüzeyleri matris-intermetalik volta potansiyel farkları (V).	56
7.16:	3105 alüminyum alaşımı bakır ve çelik merdane ile temas yüzeyleri matris-intermetalik volta potansiyel farkları (mV).	57

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Al metalinin temel fiziksel özellikleri.	3
2.2: Mekanik işlem (dövme) alüminyum alaşımları simgeleme tablosu.	6
2.3: Döküm alüminyum alaşımları simgeleme tablosu.	7
2.4: Alüminyum alaşımlarının ısıtılma kod gösterimleri.	8
6.1: Çelik/bakır merdane çifti kullanılarak üretilmiş 3105 alüminyum alaşımlarının katılma temas yüzeylerine ait kimyasal bileşimler.	30
7.1: İncelenen yüzeylerin potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile belirlenen korozyon potansiyeli (E_{kor}), korozyon akımı (I_{kor}), korozyon akım yoğunluğu (i_{kor}), polarizasyon direnci (R_p) ve korozyon hız (mm/yıl) değerleri.	48
7.2: Daldırma korozyon testi sonuçlarına göre hesaplanan korozyon hızları.	53

1. GİRİŞ

Alüminyum, sahip olduğu yüksek mukavemet, üstün korozyon direnci, yüksek derecede ısı ve elektrik iletkenliği, kolay şekillendirilme gibi özellikleriyle inşaat, savunma sanayi, havacılık sektörü, elektrik-elektronik, tüketici ürünleri ve ambalajlama gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

Saf alüminyuma alaşım elementleri ilave edilerek alüminyumun sahip olduğu mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikler daha da geliştirilebilmekte, sektörlerin alüminyumdan beklentileri karşılanabilmektedir.

Alüminyum alaşımlarının hafiflikleri, yüksek mukavemetleri ve korozyona karşı dirençleri nedeniyle uçak ve havacılık endüstrilerinin yanı sıra gemiler ve taşıtlar, elektrik enerjisi dahil olmak üzere birçok endüstride kullanımı yaygınlaşmaktadır. Alüminyum alaşımları, yüksek termal iletkenlik katsayılarına, yüksek ısı verimliliğine ve geniş kaynak kabiliyetine sahiptir [1].

Alüminyum alaşımları; 1XXX, 2XXX, 3XXX, 4XXX, 5XXX, 6XXX, 7XXX gibi serilerden oluşur. Bu gösterim şeklinde ilk rakam, alüminyumun hangi temel alaşım elementinden oluştuğunu göstermektedir. Bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinko, alüminyum alaşımlarını oluşturmak için kullanılan başlıca elementlerdendir.

Asıl alaşımlama elementi mangan olan 3XXX serisi alüminyum alaşımları; ambalajlama, otomotiv endüstrisi ve inşaat sektöründe dış cephe kaplamaları gibi geniş bir yelpazede kendisine kullanım alanı bulmaktadır.

3XXX serisi alüminyum alaşımları içerisinde, mangan ilavesinin yanı sıra magnezyum ilavesi ile oluşturulan 3105 alüminyum alaşımı, dövme alüminyum alaşım çeşitlerinden olup birçok farklı sektörde özellikle de dış cephe ürünleri olarak levha formunda yaygın olarak kullanılmaktadır.

3105 alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu ve üretim prosesi, bu malzemelerin mikroyapıları ile korozyon davranışı gibi kimyasal özellikleri üzerinde son derece önemli bir etkiye sahiptir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Günümüzde, 3105 alüminyum alaşımlı levha malzemelerin önemli bir kısmının dökümü, ikiz merdane sürekli döküm tekniği ile gerçekleştirilmektedir. Bu üretim yönteminde, merdane çifti kullanılmaktadır. Bu merdaneler, sıvı metalin katılaşmasını sağlamaktadır. Belirtilen üretim yönteminde kullanılan ve katılaşmayı sağlayan merdaneler, genellikle çelikten üretilmektedir. Bazı dönemlerde artan alüminyum alaşım ürün ihtiyacının karşılanması gerekmektedir. Bu ihtiyacı hızlı şekilde karşılamak amacıyla çelik merdanelerden birisi yerine bakır merdane kullanılmaktadır. Temel yaklaşım olarak merdanelerden birisinin bakır kullanılmasıdaki amaç; bakırın yüksek termal iletkenliğinden yararlanıp alüminyum alaşımın katılaşma hızını ve buna bağlı olarak döküm hızı ve verimliliğini artırmaktır.

Yüksek termal iletkenliğe sahip olması bakır, döküm malzemesi için tercih edilen bir aday haline getirmektedir [2].

Bu üretim yönteminde katılaşan alüminyum alaşım levhanın üst ve alt yüzeyi, termal iletkenlik değeri farklı olan iki ayrı malzeme ile (çelik ve bakır) temas ederek katılaştığından, iki yüzeyde farklı mikroyapısal özellikler görülebilmektedir. Aynı malzemenin iki yüzeyindeki bu mikroyapısal farklılıkların, alaşımlı levhanın alt ve üst yüzeyindeki korozyon özelliklerine etkisini incelemek ve yüzeylerin korozyon hız ve davranışlarının kıyaslanması çalışmanın amaçlarındandır.

Bu tez kapsamında, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının genel özelliklerinden ve üretim yöntemlerinden bahsedilmiştir. 3105 alaşımının genel özellikleri ve kullanılan üretim tekniği üzerinde durulmuştur. Alüminyum ve alüminyum alaşımların korozyon davranışları ile bu malzemelerde meydana gelen korozyon türleri araştırılmıştır. Alüminyum ve alaşımlarında korozyonu etkileyen parametrelerden ve bu malzemeleri korozyondan koruyabilmek için alınabilecek önlemlerden bahsedilmiştir. 3105 alüminyum alaşım levhanın iki yüzeyi için de ayrı ayrı yapılan deneysel çalışmalar ile elde edilen bulgular ve sonuçlara tez çalışmasında yer verilmiştir.

2. ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1. Alüminyum ve Genel Özellikleri

Yer kabuğunda oksijen ve silisyumdan sonra en bol bulunan üçüncü element alüminyumdur. “Al” sembolü ile gösterilmektedir.

Tablo 2.1’de Al metalinin temel fiziksel özellikleri belirtilmiştir [3].

Tablo 2.1: Al metalinin temel fiziksel özellikleri.

Özellik	Değer
Atom Numarası	13
Yoğunluk, (ρ) (kg/m^3)	2698
Ergime Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	660,45
Termal İletkenlik (λ) ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	237 (27 $^{\circ}\text{C}$ ’de)
Özgül Isı, (C_p) ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	897 (25 $^{\circ}\text{C}$ ’de)
Poisson Oranı (ν)	0,33

Alüminyum, hafif bir metaldir ve gümüş renkte parlak bir görünüme sahiptir. Alüminyumun birçok farklı sektörde kullanım alanı vardır. Bu sebeple alüminyum, çelikten sonra ikinci sırada tercih edilen bir malzemedir.

Elektriksel iletkenliğinin yüksek olması, korozyona karşı güçlü bir yapısının olması, sünekliği ve yumuşak oluşu alüminyumun önemli özelliklerindendir. Bunun yanında alüminyumun geri dönüştürülebilirlik özelliği de vardır. Alüminyumun avantaj sağlayan belirtilen özellikleri, bu metalin farklı birçok alanda kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Alüminyumun kullanım alanları arasında, savunma sanayi, gıda ve ambalaj malzemeleri, dış cephe uygulamaları, otomotiv ve inşaat sektörü, makine ekipmanları, elektrik-elektronik alanları yer almaktadır.

2.2. Alüminyum Alaşımları ve Genel Özellikleri

Alüminyum alaşımları, alüminyumun esas metal olduğu alaşımlardır. Saf elementlerin fayda sağlayan özellikleri daha sınırlı olmaktadır. Bu sebeple, alüminyum daha çok alüminyum alaşımları şeklinde kullanılmaktadır.

Alüminyumun yapısına eklenen başlıca alaşım elementleri:

- Bakır,
- Silisyum,
- Çinko,
- Magnezyum,
- Mangan 'dır.

Farklı ve çeşitli birçok ürün ortaya çıkması, alüminyumun üretim kapasitesinin artması, alaşım yapma işleminin avantajlarından olmuştur.

Alaşım yapmak için kullanılan elementler, malzemeye farklı özellikler katmaktadır. Mikroyapıyı da değişik şekillerde etkileyen bu elementlerden Cu içermeyen Al alaşımları seçilerek korozyona afinitesi düşük olan, ancak yüksek mukavemet gerektirmeyen özellikte malzeme seçilebilmektedir [4].

Alüminyum alaşımlarının genel özellikleri şu şekildedir:

- Korozyon dirençleri yüksektir.
- Hafiflerdir.
- Elektrik iletkenlikleri yüksektir.
- İşlenebilirlik ve kaynak kabiliyeti özellikleri iyidir.
- Isıl iletkenlikleri yüksektir.

Alüminyum alaşımları sahip oldukları üstün özelliklerden dolayı birçok farklı sektörde kullanım alanına sahiptir. Bu sektörlerin başlıcaları şu şekildedir:

- İnşaat sektörü,
- Havacılık sektörü,
- Savunma sanayi,
- Taşıt araçları,
- Tüketici ürünleri ve ambalajlama,
- Elektrik- elektronik uygulamaları.

Alüminyum alaşımlarının hafif ve estetik oluşu ve mukavemetlerinin yüksek olması, inşaat sektöründe bu malzemelerin kullanım alanlarını artırmaktadır. Kapı ve

pencerelerde, çatı ve cephe kaplamalarda, merdivenlerde alüminyum alaşımı malzemeler tercih edilmektedir.

Düşük yoğunluk değerlerine sahip olan Al alaşımları, yüksek mukavemet değerlerine sahip olmaları sebebiyle havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır [5].

Alüminyum alaşımlarının hafif olması sebebiyle bu malzemeler; meşrubat ve konserve kutuları, alüminyum folyo gibi uygulamalar ile ambalajlama sektöründe de kullanım alanına sahiptir.

2.2.1. Al Alaşımları ve Sınıflandırılması

Mekanik işlem (dövme) alaşımları ve döküm Al alaşımlar olarak iki tür sınıflandırma, bu alaşım türleri için yapılmaktadır. Yapılan sınıflandırmada dört basamak içeren bir simgeleme yer almaktadır.

Bu şekilde iki sınıfa ayrılan Al alaşımları, ısıtıl işlem yapıp yapılamama durumuna göre de değerlendirilip gruplandırılmaktadır.

2.2.1.1. Mekanik İşlem (Dövme) Alüminyum Alaşımlar

Dövme alüminyum alaşımlarının, plastik deformasyon kabiliyeti iyidir ve kolayca şekil alabilirler.

Alüminyum Birliği, alaşım gruplarını simgelemek için dört basamaktan oluşan bir simgesel yöntem geliştirmiştir ve geliştirilen yöntem, mekanik işlem (dövme) alüminyum alaşım türlerinde en fazla tercih edilen yöntemdir.

Mekanik işlem(dövme) alüminyum alaşımların simgeleme tablosu Tablo 2.2’de verilmiştir [6].

Dört basamaktan oluşan sayısal simgenin ilk rakamı, alaşımın hangi temel alaşım elementine sahip olduğunu göstermektedir. İkinci rakam, orijinal alaşımın modifikasyonunu belirtmekte kullanılmaktadır. Son iki basamak ise alüminyumun saflığını göstermektedir [7].

Dövme alüminyum alaşımlarından 2XXX, 6XXX, 7XXX ve 8XXX serilerine ısıtıl işlem uygulanabilmektedir. Bu alaşım serilerine ısıtma ve soğutma, kontrol dahilinde yapılabilmekte ve mukavemetleri iyileştirilebilmektedir.

Tablo 2.2: Mekanik işlem (dövme) alüminyum alaşımları simgeleme tablosu.

Simge	Temel Alaşım Elementi
1XXX	Saf Alüminyum (Al > %99)
2XXX	Al-Cu
3XXX	Al-Mn
4XXX	Al-Si
5XXX	Al-Mg
6XXX	Al-Mg-Si
7XXX	Al-Zn
8XXX	Al-Diğer Elementler

Tablo 2.2’de belirtilen alüminyum alaşımlarının genel özellikleri şu şekildedir:

1XXX: Saf alüminyum aile grubu bu simge ile gösterilir. Alüminyuma alaşımlama yapılmamıştır. Bu serinin elektriksel iletkenlik ve şekillendirilebilirlik özellikleri yüksektir.

2XXX: Asıl alaşım elementi bakırdır.

2024 alaşımı bu seride en fazla kullanılan alaşımlardandır. Havacılık ile otomotiv alanlarında çok tercih edilen alaşım türüdür [8].

3XXX: Ağırlıkça en fazla mangan elementi içermektedir. Bu seride yer alan 3105, 3003 ve 3005 için işlenebilme kapasiteleri ve korozyona karşı koyma özellikleri iyidir. Bu alaşım türleri, genel olarak konstrüksiyon ile mimari uygulamalarda kullanılmaktadır [8].

4XXX: Asıl alaşım elementi silisyumdur. Silisyum ilavesi ile alaşımda kaynak ve lehimleme kabiliyeti iyileşmektedir [8].

5XXX: Asıl alaşım elementi magnezyum olan alaşımlardır. Bu serideki alaşımların dayanımı, alaşımda bulunan magnezyum miktarına göre değişmektedir [8].

6XXX: Bu alaşım türleri belirli oranlarda magnezyum ve silisyum elementleri içermektedir. Bu sebeple Mg_2Si çökeltisi oluşturmaktadır. 6061 alaşımı yaygın olarak kullanılan alaşımlardan biridir [8].

7XXX: Bu alaşım türünün asıl elementi çinkodur.

8XXX: Özellikle Lityum kullanılan alaşım türüdür.

2.2.1.2. Döküm Alüminyum Alaşımlar

Döküm alüminyum alaşımlar, işlenebilirlik özellikleri iyi olan alaşımlardır. Farklı döküm yöntemleri ile üretilebilmektedirler.

Döküm alüminyum alaşımlar,

- Kum kalıp ile gerçekleştirilen döküm,
- Kum kalıba döküm pres uygulanarak yapılan döküm,
- Sabit kalıpta döküm, ile üretilirler.

Döküm alüminyum alaşımlar için kullanılan simgeleme yapısı da dövme alüminyum alaşımların yöntemine benzerdir. Dört rakamdan oluşan ve son rakam bir öncekinden nokta ile ayrılan simgeleme metodu, bu alaşım türlerinde kullanılmaktadır. Tablo 2.3' te döküm alüminyum alaşımların simgeleme yöntemi belirtilmiştir [6].

Tablo 2.3: Döküm alüminyum alaşımları simgeleme tablosu.

Simge	Temel Alaşım Elementi
1XX.X	Saf Alüminyum (Al > %99)
2XX.X	Al-Cu
3XX.X	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si
4XX.X	Al-Si
5XX.X	Al-Mg
6XX.X	Kullanılmayan Dizi
7XX.X	Al-Mg-Zn
8XX.X	Al-Sn

Örnek olarak; belirtilen gösterimde noktanın sol tarafında bulunan iki rakam, yapıda bulunan Al içeriğini göstermektedir. Aynı grupta noktadan sonraki rakam, ürünün şeklini ifade etmektedir. Yapılan sembol kullanımında ilk rakam, Tablo 2.3' te gösterilen temel alaşım elementlerini simgelemektedir. İkinci ve üçüncü rakamlar ise sıralama belirtmek amacıyla kullanılmaktadır [9].

Alüminyum alaşımların bir diğer sınıflandırma yöntemi ise ısıtıl işlem uygulanabilen ve uygulanmayan türler olarak sınıflandırılmalarıdır. Isıtıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarının mukavemetleri yaşlandırma sertleştirilmesi

yapılarak artırılabilirken, ısıl işlem görmeyen alüminyum alaşımları, gerinim sertleşmesine maruz bırakılarak mukavemetleri iyileştirilebilmektedir [10].

2,3,4 ve 7 ile başlayan bu gruptaki serilerine ısıl işlem uygulanabilmektedir.

Alüminyum alaşımlarının ısıl işlem kod gösterimleri Tablo 2.4'te belirtilmiştir [11].

Tablo 2.4: Alüminyum alaşımlarının ısıl işlem kod gösterimleri.

T1	Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve doğal yaşlandırmaya bırakılmış,
T2	Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırmaya bırakılmış,
T3	Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırmaya bırakılmış,
T4	Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve doğal yaşlandırmaya bırakılmış,
T5	Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve suni yaşlandırma yapılmış,
T6	Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırma yapılmış,
T7	Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve aşırı yaşlandırma yapılmış, kararlı hale getirilmiş,
T8	Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış,
T9	Çözeltiye alma işlemi yapılmış, suni yaşlandırma yapılmış ve soğuk şekillendirilmiş,
T10	Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış,

2.2.2. Alaşım Elementlerinin Alüminyum Üzerine Etkisi

- **Bakır:** Alaşıma sertlik kazandıran başlıca elementtir [12].

- **Silisyum:** Alüminyuma silisyum ilave edilmesi ile malzeme korozyona karşı güçlü hale gelmektedir.

Silisyum ile elde edilen alaşımların tane yapıları küçültülerek ve çeşitli değişim işlemleri yapılarak işlenebilme kabiliyetleri geliştirilebilmektedir. Sıvı alüminyumun akışkanlığı, silisyum ile artmaktadır [13].

- **Çinko:** Al' ye magnezyum ile karıştırılıp eklenmesi durumunda malzemenin hadde yeteneğinin artması yanında, çekme ve darbe mukavemeti de iyi yönde etkilenmektedir [12].

- **Magnezyum:** Kullanılan Mg, alüminyum ile oluşturulan alaşımlarına, yüksek korozyona direnç kabiliyeti ile iyi işlenebilirlik özellikleri sunmaktadır [12].

- **Mangan:** Temel alaşım elementi olarak 3XXX serisi alaşımlarda kullanılmaktadır.

Bu elementin eklenmesi, malzemedeki suneklik ve tokluğu artırmaktadır [14].

2.2.3. 3XXX Serisi Alüminyum Alaşımları

3XXX serisi alüminyum alaşımlarının en önemli alaşım elementi mangandır [15].

Alaşım içerisine %Mn ilavesi sonrası malzemenin dayanımı artmaktadır.

Bu serideki, 3003, 3004 ve 3105 alaşımlarının, korozyon direnci ve işlenebilirliği yüksektir. 3XXX serisi alüminyum alaşımları, mükemmel şekil değiştirme ve kaynak kabiliyeti özelliğine sahiptir.

3XXX serisi alaşımlar; dış cephe uygulamaları, otomotiv sektörü, ambalajlama gibi birçok farklı sektörde kullanılmaktadır.

Bu seride yer alan 3003 ve 3105 iyi işlenebilirlik gerektiren uygulama alanlarında çoğunlukla kullanılmaktadır. Özellikle 3003 ve 3105 alaşımları; ısı eşanjörleri, depolama tankları, çatı kaplama ve dış cephe uygulamaları gibi mimari çalışmalarda tercih edilmektedir [15].

Yüksek sıcaklık değeri, malzeme yüzeyinde yırtılma, kabuklanma gibi olumsuzluklara sebep olabilmektedir. Bundan dolayı bu serideki alaşımların uygulama sıcaklıklarına ayrıca dikkat etmek gerekmektedir.

3XXX serisi alüminyum alaşımları içerisinde yer alan 3105 alaşımı, dövme alüminyum alaşım grubundadır. Mn ilavesinin yanı sıra, Mg ilavesi ile oluşturulmaktadır. 3105 alaşım türünün mukavemet özellikleri gelişmiştir ancak, ısı ile yapılan işlemler genel olarak uygulanmamaktadır [16].

3105 alüminyum alaşımı, diğer alüminyum alaşımlarına kıyasla daha yüksek mangan miktarına sahiptir. Bu durum, 3105 alaşımının mukavemet değerlerinin artmasında fayda sağlamaktadır. 3105 alüminyum alaşımının sahip olduğu iyi kaynaklanabilirlik, yüksek mukavemet, korozyona karşı dirençli olması ve soğuk şekillendirme performansının yüksek olması gibi özellikleri, alaşımın en önemli özellikleridir. 3105 alüminyum alaşımlı levha malzemelerin günümüzde önemli bir kısmının dökümü, ikiz merdane sürekli döküm tekniği ile gerçekleştirilmektedir. İkiz merdanelerin elik/elik veya elik/bakır malzemelerden üretildiği eşitleri bulunmaktadır.

3. ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

3.1. Alüminyum Üretim Yöntemleri

Üretim yöntemi olarak alüminyum metali üretimi, birincil ve ikincil üretim ile gerçekleştirilmektedir. Üretim yöntemleri arasında, boksit cevherlerinin kullanıldığı birincil üretim ile hurda alüminyumun tekrar kullanılması ile üretilen ikincil üretim vardır.

3.1.1. Birincil Üretim Yöntemi

Bu üretim yönteminde, boksit cevherinden saf alüminyum elde edilir.

Alüminyumun üretim yöntemlerinden olan birincil üretim yönteminde; boksit cevheri çıkarılır ve bir rafineride alümina (Al_2O_3) elde etmek için Bayer metodu ile işlenir. Sonrasında ise Al_2O_3 , elektroliz ile (Hall-Heroult Prosesi) indirgenmekte ve alüminyum metali elde edilmektedir. Elektroliz prosesinde, elektriksel olarak iletken karbon anot ve katotlara ihtiyaç duyulmaktadır [17].

Elektroliz prosesinin sonunda, sistemde dipte biriken alüminyum alınmakta ve alüminyum eldesi tamamlanmaktadır.

3.1.2. İkincil Üretim Yöntemi

İkincil üretim yönteminde, kullanım ömrünü doldurmuş hurda olarak adlandırılabilen alüminyum malzemeler kullanılmaktadır. İkincil malzemelerin kullanılmadan önce temizlenip ayıklanması gerekir. Çünkü, bu alüminyum malzemeler kendileri dışında diğer malzemeler ve kirliliklerle bir arada bulunmaktadır. Toplandıktan sonra ikincil alüminyum malzemelerin gruplandırılıp ayrılması ve sonrasında ergitilmesi yapılır. İkincil alüminyum ile yapılan üretimde, hurda alüminyum tekrar değerlendirildiği için bu proses çevresel ve ekonomik açıdan faydalı bir üretimdir.

3.2. Alüminyum Alaşımlarının Üretim Yöntemleri

Alüminyum alaşımları temelde iki farklı yöntem ile üretilir. Bu yöntemler:

- Doğrudan Soğutmalı Döküm Yöntemi (DC- Direct Chill Casting)
- İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği (TRC-Twin Roll Casting)

3.2.1. Doğrudan Soğutmalı Döküm Yöntemi (DC-Direct Chill)

Özellikle Al, Mg, Cu ve alaşımlarının külçelerinin döküm tekniğine, doğrudan soğutmalı döküm (DC-Direct Chill Casting) adı verilir. Bu külçeler, silindir veya kare şeklinde olmaktadır. Uygulanan teknik, yarı sürekli bir prosestir.

Yatay ve düşey ingot dökümü olarak ikiye ayrılan üretim yöntemi vardır. Düşey ingot döküm yönteminde, döküm sürekliliği döküm çukuru ile sınırlıdır. Bu sebeple, belirtilen yöntem yarı sürekli dir. Düşey ingot dökümünün otomasyonu zordur ve daha çok çalışan kişi gerektirir. DC döküm yönteminde, tüm ingot boyunca tane boyutu, bileşim ve mekanik özellikler bakımından homojen bir yapının oluşması bu yöntemin avantajlarıdır [18].

Üretim sonrası elde edilen külçelere, haddeleme ve ısı l işlem gibi prosesler uygulanmaktadır.

Bu yöntemle üretilen Al alaşımlar, fazla proses adımına sahiptir ve üretim oldukça maliyetlidir. Bundan dolayı uygulanışı daha kolay ve daha az maliyetli olan üretim yöntemleri araştırılmıştır. Bu amaçla, ikiz merdane sürekli döküm tekniği (TRC-Twin Roll Casting) son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanılan üretim yöntemidir.

3.2.2. İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği (TRC-Twin Roll Casting)

Sıvı metal, nihai ürün haline TRC ile dönüştürülmektedir. Malzeme bir yandan katılaşmaya devam ettiği için sıvı metalin sürekli sisteme gönderilmesi önemlidir. Katılaşan ürün istenilen boylarda kesilmektedir. Bu teknikte, ergimiş metalin arasına beslendiği ve sıvı metalin katılaşmasını sağlayan bir merdane çifti kullanılmaktadır. Kullanılan merdaneler genellikle çelik malzemed en üretilmektedir. Ancak, artan

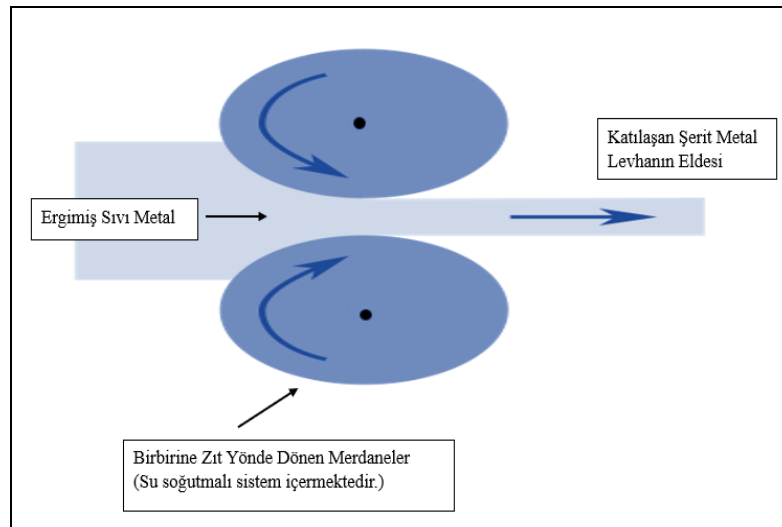
üretim ihtiyaçlarına göre merdanelerden birinin çelik diğer merdanelerin bakır malzeme olduğu hali ile üretim de yapılmaktadır. Merdaneler soğutma işlemini, içlerinden soğutma suyunun geçtiği kanallar ile sağlamaktadır.

Sürekli döküm yöntemi olan ve levha halindeki mamullerin üretiminde özellikle kullanılan ikiz merdane sürekli döküm tekniği, pratik ve ekonomik olması sebebiyle üretimde oldukça tercih edilen bir proses haline gelmiştir.

İkiz merdane sürekli döküm tekniği, ticari alüminyum alaşımlarının endüstriyel ölçekli üretim yöntemleri arasında katılma oranı en yüksek olan döküm yöntemidir [2]. Bu üretim yönteminde, üretilecek malzemeye eş zamanlı olarak katılaştırma ve haddelendirme işlemi yapılmaktadır. Direct Chill- Doğrudan Soğutmalı Döküm tekniğinde uygulanan fazladan sıcak hadde, freze gibi adımlara gerek kalmamaktadır. İkiz merdane sürekli döküm tekniği ile hem daha az zaman ile proses gerçekleşmekte hem de işlem daha ekonomik olmaktadır.

İkiz merdane sürekli döküm tekniği, haddelenmiş alüminyum ürünler üretmek için hem yeni hem de rekabetçi bir yöntemdir. Direct Chill-Doğrudan soğutmalı döküm yöntemine göre daha az atık üreten ve daha az yatırım gerektiren bir yöntem olarak görülmektedir [19].

İkiz merdane sürekli döküm tekniğinin prosesi Şekil 3.1’ de paylaşılmıştır. Belirtilen proseste, ergitilmiş metal birbirine ters yönde dönen ve içerisinden soğutma suyunun sirküle olduğu merdanelerin arasından geçer. Merdanelerin arasına beslenen sıvı metal, diğer taraftan şerit şeklinde alüminyum levha olarak alınır [20].



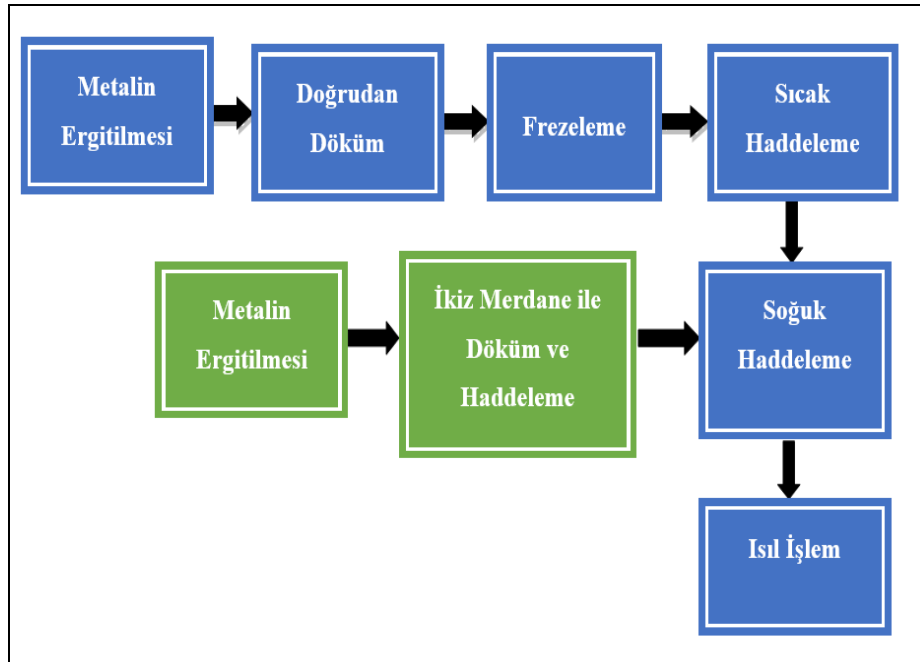
Şekil 3.1: İkiz merdane sürekli döküm üretim yöntemi.

Haddeleme işlemi, plastik şekil verme işlemidir. Bu proseste metal, merdane çiftinin arasından geçirilir ve şekil verme işlemi gerçekleştirilmiş olur. Haddeleme işlemi en fazla kullanılan şekillendirme yöntemlerinden biridir. Çünkü, haddelemede prosesi takip etmek kolaydır. Uygulama hızı ve süreklilik olması da bu şekillendirme yönteminin tercih edilme nedenlerindendir.

İkiz merdane sürekli döküm yöntemi sürecinde, dökümün kalitesini birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörlerin başında; alaşım bileşimi, döküm hızı, sıcaklık ve merdane yüzeyi yer almaktadır.

İkiz merdane sürekli döküm tekniğindeki üretilen malzemenin yüzeyinde hata olmaması için merdanelerin katılaştan alaşım veya metal ile temas sürelerinin, basınçlarının ve beslenen sıvı metalin döküm hızının sürekli denetlenmesi gerekmektedir [21]. İkiz merdane sürekli döküm yönteminin yüksek soğutma hızı sağlaması, alüminyum ve alaşımlarının yapı içerisinde homojen olarak dağılmasını sağlaması, yüksek akış hızına sahip olması ve proses adımlarını kısaltması, avantajları olarak belirtilebilir.

Doğrudan soğutmalı döküm yöntemi ve ikiz merdane sürekli döküm yönteminin proses adımları Şekil 3.2’de kıyaslanmıştır.



Şekil 3.2: DC ve TRC proses şeması.

4. KOROZYON

Malzeme ile bulunduğu ortam arasında kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar olması sonucu malzeme ve özelliklerinin zarar görmesi korozyon olarak tanımlanabilmektedir [22]. Korozyon, yavaş ilerleyen bir reaksiyondur. Malzemenin türü, bulunduğu çevre şartları, malzemenin sahip olduğu kimyasal ve elektrokimyasal özellikler, korozyonun hızı ve malzeme kayıp miktarını etkilemektedir [23].

Korozyona uğrama eğilimi düşük olan malzeme pasif olarak adlandırılabilir. Termodinamik olarak elektron vermesi gereken bir ortamda bulunan metalin, çeşitli sebeplerle bu reaksiyonu gerçekleştirmemesi pasiflik olarak belirtilebilir.

4.1. Mekanizmasına Göre Korozyon Çeşitleri

Elektrokimyasal ve kimyasal korozyon, mekanizmasına göre korozyon çeşitleridir.

4.1.1. Kimyasal Korozyon

Metal ve alaşımlarının korozyonunun nemli veya ıslak olmayan ortamda gerçekleşmesi kimyasal korozyondur. Bu korozyon çeşidi, kuru korozyon olarak da tanımlanmaktadır. Reaksiyon, nemli veya ıslak ortamın bulunmayacağı yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir.

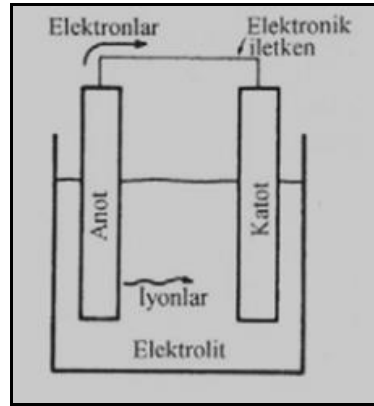
Kimyasal korozyona örnek; yüksek sıcaklıklarda demir ve çelik malzemelerin yüzeylerinde oluşan oksit tabakalarıdır. Genelde metal yüzeyinde, korozyon ürünü olarak oksitler ve sülfürler oluşur.

4.1.2. Elektrokimyasal Korozyon

Elektrokimyasal korozyon, metal ve alaşımlarının sulu ortamlar içerisinde bozunması olayıdır. Bu korozyon türü, ıslak korozyon olarak da adlandırılır.

Anot alandaki yükseltgenme olayı ve katot alandaki redüksiyon da denilen indirgenme tepkimeleri bu tür korozyon olarak açıklanabilir.

Şekil 4.1’de bir korozyon hücresinin şematik gösterimi belirtilmiştir [24].



Şekil 4.1: Korozyon hücresinin şematik gösterimi.

Bir elektrokimyasal hücrenin dört bileşeni vardır [5]:

- anot,
- katot,
- elektronik iletken,
- elektrolit sıvısı.

Bir elektrokimyasal hücrenin temel elemanları ve özellikleri şu şekilde açıklanabilir [5]:

Anot: Devreye elektron veren ve korozyon olan yapıdır. Bu kısımda, metal oksidasyona uğrar ve yükseltgenir.



Katot: Bu reaksiyonda metal indirgenir. Sistemden elektron alan yapıdır.



Elektronik İletken: Devrenin tamamlanması için katot ve anot, hücrede etkileşim halinde olmalıdır. İletken, bu amaç için kullanılır.

Elektrolit: Devreyi tamamlayan iletken yapıdaki çözeltidir. Anot ve katot ile etkileşim halindedir.

Birçok metal, ekstra bir durumun olmadığı koşullarda bile korozyon olayına maruz kalabilmektedir.

Metaller en düşük enerji taşıyan hallerine yani en kararlı oldukları hale dönmek isterler. Uygun bir ortam bulduklarında, sahip oldukları kimyasal enerjiyi verip minimum enerjili hale dönüşmeye çalışırlar. Bundan dolayı, korozyon olayında enerji açığa çıkar ve korozyon reaksiyonu kendiliğinden gerçekleşmeye devam eder.

4.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Davranışları

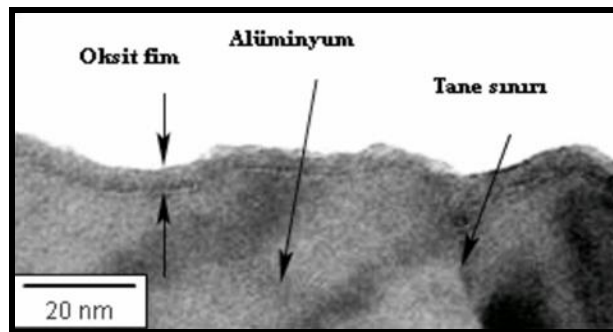
Alüminyum; hafif bir metal olmasının yanında, korozyona karşı dirençli olması ile sağladığı ekonomik faydalar ve kullanım kolaylığı sebebiyle, üretim sektöründe birçok alanda tercih edilmektedir.

Alüminyumun farklı ortamlarda bile üstün korozyon direnci vardır.

Yeni kesilmiş alüminyum, hava alan bir ortamda bırakıldığında hızlı şekilde oksitlenmektedir. Alüminyum yüzeyi, alümina denilen ve metalin daha fazla oksitlenmesini engelleyen bir film ile kaplanmaktadır. Bu da malzemeyi korozyona karşı korumaktadır.

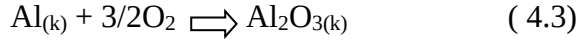
Alüminyum ve alaşımları, yüzeylerinde barındırdıkları ince, koruyucu bariyer oksit tabakası sayesinde korozyona karşı dirençlidirler. Alüminyum, atmosferde bulunan oksijen ile yüzeyinde Şekil 4.2’de görüldüğü gibi ince ve katı bir alüminyum oksit tabakası oluşturarak, metal veya alaşımı diğer korozyonlara karşı korumaktadır.

Şekil 4.2’de %0,2 mangan içeren alüminyum alaşımının üzerinde bulunan oksit film tabakası gösterilmiştir [25].



Şekil 4.2: %0,2 mangan içeren alüminyum alaşımının üzerinde bulunan oksit tabakası.

Yüzeyde oluşan oksit tabakasının reaksiyon denklemi, (4.3)'te belirtilmiştir.



Çoğunlukla pH 4,5 ile pH 8,5 arasında olan ortam çözeltilerinde bu tür koruyucu yapılar kararlı bir biçimde bulunabilmektedir [26]. Bu pH değerlerinden daha yüksek veya düşük değerlere sahip çözelti ortamlarında oksit tabakası çözünmekte ve malzeme yüzeyinden kopmaktadır. Bu sebeple, çok agresif ortam şartlarında alüminyum ve alaşımları kullanıldığında bu malzemelerin korozyon davranışlarını kontrol altında tutmak ayrıca önemli olmaktadır.

4.3. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarında Meydana Gelen Korozyon Türleri

Alüminyum ve alaşımlarında öne çıkan korozyon türleri şu şekildedir:

- Çukurcuk (Oyuklanma-Pitting) korozyonu,
- Genel (Uniform) korozyon,
- Taneler arası korozyon,
- Galvanik korozyon,
- Filiform korozyon.

4.3.1. Çukurcuk (Oyuklanma-Pitting) Korozyonu

Çukurcuk korozyonu, içerisinde Cl⁻ bulunan çözeltilerde malzemenin yüzey kısmında görülen bir olaydır. Malzeme yüzeyinde, klorür iyonlarının etkisiyle çukurlar oluşmaktadır. Çukurcuk korozyonuna, oyuklanma (pitting) korozyonu adı da verilir.

Çukurcuk korozyonu oldukça tehlikelidir. Kontrolü güç olup bozucu etkisi yüksektir.

Tüm alüminyum alaşımları, bulundukları ortamlarında pitting korozyonuna uğramaya eğilimlidir [3].

Alüminyum ve magnezyum alaşımlarında bu korozyon türü çok görülmektedir.

Alüminyumda görülen çukurcuk korozyonunun başlangıcını oluşturan etmenler vardır. Alüminyumun yüzeyinde oluşan koruyucu oksit tabakada meydana gelen kusurlar ve çevrede bulunan klorür gibi saldırganlar, bu tip korozyonun oluşumunda önemli sebeplerdendir [3].

Klorür (Cl-)’ler bölgesel olarak oksit tabakasını bozabilmekte ve yüzeyde mikro çatlakların oluşumuna sebep olabilmektedirler.

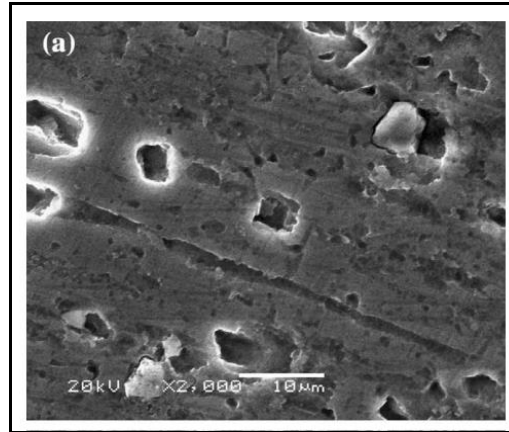
Ortamdaki agresif iyon konsantrasyonu, oyuk miktarının büyüme derecesini etkilemektedir. İntermetaliklerin sahip olduğu kimyasal bileşimler de oyukların derinliğine etki etmektedir. İntermetalik ile matris arasındaki potansiyel fark arttıkça oyukların ilerleme hızı ve boyutları artış göstermektedir.

Çukurcuk, bir diğer adı ile pitting korozyonunu gösteren bir örnek olarak, AA 2050 T8 alaşımında oluşan korozyon, Şekil 4.3’ te verilmiştir [27]. Optik mikroskop görüntülerinde malzeme kayıpları görülmektedir.



Şekil 4.3: AA 2050 T8 alaşımında oluşan pitting korozyonu.

Şekil 4.4’te ise döküm alüminyum numunesinde görülen çukurcuk(pitting) korozyonuna ait görüntü verilmiştir [28].



Şekil 4.4: Döküm alüminyum numunesinde görülen çukurcuk korozyonu.

4.3.2. Genel (Uniform) Korozyon

Bu korozyon türünde, malzeme yüzeyinin her tarafı aynı şekilde korozyondan etkilenmektedir. Diğer adı ile uniform korozyon olarak adlandırılır.

Uniform korozyon, genellikle atmosfere açık ortamlarda görülmektedir. Malzemede zamanla oluşan kayıplardan kaynaklı incelmeler meydana gelmektedir. Çünkü, zamanla malzeme yüzeyinde birçok anodik ve katodik bölge oluşup çözünmektedir. Genel (uniform) korozyon türünde, metalde homojen dağılımlı yüzey paslanması görülmektedir.

4.3.3. Taneler Arası Korozyon

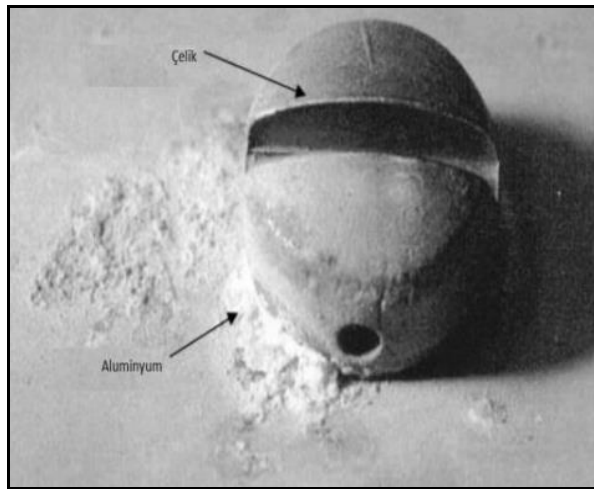
Taneler arası korozyon, intermetalik fazların çökeldiği tane sınırları ile tane içi arasında meydana gelen elektrokimyasal potansiyel farktan dolayı oluşmaktadır.

Herhangi bir alaşım elementi yapıda daha fazla bulunursa veya tanelerin arasında bir safsızlığa sebep olan durum olursa bu korozyon türü gerçekleşir [29].

4.3.4. Galvanik Korozyon

Farklı elektrot potansiyeli olan malzemeler bir arada bulunduklarında bu korozyon türü meydana gelmektedir.

Galvanik korozyona örnek, Şekil 4.5'te belirtilmiştir [30].



Şekil 4.5: Alüminyumun uğradığı galvanik korozyon.

4.3.5. Filiform Korozyon

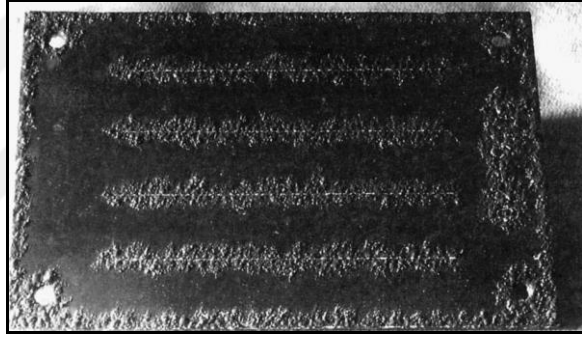
Dış yüzey problemi olarak adlandırılabilen filiform korozyon, malzeme yüzeyinde meydana gelen bir korozyondur.

Genellikle yüzey kaplamalarının altında görülür. Bu korozyon türünün oluşma sebebi, yüzeyde oluşan bir çizik veya kaplama sırasında meydana gelen bir hata olabilmektedir [3].

Bu çizik veya hatalar, malzeme yüzeyinde zayıf noktalar oluşturmakta ve kabuk altına atmosferden su veya oksijen girişi gerçekleşmektedir. Böylece malzeme yüzeyinde filiform korozyon denilen olay başlamaktadır.

Filiform korozyon daha çok yüzeyinde tek kat boya kullanılan veya çok nemli ortamlarda bulunan malzemelerde ciddi problemlere yol açmaktadır.

Şekil 4.6’da filiform korozyonu gösteren bir örnek verilmiştir [3].



Şekil 4.6: Filiform korozyon örneği.

4.4. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarında Korozyonu Etkileyen Faktörler

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının mikroyapılarında görülen tane sınırları, intermetaliklerin boyut, kompozisyon ve matris içindeki dağılımları, alüminyumun korozyon davranışlarını etkileyen faktörlerdir. Alüminyum içerisine alaşım oluşturmak için katılan alaşım elementleri de alüminyumun korozyon özelliklerini pozitif veya negatif yönde etkileyebilmektedir.

4.4.1. Alaşım Elementlerinin Korozyona Etkisi

Alüminyum içerisine alaşım oluşturmak için bakır, mangan, silisyum, magnezyum, çinko gibi alaşım elementleri katılmaktadır. Belirtilen elementler alüminyumun içerisine katıldıklarında, alüminyumun korozyona dayanımını değiştirmektedir.

Alaşım elementleri Al' ye eklendiğinde bu elementler alaşımın elektrokimyasal potansiyelini değiştirerek malzemenin korozyon direncini etkilemektedir. Alaşımlama elementinin türüne göre, malzemede korozyonun türünü ve hızını etkileyen anodik ve katodik bölgeler oluşmaktadır [31].

İntermetalikler, alaşım elementleri sebebiyle oluşabilmektedir. Bu elementler hem matrisin hem de oluşan yeni intermetalik yapıların kompozisyonlarını etkileyebilmektedir. Bu durum da malzemenin korozyon özelliklerini etkileyen faktörler olarak ortaya çıkmaktadır. İntermetalik ve matris arasındaki korozyon potansiyeli farkı, korozyon oluşumunu etkilemektedir. İntermetaliklerin katodik olması durumu korozyon potansiyelleri ile ilgilidir. Matristen yüksek bir potansiyele sahip intermetalik katodik olmaktadır. Bu istenmeyen bir durumdur. Çünkü böyle bir durumda matris hasar görmektedir. Anodik olan intermetaliklerin varlığında ise intermetalikler çözünerek bulundukları bölgede yüzey hasarına sebep olmaktadır. Malzemenin korozyona karşı dayanıklı olabilmesi için katot özelliğine sahip intermetalikler istenmemektedir.

İntermetalikler, yüzeyde oluşmuş koruyucu oksit tabakasında zayıf noktalar oluşturarak malzemenin daha hızlı korozyona uğramasına sebep olabilmektedir. Çünkü, bu şekilde oksit filmlerin agresif ortam şartlarında kırılmaları ve yüzeyin korozyona açık hale gelmesi kolaylaşabilmektedir. Zarar gören bölge, çevresine göre daha anodik hale gelirken, üzerinde koruyucu tabaka kalmamaktadır.

Alüminyuma eklenen alaşım elementlerinin malzemenin korozyon özelliklerine etkileri, alaşım elementine göre değişmektedir.

Demir Etkisi: Demir, ticari alüminyum alaşımlarında bulunan ana safsızlık elementlerinden biridir. Demirin alüminyum matristeki çözünürlüğü çok düşüktür. Bu sebeple daha çok ikinci faz intermetalik parçacıklar formunda yapıda bulunur. Alüminyum içerisindeki çözünürlüğü düşük olan demir, intermetalik oluşumunda büyük rol oynamaktadır.

Demir içeren intermetalikler, pitting adı da verilen oyuklanma korozyonunun oluşumunda etkindir [32]. Çünkü demir içeren intermetalik, matrinden daha katodiktir. Bu durum da intermetalik yerine çevrelerinin çözünmelerine sebep olmaktadır. İntermetalik içerisinde demir miktarının artması, malzemenin korozyon direncini düşürmektedir.

Silisyum Etkisi: Alüminyum içerisinde çözünürlüğü düşük olan silisyum, matrinden daha çok intermetalik içerisinde bulunmaktadır.

Alüminyuma silisyum eklendiğinde, intermetalikte küçük de olsa bir anodik etkiye sebep olmaktadır [31].

Mangan Etkisi: Manganın çözünürlüğü, alüminyum içerisinde demir veya silisyuma göre yüksektir. Çözünerek alüminyuma geçmesi sonucunda mangan, alaşımın korozyon direncine olumlu yönde etkide bulunmaktadır.

Pitting korozyonu üzerinde Fe' e göre daha az belirgin bir etkiye sahiptir [32].

Magnezyum Etkisi: Çoğunlukla intermetalik içerisinde bulunmamaktadır ve alüminyum içerisinde yüksek çözünürlüğe sahiptir [33]. Korozyon özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Bakır Etkisi: Alüminyumda bakır içeriğinin artması, alaşım malzemenin korozyon direncinin düşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca, malzemede pitting korozyonuna uğrama hassasiyeti oluşmaktadır [32].

Çinko Etkisi: Çinkonun çözünürlüğü alüminyum içerisinde yüksektir [33]. Korozyon potansiyeli alüminyumdan daha negatiftir. Matrisin potansiyelinin daha negatif değerlere ulaşmasına ve korozyon oluşumuna sebep olmaktadır.

4.4.2. İntermetaliklerin Boyut, Dağılım ve Kompozisyonu

İntermetaliklerin matris içerisindeki dağılımları, sahip oldukları kompozisyon ve boyutsal ölçümleri, malzemedeki korozyon özelliklerini belirleyen durumlardandır. Matrisin kompozisyonunda ve intermetaliklerin dağılım ve boyutlarında, döküm yönteminin de önemli bir etkisi vardır. Bu durumun temel sebebi, döküm yöntemine göre katılaşma hızlarında farklılık oluşmasıdır. İntermetalikler sahip oldukları kimyasal kompozisyona göre anodik veya katodik etki göstererek özellikle oyuklanma (çukurcuk-pitting) korozyonunun oluşumuna sebep olabilmektedir.

4.4.3. Isıl İşlemin Etkileri

Uygulanan ısı işlem, intermetaliklerin bileşim, dağılım ve boyutları üzerinde etkiye sahiptir. Yapılan ısı işlemlerdeki amaç, malzemelerin iç gerilmelerini almak ve malzemede yumuşatma sağlamaktır. Amaca uygun olarak çeşitli sıcaklıklarda ısı işlemler gerçekleştirilebilmektedir.

Malzemeye uygulanan ısı işlemler ile intermetaliklerde oluşan farklılıklar, korozyon direncine de etki etmektedir.

4.4.4. Ortam Etkileri

Korozyonun oluşumu ve ilerlemesinde, malzemeye bağlı parametreler önemlidir. Bunun dışında, malzemenin bulunduğu ortam şartları da korozyonu etkileyen unsurlardandır.

Çözeltide agresif Cl⁻ iyonların fazla olması, pitting korozyonu oluşumu için başlangıç etkisi oluşturmaktadır [32].

4.5. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyona Karşı Korunması

Korozyon, önlem alınması gereken ciddi bir konudur. Çünkü, malzemeye çok fazla zarar vermektedir.

Korozyon, istenmeyen bir durumdur. Korozyon sebebi ile sektörler; emek, malzeme ve enerji kaybına uğramaktadır. Bu sebeple, malzemenin korozyona karşı korunması önemlidir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının da korozyona karşı korunması için alınabilecek önlemler bulunmaktadır.

4.5.1. Malzeme Seçimi

Ortam şartlarını düşünerek kullanılacak alüminyum ve alaşımına karar vermek, korozyona karşı koruma sağlayacak adımlardan biridir. Hangi korozif ortamda hangi tür metal veya alaşımının kullanılacağını bilmek önemlidir. Korozyonun başlaması ve hızlanmasında ortamda bulunan etmenler büyük rol oynamaktadır. Ortamın

sıcaklığı, sahip olduğu pH değeri, nem, hava-su veya oksijenin ortam tarafından geçirilebilme olasılığı korozyonu etkilemektedir.

Aralarında potansiyel fark fazla olan malzemeleri bir arada kullanmamak ve malzemeyi seçerken bu konuya dikkat etmek önemlidir. Bu farklılık korozyona sebep olmaktadır.

4.5.2. Korozyondan Koruyan Kaplamalar

Özellikle yüzeyin boyanması, alüminyum yüzeyler için koruyucu kaplama olarak uygulanmaktadır. Boyama işlemi ile alüminyum yüzeyde koruma görevi gören bir tabaka oluşturulur. Oluşan bu koruyucu tabaka, zarar görmediği sürece metal malzemeyi korozyondan korur. Korozyon korumasının yeterli olması için koruyucu tabakanın gözeneksiz, metal yüzeyine iyi tutunmuş ve homojen olması gerekmektedir.

4.5.3. Anotlama (Anodizing)

Anotlama işlemi, elektroliz ile uygulanan bir metal kaplama yöntemidir. Anotlama işleminde alüminyum yüzeyi, elektrokimyasal olarak işlenmektedir. Anotlama işlemi ile alüminyum yüzeyindeki oksit tabakası kalınlaştırılmaktadır.

İşlemin başarılı şekilde gerçekleşmesi için uygulama yüzeyinin temiz olması çok önemlidir. Anotlama yapılmadan önce alüminyum yüzey tüm korozyon ürünlerinden, yağlardan ve doğal olarak oluşan alüminyum oksitten arındırılmış olmalıdır.

4.5.4. Katodik Koruma

Alüminyum yüzeylerde katodik koruma, alüminyum yüzeylerin korozyonuna karşı etkili bir koruma yöntemidir. Proses öncesi alüminyum yüzeyin temizlenmesi önemlidir. Bir anot ile kullanılan alüminyum için alüminyum yüzey, bir katot olarak görev yapmaktadır. Anot malzeme olarak alüminyum yüzeyden daha reaktif bir metal veya alaşım seçilmelidir. Çinko veya magnezyum anotlar bu amaçla kullanılabilir. Anot, alüminyum yüzey ile bir elektrot sistemi oluşturacak şekilde bağlanmalıdır. Elektrolit, anot ve katot arasındaki elektriksel iletkenliği sağlamaktadır. Korozyonu

önlemek için uygun bir pH aralığına sahip elektrolit sayesinde anot ve katot arasındaki elektriksel iletkenlik sağlanmaktadır.

4.5.5. İnhibitör Kullanmak

İnhibitörler, genellikle metal yüzeyi üzerinde adsorbe olarak ve metal yüzeyinde bir film oluşturarak yüzeyde koruma sağlayan kimyasallardır.

Korozyon inhibitörleri, alüminyum yüzeylerin korozyona karşı korunmasında etkili bir yöntemdir. Bu inhibitörler, yüzeyin pasifleşmesini sağlamaktadır. Korozyon inhibitörleri ayrıca, paslanma ve korozyonun neden olduğu hasarları önleyerek, yüzeyin performansını artırmaktadır.



5. KOROZYON TESTLERİ

Metallere korozyon testlerinin uygulanmasındaki amaç, korozyonun hızını ve malzemenin korozyon direncini belirlemektir. Böylece, malzemenin kullanılacağı ortamda korozyona dayanma direnci ve aynı zamanda da malzemenin kullanım ömrü belirlenmiş olmaktadır. Malzemenin birim sürede çözünme miktarı olarak korozyon hızı tanımlanabilmektedir. Malzemenin korozyona afinitesini veya korozyon hızını belirleyebilmek açısından bu testleri yapmak gereklidir.

Malzemenin korozyona daha dayanıklı hale getirilmesi için yapılacak çalışmalardan sonra da korozyon testleri yapıp koruyucu önlemlerin yeterliliği konusu araştırılabilmektedir.

Alüminyum ve alaşımlarında korozyon davranış ve hızlarını belirlemek üzere yapılan ve en yaygın uygulanan test yöntemleri şu şekildedir:

- Daldırma Korozyon Testi,
- Açık Devre Potansiyel Ölçümü (OCP-Open Circuit Potential),
- Potansiyodinamik Polarizasyon Ölçüm Testi.

5.1. Daldırma Korozyon Testi

Daldırma korozyon testi, bir diğer adı ile kütle kaybı testi olarak bilinmektedir. Bu yöntem, malzemenin korozyon hızını hesaplamada kullanılan ilk yöntemlerden biridir. ASTM standartı kapsamında numune hazırlık aşaması ve test ölçümü gerçekleştirilir. İlk olarak malzeme yüzeyi standarta göre temizlenir, korozyon testi öncesi hassas olarak numunenin kütlesi ölçülür. Kütlesi belirlenen malzeme, korozyona uğrayacağı solüsyonda belirli bir saat aralığında bekletilir. Malzeme korozyona uğradıktan sonra, yüzeyde olabilecek kirlilikler temizlenerek numunenin tekrar hassas şekilde kütlesi ölçülür.

Deneyden sonra numunede oluşan kütle kaybı farkı kullanılarak malzemenin korozyona uğrama hızı, ASTM G31 test standartına göre denklem (5.1)' e göre hesaplanır.

$$Korozyon\ Hızı = \frac{W \times K}{\rho \times A \times t} \quad (5.1)$$

Denklem (5.1)'e göre;

- W: kütle kaybı (g),
- K: sabit sayı,
- ρ : korozyona uğrayan numunenin yoğunluk değeri (g/cm³),
- A: korozyona uğrayan numunenin yüzey alanı (cm²),
- t: test süresi (saat)

Bu test yönteminde, testin bitmesi için bekleme süresi uzundur. Hız ölçümü korozyon için anlık yapılamamaktadır. Hız hesabı yapabilmek için gerekli verilere günler sonra ulaşılabilmektedir.

Günümüzde daha güvenilir ve pratik olması, ayrıca daha kısa sürede sonuç vermesi sebebiyle açık devre potansiyeli (OCP), potansiyodinamik polarizasyon ölçüm yöntemi testleri, malzemenin korozyon davranışı ve hızının belirlenmesinde daha çok tercih edilmektedir.

5.2. Açık Devre Potansiyeli (OCP-Open Circuit Potential)

Çalışma elektrotunun hücreye herhangi bir akım uygulanmadığı durumda, referans elektrota göre sahip olduğu potansiyel, açık devre potansiyelidir.

Bu test yönteminde; çalışma, referans ve karşıt elektrottan oluşan hücre kullanılmaktadır. Belirtilen elektrotlar deney sisteminde şu görevde kullanılmaktadır:

Çalışma Elektrotu: Korozyona uğraması istenilen ve üzerinde çalışılan malzemedir.

Referans Elektrot: Çalışma elektrotunun zamanla nasıl korozyona uğradığını, potansiyel değişim ölçümü ile belirler. Kullanılan elektrot genellikle doygun kalomel (SCE) veya Ag/AgCl gibi referans elektrottan birisi olmaktadır.

Karşıt Elektrot: Cihazdan gelen akımı, çözeltiye veren elektrottur. Korozyon mekanizmasını hızlandırmak için kullanılır. Bu şekilde, çalışma elektrotu hızlı şekilde korozyona uğrar. Genellikle elektrokimyasal korozyon deneyinde ilk yapılan, açık devre potansiyeli değerini ölçmektir.

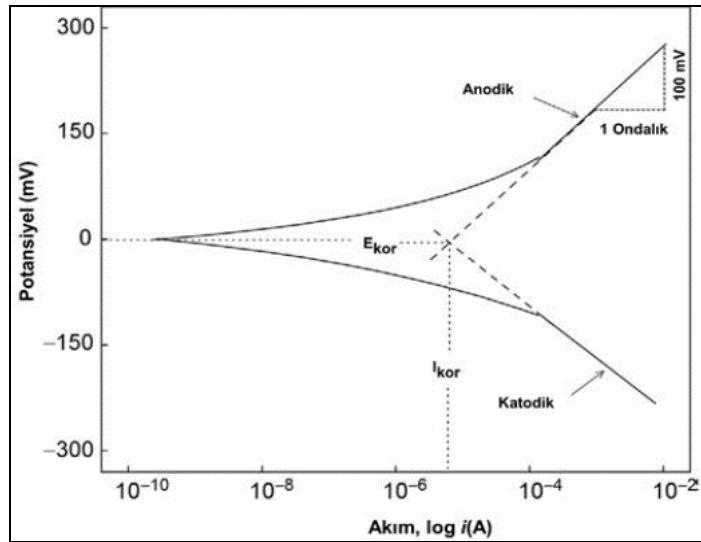
5.3. Potansiyodinamik Polarizasyon Ölçümleri

Potansiyodinamik polarizasyon ölçümlerinde, testte ölçülen akım değeri amperdir. Bu yöntemde, çalışılan elektrotun referans elektroda göre potansiyel değeri ölçülür. Bu yöntem ile elde edilen grafikten aşağıdaki değerler bulunmaktadır:

- E_{kor} (Korozyon potansiyeli),
- I_{kor} (Korozyon akımı),
- i_{kor} (Korozyon akım yoğunluğu),
- R_p (Polarizasyon direnci).

OCP’de kullanılan üç elektrottan oluşan sistem, bu test yönteminde de kullanılır. Çalışma elektrotu, korozyon özellikleri test edilecek olan malzemedir. Test sırasında, çalışma elektrotu ile referans elektrot arasındaki akım ölçülür.

Bu test yöntemleri için yazılmış çeşitli yazılım programlarından elde edilen veriler kullanılarak Şekil 5.1’deki ekstrapolasyon grafiği elde edilir [34]. Grafikte akım eksenini logaritmik olarak göstermektedir.



Şekil 5.1: Tafel ekstrapolasyon grafiği.

Sistemdeki aşırı gerilim nedeniyle, uygulanan dış akımın logaritmasının lineer olarak değiştiği bölge grafikte, Tafel bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Bu eğride, Tafel bölgesi ekstrapole edilmektedir. Eğimlerin kesişim noktalarından E_{kor} ve I_{kor} değerleri bulunmaktadır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

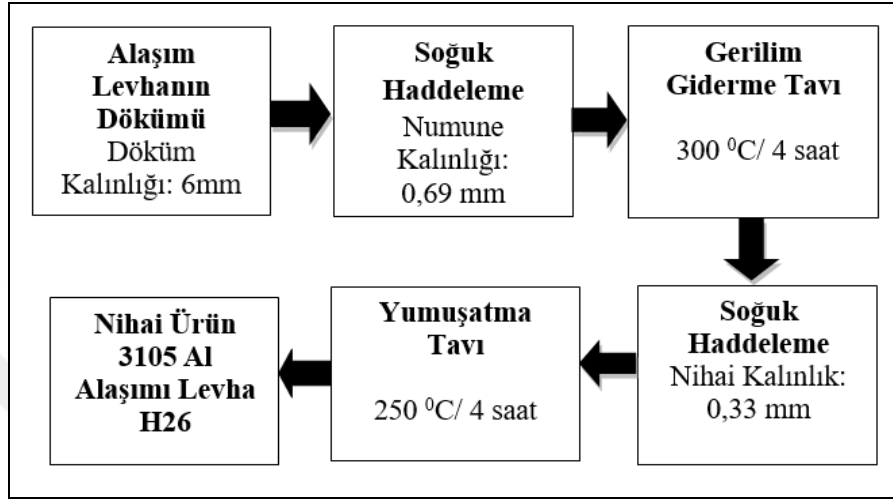
Bu tez çalışmasında, çelik/bakır merdane çifti kullanılarak ikiz merdane sürekli döküm tekniği ile üretilen 3105 alüminyum alaşımın, iki ayrı malzemeden yapılmış merdane ile temas eden yüzeylerinin farklı soğuma hızlarına tabi olarak katılaşmaları nedeniyle göstermiş oldukları mikroyapısal farklılıkların korozyon özelliği üzerine etkisi incelenmiştir. Çelik ve bakır merdane ile temas ederek katılaşan 3105 alüminyum alaşımının her iki yüzeyinin kimyasal kompozisyonu optik emisyon spektrometresi ile belirlenmiştir. 3105 alüminyum alaşımının yüzey ve mikroyapısal özellikleri optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılım spektroskopisi (EDS), atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve elektriksel iletkenlik çalışmaları ile incelenerek farklı soğuma hızlarına tabi olarak katılaşan yüzeylerin mikroyapısal farklılıkları ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Farklı malzemelerden yapılmış merdaneler ile temas ederek katılaşan 3105 alüminyum alaşım yüzeylerinin korozyon davranışlarının belirlenmesine yönelik olarak elektrokimyasal ve daldırma korozyon testleri uygulanmıştır. Ayrıca, (AFM/SKPFM) taramalı kelvin prob kuvvet mikroskop yardımı ile yüzeylerin Volta potansiyel haritaları oluşturulmuş ve korozyon başlangıcı için itici güç olan matris ve intermetalikler arasındaki potansiyel fark değerleri ölçülmüştür. Korozyon testleri sonrasında 3105 alüminyum alaşımının yüzeylerinin veya yüzey altlarının (enine kesitten) karakterizasyonu optik mikroskop ve SEM kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

6.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Numunelerin Üretimi

Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler, Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de endüstriyel ölçekte, çelik/bakır merdane çifti kullanılan ikiz merdane sürekli döküm tekniği ile üretilen ve 6 mm döküm levha kalınlığına sahip 3105 alüminyum alaşımından elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan 3105 alüminyum alaşımına ait üretim akış şeması, Şekil 6.1'de verilmiştir. İlk olarak sıvı alaşım, birbiri ile ters yönde dönen ve içerisinde soğutma suyunun sirküle olduğu üst kısım çelik alt kısım bakır malzemeden üretilmiş iki merdanelerin arasına beslenmiştir. Sıvı metalin merdanelere teması ile katılaşma başlamış ve merdaneleri terk etmesi ile de katılaşma tamamlanmıştır. Katılaşan levha, rulo şeklinde sarılmış ve soğuk

haddeleme adımı sonrası numune kalınlığı 6 mm'den 0,69 mm'ye düşürülmüştür. Ardından 300 °C de 4 saat gerilim giderme tavı uygulanmıştır. Alaşıma tekrar soğuk haddeleme yapılmış ve numunenin kalınlığı 0,33 mm olacak şekilde nihai kalınlığına indirilmiştir. Bu nihai kalınlıktaki alaşım, son olarak 250 °C'de 4 saat yumuşatma tavı ısıl işlemine tabi tutulmuş ve H26 kondisyonunda üretilmiştir.



Şekil 6.1: 3105 alüminyum alaşımına ait üretim akış şeması.

İkiz merdane sürekli döküm tekniği ile üretilen ve haddeleme işlemleri sonrasında 0,33 mm kalınlığa indirilen 3105 alüminyum alaşımın çelik ve bakır merdaneler ile temas eden yüzeylerine ait kimyasal bileşimler Tablo 6.1'de belirtilmiştir.

Tablo 6.1: Çelik/bakır merdane çifti kullanılarak üretilmiş 3105 alüminyum alaşımın katılaşma temas yüzeylerine ait kimyasal bileşimler.

EN-AW 3105 Al Alaşımı	Katılaşma Temas Yüzeyi	
Bileşim (% ağı.)	Çelik merdane	Bakır merdane
Si	0,135	0,133
Fe	0,523	0,514
Cu	0,074	0,073
Mn	0,392	0,390
Mg	0,266	0,265
Cr	0,003	0,003
Zn	0,025	0,024
Ti	0,008	0,008
Al	98,574	98,590

6.2. Mikroyapısal Karakterizasyon Çalışmaları

6.2.1. Metalografik İncelemeler İçin Numune Hazırlama İşlemleri

Yüzey mikroyapı incelemeleri için kullanılan numuneler haddeleme yönüne paralel ve 3cmx3cm boyutlarında olup standart metalografik yöntemler kullanılarak hazırlanmıştır. Numunelerin her iki yüzeyi ilk olarak zımparalama, daha sonra parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Zımparalama işlemi, 2500 grit SiC zımpara ile gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işleminden sonra her iki yüzeyi elmas süspansiyon ve 0.2 µm silica ile parlatılan numuneler, 15 sn boyunca %2' lik hidroflorik asit (HF) çözeltisinde dağlanmıştır. Dağlama sonrası dağlayıcının yüzeylerden uzaklaştırılması için numuneler önce su ile yıkanmış ardından etanol ile yüzeydeki tüm kirlilik ve lekelerin gitmesi sağlanmıştır. Son olarak, temizlenen numuneler oda sıcaklığında ve basınçlı hava ile hızlı bir şekilde kurutma işlemlerine tabi tutulmuştur.

6.2.2. Yüzey Mikroyapı İncelemeleri

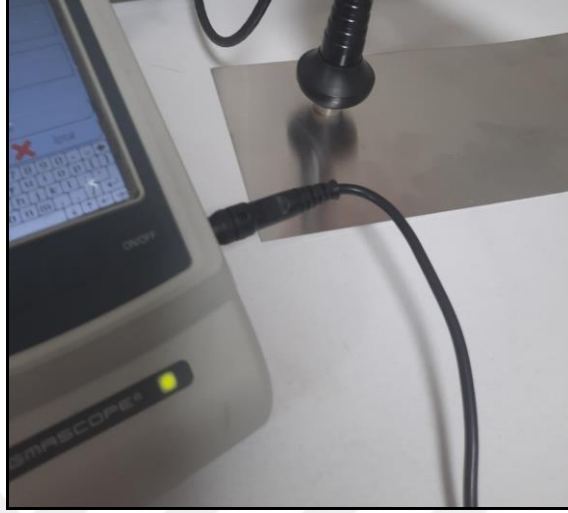
6.2.2.1. Optik Mikroskop ve SEM Çalışmaları

Alüminyum alaşımlarının korozyon özelliklerinin mikroyapısal özellikleri ile oldukça ilgili olması nedeniyle, korozyon deneyleri öncesinde metalografik olarak hazırlanan 3105 alüminyum alaşım numunelerin çelik ve bakır merdane ile temas ederek katılaştıran yüzeylerinin mikroyapıları Zeiss marka SEM ve optik mikroskop cihazları ile incelenip yüzeyler arasındaki mikroyapısal (intermetaliklerin boyut, dağılım ve kompozisyonları) farklılıklar ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Yüzey mikroyapı incelemeleri için gerçekleştirilen SEM çalışmaları esnasında matriste bulunan intermetaliklerin kimyasal kompozisyonlarını belirlemeye yönelik olarak elementel nokta EDS ve elementel haritalama analizleri de gerçekleştirilmiştir.

6.2.2.2. Elektriksel İletkenlik Ölçümü

Çelik ve bakır merdane ile temas eden yüzeylerin elektriksel iletkenlik ölçümleri, 1 MHz frekans ile Fischer Sigmascope marka elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı (Şekil 6.2) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Elektriksel iletkenlik ölçümleri her iki yüzey için on farklı noktada gerçekleştirilmiş olup elektrik iletkenlik değerleri, gerçekleştirilen bu on ölçümün ortalaması olarak verilmiştir.



Şekil 6.2: Fischer Sigmascope marka elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı ile numuneye yapılan ölçümün örnek gösterimi.

6.2.3. Elektrokimyasal ve Daldırma Korozyon Testleri

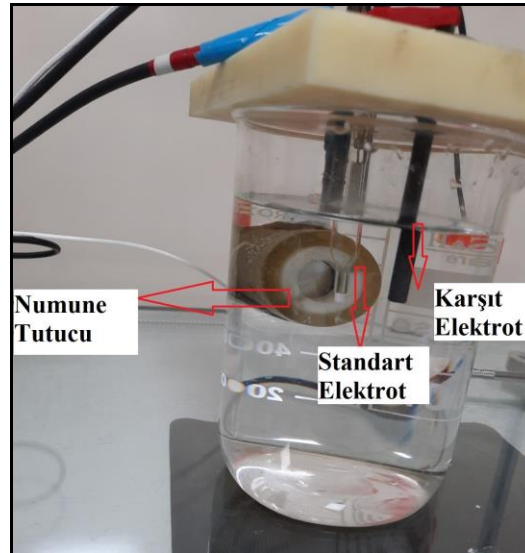
3105 alüminyum alaşımının korozyon davranışının incelenmesine yönelik olarak her iki yüzeye ayrı ayrı elektrokimyasal (açık devre potansiyel ölçümü ve potansiyodinamik polarizasyon testleri) ve daldırma korozyon testleri uygulanmıştır. Elektrokimyasal ve daldırma korozyon testleri sırası ile 1M ve 0,1M NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmiştir. Korozyon testleri sonrasında numuneler, yüzey ve enine kesit boyunca optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir.

6.2.3.1. Açık Devre Potansiyel Ölçümü (OCP)

Elektrokimyasal korozyon testleri, potansiyodinamik polarizasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İkiz merdane sürekli döküm yöntemi ile üretilen nihai kalınlıktaki 3105 alüminyum alaşımının çelik ve bakır merdane ile temas eden yüzeylerinin ayrı ayrı açık devre potansiyelleri (open circuit potential, OCP) ölçülmüştür. OCP ölçümü, ASTM G69 test standardına göre 1M NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Korozyon testlerinde kullanılan numuneler, Şekil 6.3' te gösterildiği üzere numune tutucuya yerleştirilebilecek şekilde, daire şeklinde kesilip hazırlanmış olup numunelerin yüzeylerinde hiçbir çizik olmamasına dikkat edilmiştir. Numuneler, yüzeylerindeki kirlilikler ve lekelerin uzaklaştırılması için sırasıyla saf su ve etanol ile yıkanmış sonrasında basınçlı hava ile hızlı şekilde kurutulmuştur. Korozyon davranışları incelenen tüm numunelerde, korozyona maruz bırakılan yüzey alanının ($2,27 \text{ cm}^2$) aynı olması sağlanmıştır. Elektrokimyasal korozyon testleri, Şekil 6.3'te verilen klasik üç elektrotlu elektrokimyasal korozyon ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada referans elektrot olarak doygun kalomel elektrot (SCE), karşıt elektrot olarak grafit çubuk ve çalışma elektrotu olarak ise incelenen 3105 alüminyum alaşımından hazırlanmış numuneler kullanılmıştır. Açık devre potansiyel ölçümü (OCP) ve potansiyodinamik polarizasyon yöntemi testleri her bir yüzey için sonuçlar arasında tutarlılık olması açısından dört kez tekrarlanmıştır.

Açık devre potansiyel (Open Circuit Potential, OCP) ölçümleri, karşıt elektrottan akım geçirilmeden, çalışma elektrotu ve referans elektrot arasında yapılmıştır. Zamana bağlı olarak potansiyelde meydana gelen değişimler, 3600 sn süre ile zamana karşı grafiğe geçirilmiştir. Bu şekilde, çalışma elektrotu/çözelti arayüzeyindeki anodik ve katodik reaksiyon akımlarının dengeye geldiği potansiyel değeri olan OCP ölçülmüştür.



Şekil 6.3: Elektrokimyasal korozyon testlerinde kullanılan korozyon test hücresi.

6.2.3.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Ölçümleri

İncelenen Al alaşımının çelik ve bakır merdane ile temas eden yüzeylerinin açık devre potansiyeli (OCP) ölçümleri tamamlandıktan sonra, potansiyodinamik polarizasyon testleri uygulanmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon testleri ASTM G102 standartına göre yapılmış olup 1 M NaCl çözeltisi içerisinde denge potansiyelinden başlayıp -0,4 ve +0,4 voltaj aralığında ve 0,5 mV/s tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Bu ekstrapolasyon yönteminde, anodik ve katodik polarizasyon ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Testte solüsyon olarak 1 M NaCl çözeltisi kullanılmıştır. Bu test yönteminde, çalışma elektrotu ile referans elektrot arasındaki potansiyel gittikçe artmakta veya devamlı olarak anodik yönde olmaktadır. Çalışma elektrotu ile standart elektrot arasındaki akım ölçülmektedir. Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile korozyon akımı (I_{kor}) ve korozyon potansiyelinin (E_{kor}) belirlenebilmesi için polarizasyon ölçümleri yapılmıştır. Test sonucunda elde edilen potansiyel değerleri (V)- Akım değerlerine karşı grafiğe geçirilmiştir ve Tafel ekstrapolasyon grafikleri elde edilmiştir. Test sonucunda elde edilen veriler kullanılarak grafik ve eğrilerin oluşturulması işlemleri, OriginPro 2015 programında gerçekleştirilmiştir. Grafikte akım eksenini logaritmikdir. Grafikte, sistemdeki aşırı gerilim nedeniyle, uygulanan dış akımın logaritmasının lineer olarak değiştiği bölgeye Tafel bölgesi adı verilir. Test sonucunda, Tafel bölgesi ekstrapole edilmiş yani bu çizgiden bir eğim çizgisi geçirilip anodik bölge ile kesiştirilmiştir. Yapılan çalışmada, bölgenin kesişim noktasının düşey bileşeni korozyon akımını (I_{kor}), yatay bileşeni korozyon potansiyelini (E_{kor}) vermektedir.

Korozyon akım değeri (I_{kor}), Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile bulunduğundan sonra, ilk adım grafikten ölçülen akım değerini akım yoğunluğuna (i_{kor}) dönüştürmektir. Bu hesaplama, denklem (6.1) ile yapılmıştır.

$$i_{kor} = \frac{I_{kor}}{A} \quad (6.1)$$

i_{kor} : Korozyon akım yoğunluğu ($\mu A/cm^2$)

I_{kor} : Korozyon akım değeri (μA)

A: Numune yüzey alanı (cm^2)

Korozyon hız değerleri bulunurken denklem (6.2) kullanılmıştır.

$$Korozyon\ Hızı = \frac{K_1 \times i_{kor} \times EW}{\rho} \quad (6.2)$$

ρ : Numune yoğunluğu (g/cm³)

$K_1 = 3,27 \times 10^{-3}$, mm g/ μ A cm yr (sabit)

EW: Eş değer ağırlık (korozyona uğrayacak olan metalin gram cinsinden kütlesidir).

Alaşımın iki yüzeyi için polarizasyon dirençleri (R_p), denklem (6.3) ile bulunmuştur.

$$R_p = \frac{(\beta_a \times \beta_c)}{2,303 \times i_{kor} \times (\beta_a + \beta_c)} \quad (6.3)$$

R_p : Polarizasyon direnci,

β_a : Anodik tafel eğimi,

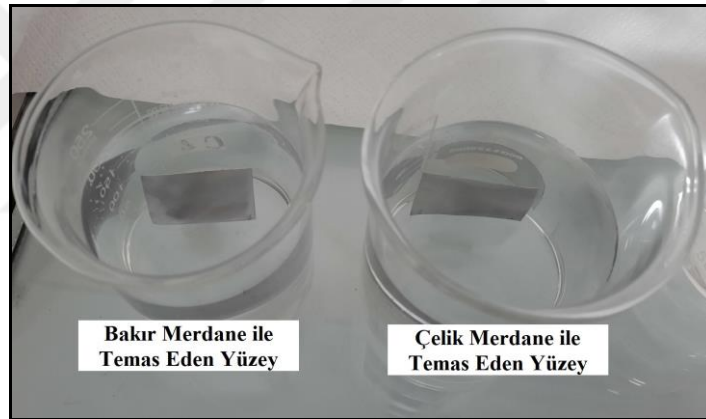
β_c : Katodik tafel eğimi.

Elektrokimyasal korozyon testlerinden elde edilen bu değerler ve ilgili denklemler kullanılarak 3105 alüminyum alaşımının her iki yüzeyi için korozyon hızı (mm/yıl) cinsinden hesaplanmıştır.

6.2.3.3. Daldırma Korozyon Testi

Daldırma korozyon testleri diğer adıyla kütle kaybı korozyon testleri, ASTM G31 standartına göre yapılmış olup üç kez tekrar edilmiştir. Daldırma korozyon testlerinde, çelik ve bakır merdane ile temas eden yüzeylerden 3cmx4cm boyutlarında numuneler elde edilmiştir. İncelenen numunelerin yüzeyleri, kirliliklerin giderilmesi için sırası ile saf su ve etanol ile temizlenmiş ve basınçlı hava ile kurutulmuştur. Numunelerin ilk tartımdan önce, korozyona uğraması istenilmeyen yüzeyi, sulu ortamdan etkilenmeyecek şekilde kaplanmış ve içerisine daldırıldıkları sulu çözelti ile temasları engellenmiştir. Numunelerden birinin bakır, diğerinin ise

elik merdane ile temas eden yüzeylerinin deney boyunca NaCl zeltisi ile temas etmesi sağlanmıştır. Yüzeyleri temizlenen her iki numune hassas terazide tartılmıştır. Ardından, her iki numune de NaCl çözeltisine, şekil 6.4'teki düzenekte görüldüğü gibi daldırılmış ve 10 gün boyunca numunelerin 0,1 M NaCl çözeltisinde kalması sağlanmıştır. Deneyler, oda sıcaklığı olan 25  C' de gerçekleştirilmiştir. 10 günlük beklemenin ardından iki numune de NaCl çözeltisinden çıkarılmıştır. Test sresinde, numunelerin yüzeyinde oluşabilecek kirlilik ve yabancı maddelerin hassas tartımı etkilememesi için her iki numunenin korozyona uğrayan yüzeyleri %65 'lik nitrik asit içerisinde 3 sn bekletilmiş ardından saf su ve etanol ile temizlendikten sonra yüzeyler hassas bir şekilde kurutulmuştur. Yüzeyler temizlenip çok iyi şekilde kurutulduktan sonra, numunelerin yeniden kütleleri gram cinsinden ölçülmüştür. Elde edilen kütle farkından faydalanılarak her iki numunenin de mm/yıl biriminden korozyon hızları hesaplanmıştır.



şekil 6.4: Daldırma korozyon testi deney düzeneği.

6.2.4. Taramalı Kelvin Prob Kuvvet Mikroskop (AFM/SKPFM) alışmaları

Taramalı kelvin prob kuvvet mikroskop (AFM/SKPFM) yöntemi, yüzeyin nano ölçekte yüksek çözünürlükte üç boyutlu topografik görüntülenmesinin yanı sıra, yüzey mikroyapısında mevcut olan mikroyapısal bileşenler arasında Volta potansiyel haritalarının ortaya çıkarılmasında yaygın olarak kullanılan gelişmiş entegre bir sistemdir. Bu yöntemde potansiyel fark belirlemeye yönelik uygulanan teknikler, iğne ucunun yzeeye temas ettirilerek uygulandığı temaslı, iğnenin yzeeye temas etmediği temassız ve iğnenin yzeeye vurularak uygulandığı vurma teknikleri olarak

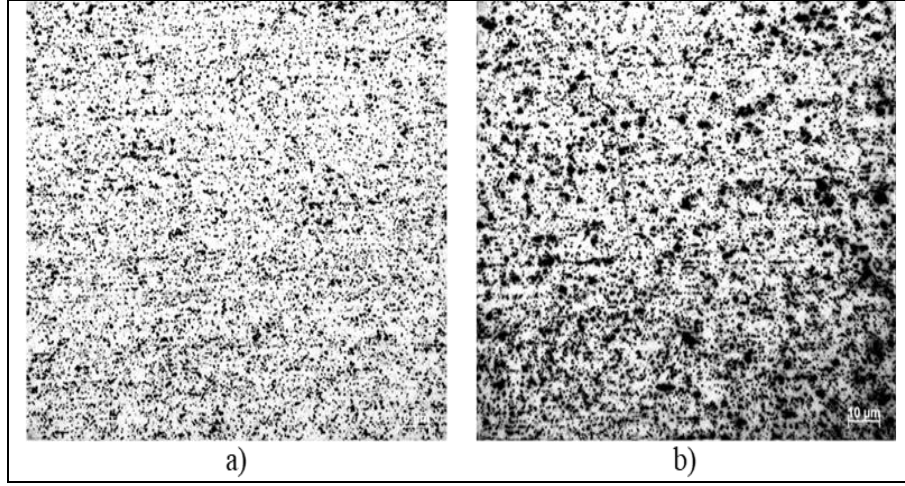
adlandırılmaktadır. Bu çalışmada, alüminyum alaşımların korozyon davranışları üzerinde belirgin etkiye sahip matris ve intermetalikler arasındaki volta potansiyel farkın belirlenmesine yönelik ölçümler, temassız Park Sistem XE7 taramalı kelvin prob kuvvet mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Cantilever olarak ise Cr-Au malzemeden yapılmış uç kullanılmıştır. İncelenecek numuneler, 3cmx3cm boyutlarında kesilmiş ve daha sonra metalografik parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Yüzeylerin üzerindeki kalıntı ve kirlilikler sırası ile saf su ve etanol ile temizlenmiş ve yüzeyler basınçlı hava ile kurutulmuştur. Taramalı kelvin prob kuvvet mikroskop incelemeleri hem çelik hem de bakır merdaneler ile temas eden yüzeylerde 400 μm^2 bir alan üzerinde 0,20 Hz tarama hızı ile gerçekleştirilmiştir. Bakır ve çelik merdane ile temas eden iki yüzey için de yapılan tarama çalışmaları, yüzeylerin farklı bölümlerinde gezilerek beş farklı alanda tekrar edilmiştir.

7. DENEYSEL BULGULAR VE İRDELEME

Deneyisel bulgular ve irdeleme başlığı altında, bu yüksek lisans tezi kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların değerlendirilmesi paylaşılacaktır. İlk olarak, çelik/bakır merdane çifti kullanılan ikiz merdane sürekli döküm (Twin Roll Casting, TRC) yöntemiyle üretilen 0,33 mm nihai kalınlığa sahip 3105 alüminyum alaşım numunenin çelik ve bakır merdaneler ile temas eden yüzeylerinin, bu tez kapsamında uygulanan korozyon test sonuçlarına göre korozyon davranışları ve aralarındaki farklılıkların ortaya çıkarılabilmesi amacıyla yönelik olarak, korozyon testleri öncesinde yapılan karakterizasyon çalışmalarının sonuçları paylaşılmıştır. Daha sonra, incelenen alaşımın çelik/bakır merdane ile temas eden yüzeylerine uygulanan korozyon testlerinin sonuçları verilmiş ve alaşım yüzeylerin korozyon davranışları, yüzey mikroyapıları ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Her bir sonuç verildikten sonra elde edilen bulgular tartışılmıştır.

7.1. Mikroyapı Çalışma Sonuçları

Çelik/bakır merdane çifti kullanılıp üretimi yapılan 0,33 mm nihai kalınlıktaki 3105 alüminyum alaşımının çelik ve bakır merdaneler ile temas eden yüzeylerine ait optik mikroskop ve SEM mikroyapı görüntüleri sırası ile Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’ de verilmiştir. Verilen şekillerden de görülebileceği gibi, genel olarak her iki yüzeyde de Al matris içerisinde dağılmış intermetalik partiküller net olarak görülmektedir. Bununla birlikte optik mikroskop yüzey mikroyapı görüntülerine (Şekil 7.1) göre, çelik merdane ile temas eden yüzeye göre bakır merdane ile temas eden yüzeyde, Al matris içerisindeki intermetaliklerin daha homojen ve genel olarak daha küçük boyutta dağıldığı görülmüştür.

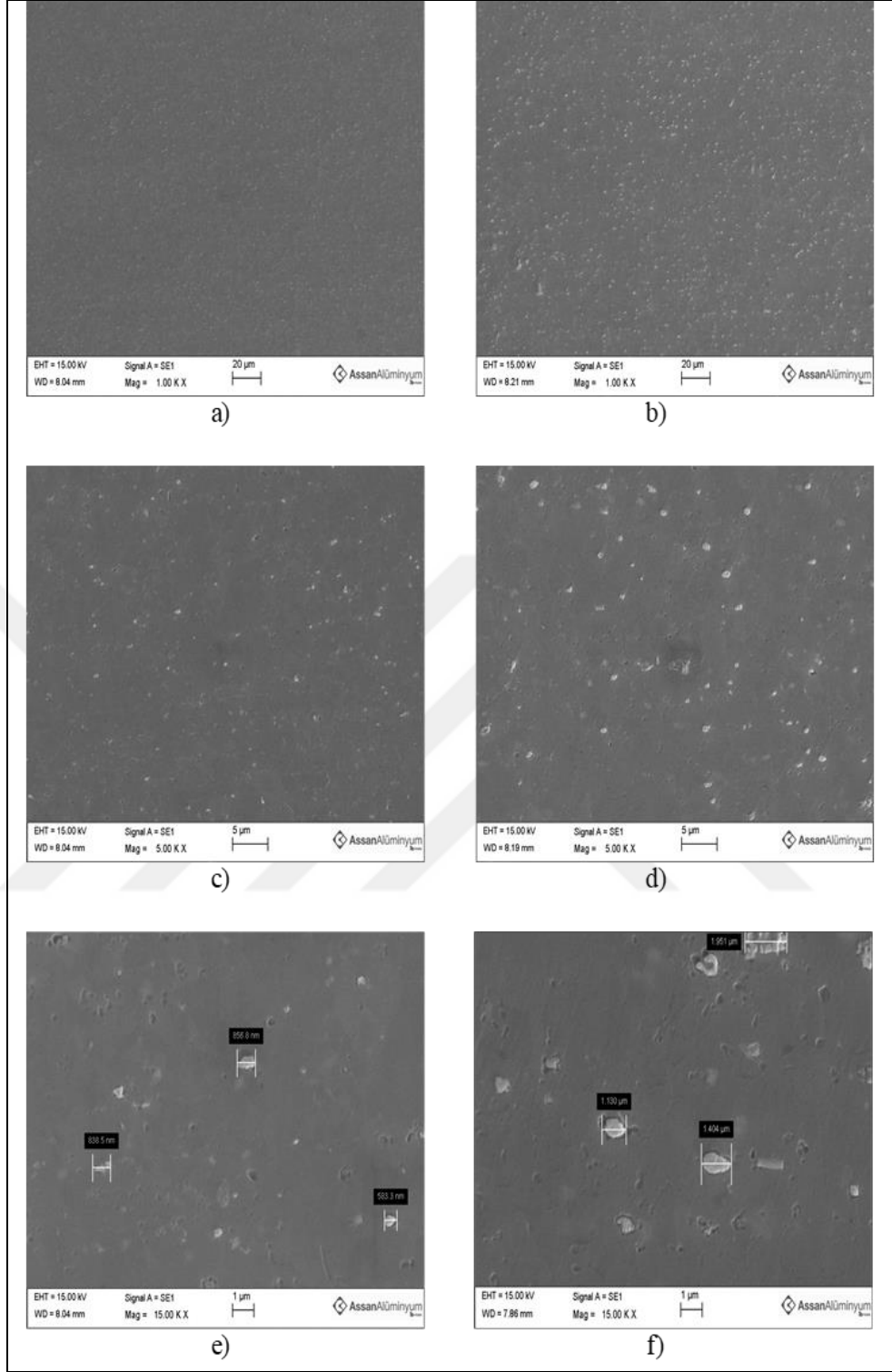


Şekil 7.1: 3105 alaşımlarının a) Bakır, b) Çelik merdane ile temas eden yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri.

Çelik ve bakır merdane ile temas eden yüzeylerde SEM ile gerçekleştirilen mikroyapısal incelemelerde (Şekil 7.2), bakır merdane ile temas eden yüzeydeki intermetalik partikül boyutlarının, çelik merdane ile temas eden yüzeydeki intermetalik partikül boyutlarına göre göreceli olarak çok daha küçük olduğu belirlenmiştir. SEM incelemeleri esnasında intermetalik partiküllerin üzerinde gerçekleştirilen boyutsal ölçümlerde, intermetaliklerin genel olarak mikron altı ölçekte büyüklüklere ve düzensiz bir morfolojiye sahip oldukları belirlenirken özellikle çelik merdane ile temas eden yüzeydeki intermetaliklerden bazılarının boyutlarının 1 ile 2 μm arasında değiştiği ve bazı partiküllerin dikdörtgen formunda oldukları görülmüştür (Şekil 7.2). Çelik ve bakır merdane ile temas eden yüzeylerde gerçekleştirilen optik mikroskop ve SEM incelemeleri ile elde edilen bulgular, 3105 Al alaşım matrisinde mevcut olan intermetalik partiküllerin boyutsal ve morfolojik açıdan farklılıklar gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu durum, söz konusu Al alaşım yüzeylerinin farklı soğuma hızlarına maruz kalarak katılaştıklarını göstermiştir. İkiz merdane sürekli döküm yönteminde ergimiş sıvı metal birbiri ile ters yönde dönen ve içerisinde soğutma suyunun sirküle olduğu merdaneler arasına beslenmesi üzerine veya diğer bir ifade ile sıvı metal ile merdane teması gerçekleştiği anda katılaşmanın başlamasından dolayı, söz konusu alaşımların ikiz merdane sürekli döküm yöntemi ile üretilmesi esnasında termal iletkenlik değeri farklı olan iki farklı malzemeden üretilen merdane ile temas ederek katılaştığından, çelik ve bakır merdanelerde ısı iletimi dolayısıyla soğuma da farklı hızlarda gerçekleşeceğinden, katılaşma da alaşımların her iki yüzeyinde farklı hızlarda olacaktır. Çelik ve bakır merdanelerin

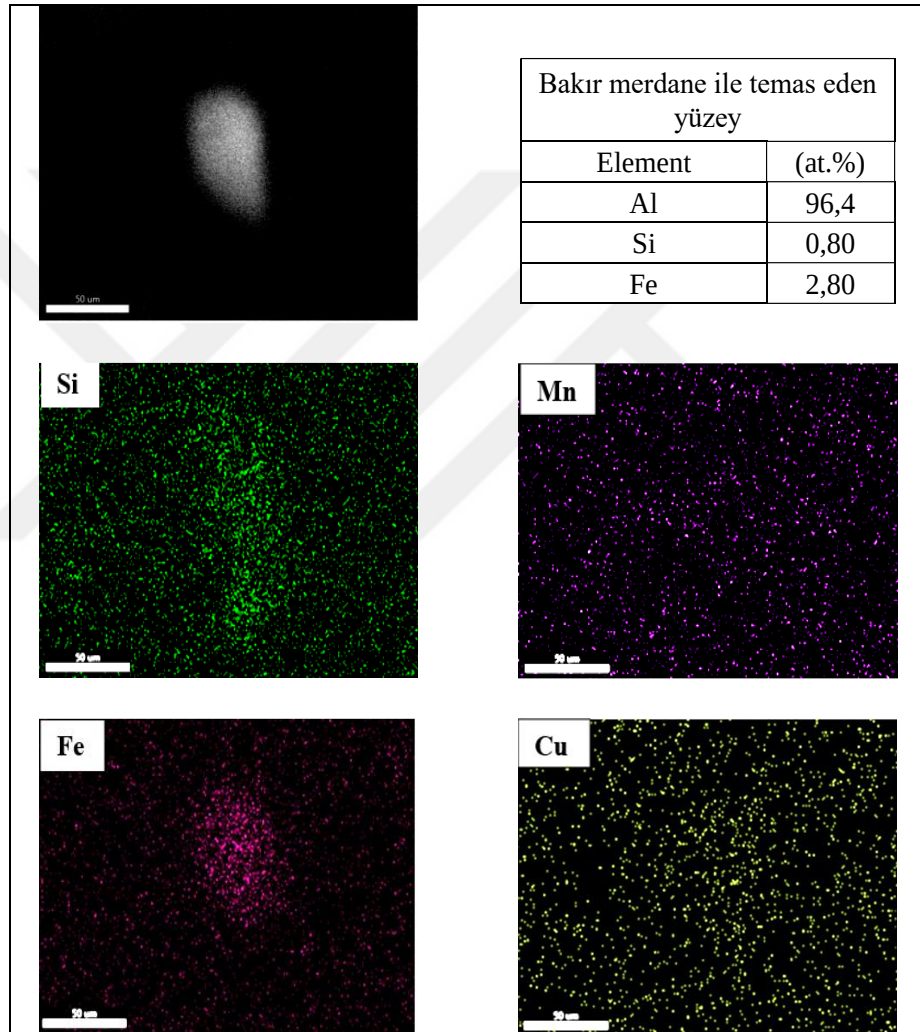
termal iletkenlik değerleri baz alındığında, alaşımın bakır merdane ile temas eden yüzeyi, elik merdane ile temas eden yüzeye göre daha hızlı katılaşacaktır. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin üretimi için Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.ř.'de kullanılan merdanelerin her ikisi de mukavemet özelliklerinin gelişmiş olması için elik ve bakırın alaşımlı hali olarak kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan 3105 Al alaşımının üretiminde kullanılan bakır ve elik merdaneler için termal iletkenlik değerleri sırasıyla, 240 ve 40 W/mK'dir. İki merdane yüzeyi arasında önemli bir termal iletkenlik farkı bulunmaktadır. Bakırın termal iletkenlik değeri, çeliğin termal iletkenlik değerinden çok daha yüksektir.

Bu açıklamalar doğrultusunda, elik merdaneye göre bakır merdane ile temas eden alaşım yüzeyinin katılaşma esnasında çok daha hızlı bir soğumaya maruz kalması nedeniyle matriste oluşan intermetaliklerin yeterince büyüme (atomsal yayınının zorlaşması nedeni ile matrisin alaşım elementlerince aşırı doymuşluk durumu oluşturmasının yanı sıra) imkan bulamadan matriste daha homojen bir dağılım gösterecek şekilde daha küçük boyutlarda oluşmasına ve bu durumun da alaşımın her iki yüzeyinin farklı mikroyapısal özellikler göstermesine yol açtığı düşünölmüştür.

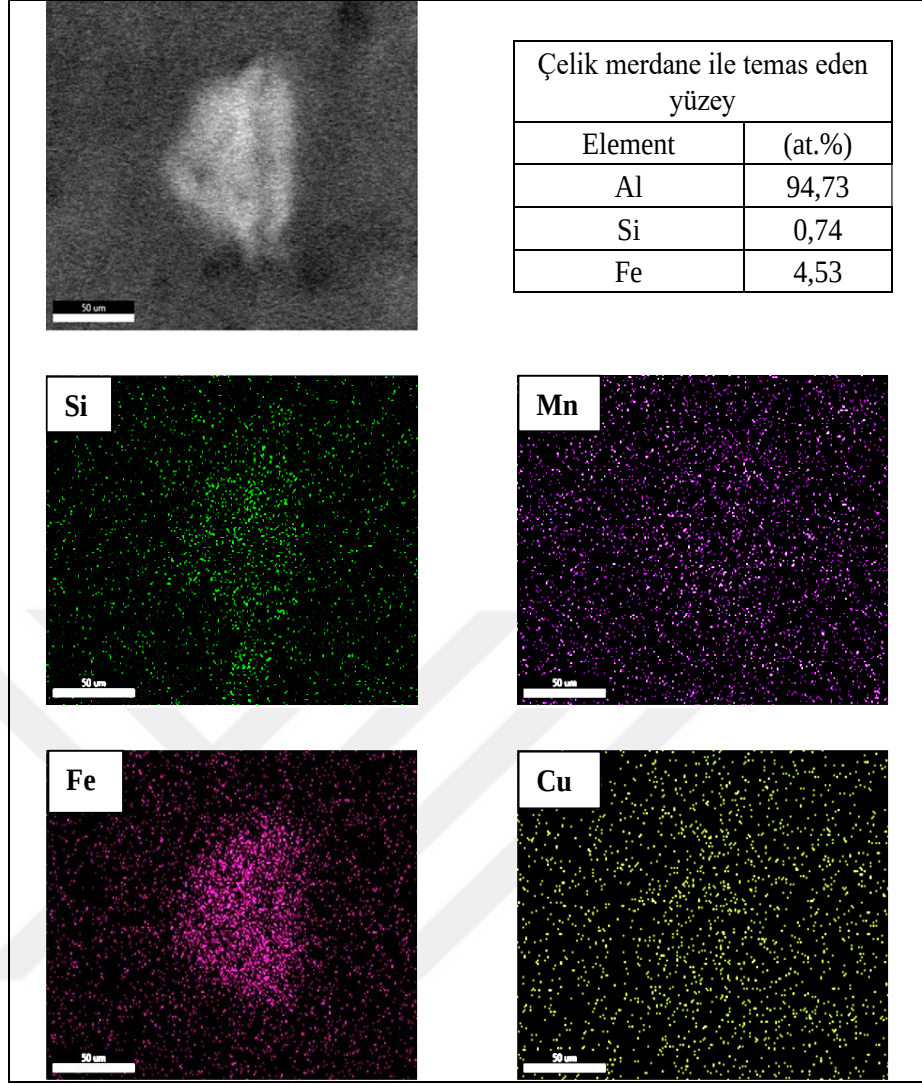


Şekil 7.2: 3105 alaşımı yüzeyden SEM görüntüleri a), c), e) Bakır merdane ile temas, b), d), f), Çelik merdane ile temas yüzeyi (korozyon öncesi).

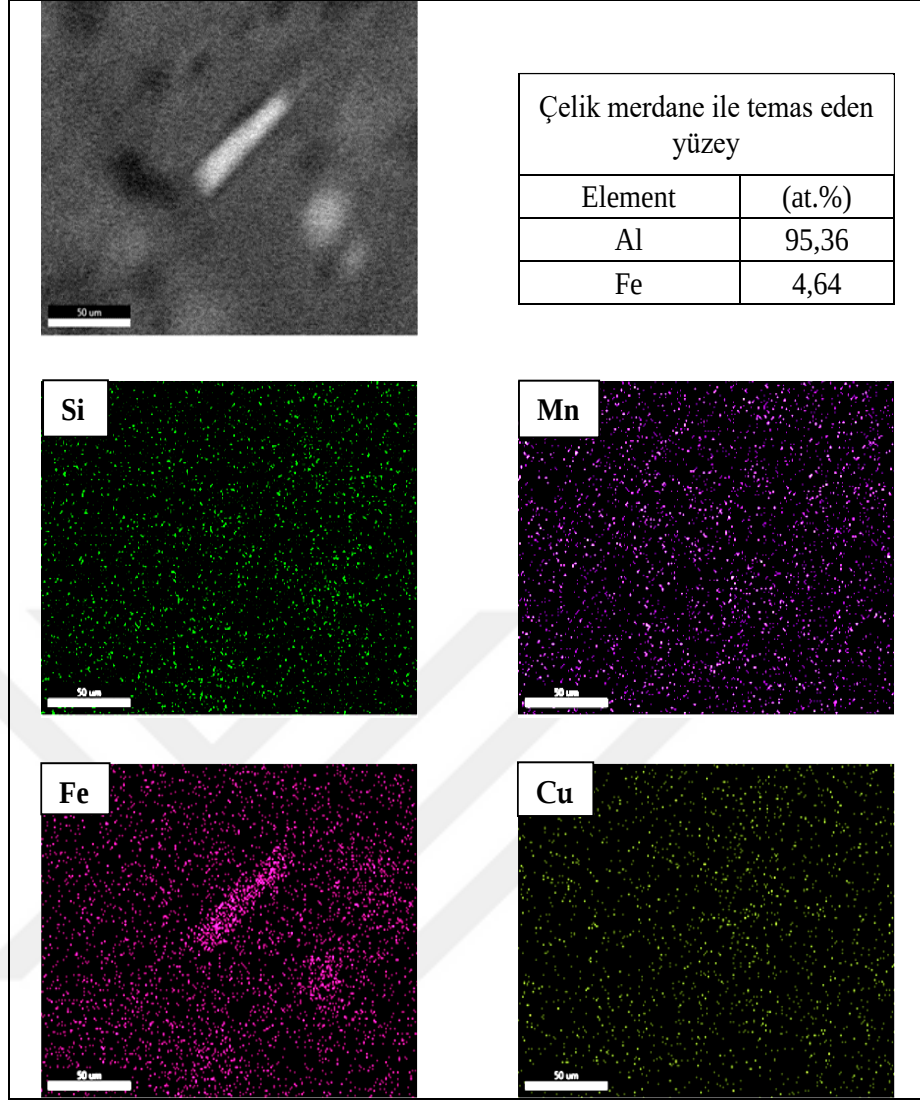
Bakır ve çelik merdane ile temas eden katılaşma yüzeylerinde oluşan intermetalik partiküller üzerinde yapılan elementel haritalama ve nokta EDS analiz sonuçları sırası ile Şekil 7.3, Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'te verilmiştir. Şekil 7.3'te bakır merdane ile temas eden yüzeyde bulunan intermetalik partiküllere ait elementel haritalama sonuçlarına ait örnek incelendiğinde, Al matriste oluşan intermetaliklerin demir (at.% $2,80 \pm 0,14$ Fe) ve silisyumca (at.% $0,80 \pm 0,16$ Si) zengin oldukları belirlenirken, Cu ve Mn'ın yapıda homojen bir dağılım gösterdiği görülmüştür.



Şekil 7.3: Bakır merdane ile temas eden yüzeydeki intermetalikler için elementel haritalama ve nokta EDS analiz sonuçları.



Şekil 7.4: Çelik merdane ile temas eden yüzeydeki intermetalikler için elementel haritalama ve nokta EDS analiz sonuçları.



Şekil 7.5: Çelik merdane ile temas eden yüzeydeki dikdörtgen morfolojideki intermetalik için elementel haritalama ve nokta EDS analiz sonuçları.

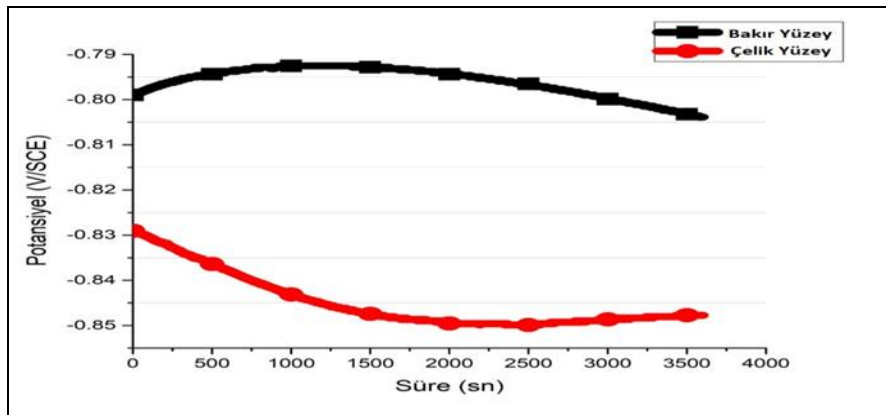
Çelik merdane ile temas eden yüzeyde bulunan farklı morfolojiye sahip intermetalik partiküller (Şekil 7.4 ve Şekil 7.5) üzerinde yapılan elementel haritalama çalışmalarına ait verilen örnek sonuçlar incelendiğinde, düzensiz şekilli intermetalik partiküllerin (Şekil 7.4) bakır merdane ile temas eden yüzeyde bulunan intermetalik partiküllere benzer şekilde demir (at.% $4,53 \pm 0,15$ Fe) ve silisyumca (at.% $0,74 \pm 0,18$ Si) zengin oldukları görülmüştür. Şekil 7.2' de verilen ve çelik merdane ile temas eden yüzeyde bulunan dikdörtgen morfolojiye sahip olan intermetalik partiküllerin (Şekil 7.5) demirce (at.% $4,64 \pm 0,23$ Fe) zengin oldukları belirlenmiştir. SEM incelemeleri esnasında yapılan elementel haritalama ve nokta EDS analizlerinin sonuçları, bakır merdane ile temas eden yüzeyde bulunan intermetaliklerin Al-Si-Fe'

den oluştuğunu gösterirken, çelik merdane ile temas eden yüzeyde oluşan intermetaliklerin tek bir kimyasal kompozisyona sahip olmadıklarını hem kendi içerisinde hem de bakır merdane yüzeyinde oluşan intermetaliklere göre kimyasal kompozisyon açısından farklılıklar gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda, çelik merdane ile temas eden yüzeyde oluşan Al-Si-Fe esaslı intermetalik partiküllerin bakır ile temas eden yüzeyde oluşan Al-Si-Fe esaslı intermetalik partiküllere göre daha yüksek oranda demir içeriğine sahip oldukları belirlenmiş olmanın yanı sıra, çelik ile temas eden yüzeyde Al-Si-Fe esaslı intermetaliklerin dışında Al-Fe esaslı intermetaliklerin de Al matriste bulunduğu belirlenmiştir. Bu intermetalik fazın Al_3Fe olduğu düşünülmektedir [36]. Belirtilen durumun daha önce yukarıda detaylı olarak verildiği üzere, çelik ve bakır merdanelerin birbirinden farklı soğutma hızlarından/kapasitelerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Özellikle demirin, alüminyum matris içerisinde dengeli katılaşma/soğutma durumunda çözünürlüğünün oldukça düşük olduğu dikkate alınır ise bakır merdane ile temas eden yüzeyde sıvı metalin soğuma/katılaşma hızı çelik merdane ile temas eden yüzeye göre daha yüksek hızlarda gerçekleştiğinden demirin, intermetalik içerisine yüksek oranda geçecek zamanı (atomsal yayılımın zorlaşmasından) bulamayıp matris yapısı içerisinde hapsolmesinden kaynaklandığı ve bu nedenle bakır merdane ile temas eden yüzeyde oluşan intermetaliklerin demir içeriğinin daha az olmasına yol açtığı düşünülmüştür. Diğer yandan çelik ile temas eden yüzeyde soğuma hızı göreceli olarak bakır merdane ile temas eden yüzeye göre çok daha düşük olduğundan, demir çok yüksek oranda yapıda bulunan intermetaliklerin içerisine geçmektedir. Bu durum, 3105 alüminyum alaşımının çelik ve bakır merdane ile temas eden yüzeylerinde gerçekleştirilen elektriksel iletkenlik (her bir yüzey için 10 farklı noktadan) ölçümleri ile doğrulanmıştır. 3105 Al alaşımının bakır merdane ile temas eden yüzeyinin elektrik iletkenliği $27,75 \pm 0,04$ MS/m ölçülürken, çelik merdane ile temas eden yüzeyin elektrik iletkenliği $27,93 \pm 0,03$ MS/m olarak ölçülmüştür. Elektriksel iletkenlik ölçüm sonuçlarına göre, bakır merdane ile temas eden yüzeyin elektrik iletkenliğinin daha düşük olması, bakır merdane ile temas eden yüzeyde soğumanın daha hızlı gerçekleşmesinden dolayı matrisin alaşım elementlerince daha doygun olmasından (matriste, göreceli olarak alaşım element içeriğinin artması) kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu durum aynı zamanda yukarıda verilen elementel nokta EDS analizleri ile de büyük bir uyum göstermekte ve ölçüm sonuçlarını doğrulamaktadır.

7.2. Korozyon Test Sonuçları

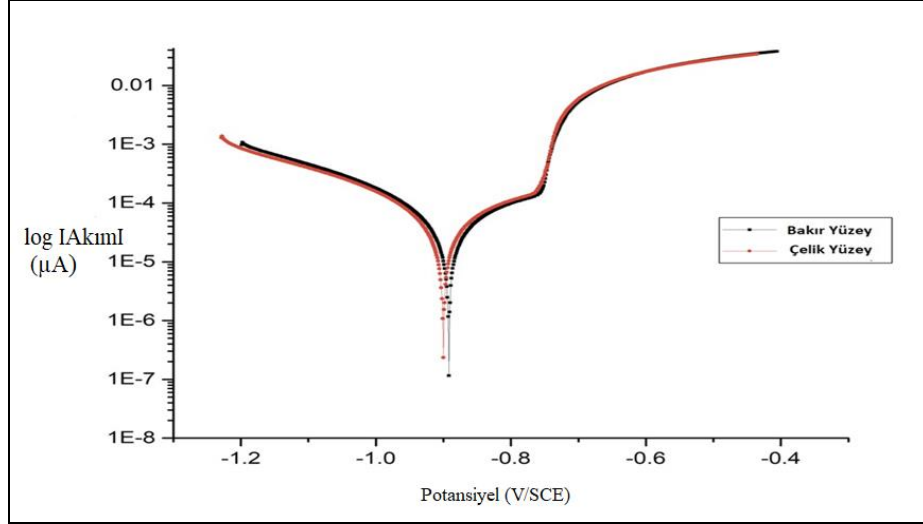
7.2.1. Elektrokimyasal Korozyon Test Sonuçları

3105 alüminyum alaşımının çelik ve bakır merdane ile temas eden yüzeylerine ait açık devre potansiyel (open circuit potential, OCP) ölçümlerinden elde edilen potansiyel (V)- zaman (sn) grafikleri Şekil 7.6’ da verilmiştir. Numunenin yüzeyleri 1 M NaCl çözeltisi içerisinde 3600 sn süreyle bekletilerek açık devre potansiyeli ölçümü gerçekleştirilmiş olup, referans SCE elektrotuna göre yüzeyde meydana gelen potansiyel değişim grafiği zamana bağlı olarak elde edilmiştir. Şekil 7.6’ da verilen eğriler incelendiğinde, bakır merdane ile temas eden yüzeyin yaklaşık olarak, -0,805 V, çelik merdane ile temas eden yüzeyin yaklaşık olarak -0,847 V kararlı potansiyel değerine sahip oldukları belirlenmiştir. Ölçüm sonuçları, bakır merdane ile temas eden yüzeyin, çelik merdane ile temas eden yüzeye göre göreceli olarak 42 mV daha pozitif bir değer sergileyerek daha soy davranış sergilediğini ortaya çıkarmıştır. Açık devre potansiyel ölçümlerinden elde edilen korozyon potansiyeli, malzemenin aktifliği dolayısıyla da o malzemenin korozyona yatkınlığı veya eğilimi hususunda yorum yapmaya olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda daha negatif potansiyel değerine sahip olan, diğer bir ifade ile iyonlaşma eğilimi fazla olan metalin korozyona uğraması daha kolay olmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda, çelik merdane ile temas eden yüzeyin daha negatif potansiyel değerine sahip olması, korozyona uğrama eğiliminin bakır merdane ile temas eden yüzeye göre daha fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 7.6: 3105 alüminyum alaşımının çelik ve bakır merdaneler ile temas eden yüzeylerinin OCP sonuçları.

3105 Al alaşının elik ve bakır merdane ile temas eden yüzeylerinin açık devre potansiyel (open circuit potential, OCP) lmlerinin ardından gerçekleştirilen polarizasyon ölçümleri esnasında elde edilen potansiyel değerleri(V)- akım (μA) değerleri grafiksel olarak şekil 7.7’de verilmiştir. İncelenen alaşımın yüzeylerine ait polarizasyon eğrilerinin benzer davranış sergiledikleri belirlenmiş olmakla birlikte, elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri üzerinde gerçekleştirilen Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile belirlenen, incelenen yüzeye ait korozyon potansiyeli (E_{kor}), korozyon akımı (I_{kor}) ve korozyon akımının çözelti ile temas eden yüzey alanına bölünmesi ile elde edilen korozyon akım yoğunluğu (i_{kor}) ve polarizasyon direnci(R_p) değerlerinin yanı sıra, Bölüm 6.2.3.2’ de verilen denklem 6.2’ ye göre hesaplanan korozyon hızları Tablo 7.1’de verilmiştir. Tafel ekstrapolasyon yöntemi uygulanması ile elde edilen sonuçlara göre, bakır merdane ile temas eden yüzeyin korozyon potansiyeli (E_{kor}) ve korozyon akım yoğunluğu (i_{kor}) ve korozyon hız (mm/yıl) değerlerinin göreceli olarak elik merdane ile temas eden yüzeye göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bakır merdane ile temas eden yüzeyin polarizasyon direnci (R_p), elik merdane ile temas eden yüzeydeki değere göre daha yüksektir. Malzemenin R_p değerinin yüksek olması, malzemenin korozyona karşı dirençli olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, elik merdane ile temas eden yüzeyin (0,022 mm/yıl), bakır merdane ile temas eden yüzeye (0,018 mm/yıl) göre daha yüksek korozyon hızına diğer bir ifade ile daha düşük korozyon direncine sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. elik merdane ile temas eden yüzey, bakır merdane ile temas eden yüzeye göre korozyon hızı açısından kıyaslandığında, elik merdane ile temas eden yüzeyin 1 yıl süre zarfında %22 oranında daha hızlı korozyona uğrayacağı belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonrasında söz konusu yüzeyler için elde edilen korozyon hız değerlerinin, açık devre potansiyel ölçüm sonuçları ile de uyumlu olduğu belirlenmiştir.



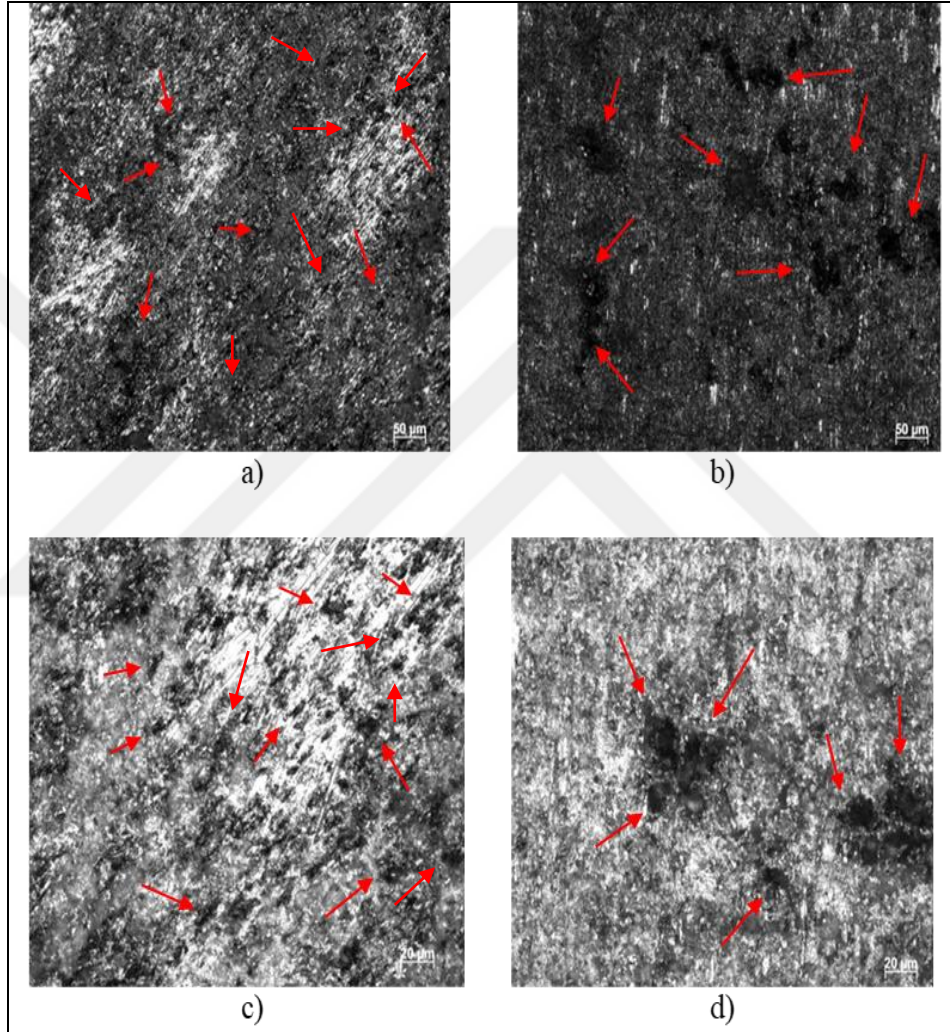
Şekil 7.7: 3105 alüminyum alaşımının bakır ve çelik merdaneler ile temas eden yüzeylerinin tafel ekstrapolasyon grafikleri.

Tablo 7.1: İncelenen yüzeylerin potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile belirlenen korozyon potansiyeli (E_{kor}), korozyon akımı (I_{kor}), korozyon akım yoğunluğu (i_{kor}), polarizasyon direnci (R_p) ve korozyon hız (mm/yıl) değerleri.

Merdane Temas Yüzeyi	Bakır	Çelik
E_{kor} (V)	-0,888	-0,899
I_{kor} (μ A)	3,74	4,66
i_{kor} (μ A/cm ²)	1,65	2,05
β_a	0,0032	0,0025
β_c	0,0035	0,0027
R_p (k Ω cm ²)	0,44	0,27
Korozyon Hızı (mm/yıl)	0,018	0,022

1 M NaCl çözeltisi içerisinde elektrokimyasal korozyon testlerine tabi tutulan 3105 Al alaşımının çelik ve bakır merdaneler ile temas eden yüzeylerine ait optik mikroskop ve SEM yüzey fotoğrafları sırası ile Şekil 7.8 ve Şekil 7.9’ da verilmiştir. Elektrokimyasal korozyona tabi tutulan yüzeylerin optik mikroskop ve SEM yüzey görüntüleri incelendiğinde, korozyona uğrayan yüzeylerin tek düze olarak korozyona uğramadığı görülmektedir. Genellikle Al alaşımlarında görülen bölgesel korozyona uğradığı belirlenmiştir. Bu kapsamda, verilen şekillerden de görüleceği gibi matrisin gelişen korozyona bağlı olarak özellikle intermetalik partikül içeren bölgelerde daha hızlı bir şekilde çözünme eğilimi gösterdiği ortaya konmuştur. Bu anlamda bakır

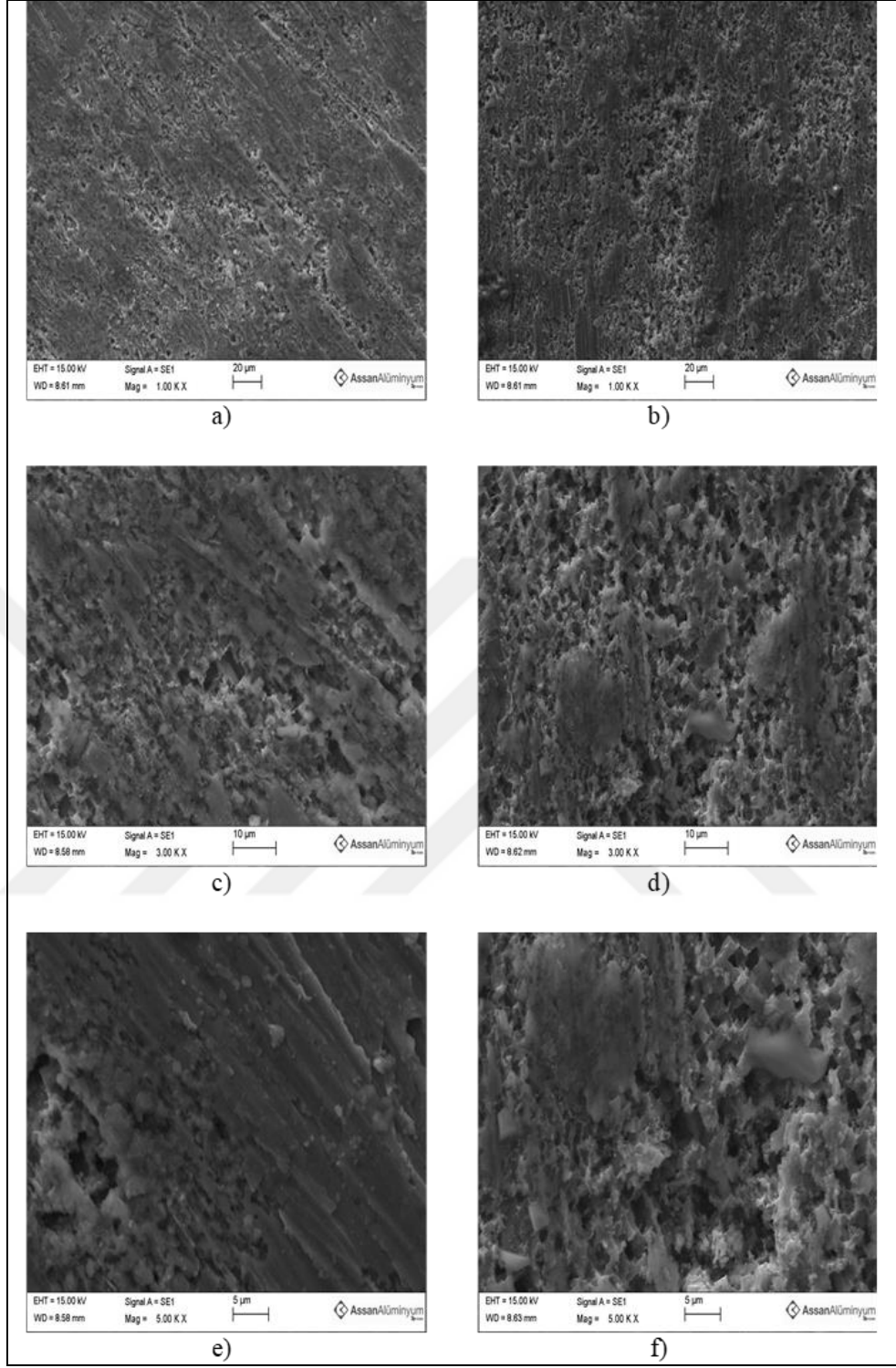
merdane ile temas eden yüzeye göre çelik merdane ile temas eden yüzeyin daha az sayıda, derin ve belirgin çukurcuklar içerdiği belirlenmiştir. Bakır merdane ile temas eden yüzeyde ise korozyon kaynaklı oluşan çukurcuklar göreceli olarak sayıca biraz daha fazla olmakla birlikte oluşan çukurcukların genişlik ve derinliklerinin, çelik merdane ile temas eden yüzeyde oluşan çukurcuklara göre, sırası ile daha dar ve sığ oldukları belirlenmiştir.



Şekil 7.8: (a-c) Bakır merdane, (b-d) Çelik merdane ile temas eden yüzey-korozyon sonrası yüzeyden optik mikroskop görüntüleri.

Korozyona tabi tutulan yüzeylerin SEM’de yapılan yüzey incelemelerinde (Şekil 7.9), Al matriste bulunan intermetalik partiküllerin, matrisin intermetaliklerin olduğu bölgelerde lokal olarak çözünmesine bağlı olarak matristen ayrıldığı/uzaklaştığı belirlenmiştir. Bu durum, genel olarak Al matriste oluşan Al-Si-Fe ve Al-Fe esaslı intermetaliklerin, matrise göre daha soy/katodik davrandıklarını

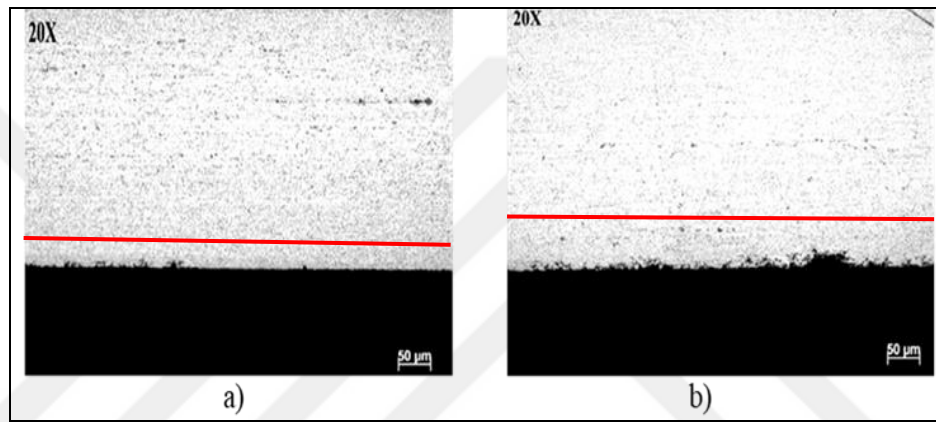
ortaya çıkarmıştır. Literatürde Al alaşımlarının korozyon davranışları hususunda yapılan araştırmaların sonuçlarına göre, Al matriste oluşan intermetalik partiküllerin kimyasal kompozisyonlarının ve boyutlarının söz konusu Al alaşımının korozyon davranışı üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip oldukları, matris/intermetalik partikül arasındaki potansiyel farkını (soy/katodik aktiviteyi) artırma yönünde etki yaptıkları ve çukurcuk/oyuk başlatma bölgeleri olarak görev yaptıkları belirtilmiştir [35]. İlave olarak söz konusu alaşımın yapısında oluşan intermetaliklerden, demir içeriği yüksek olanların daha yüksek katodik aktivite gösterdikleri (göreceli olarak intermetaliklerin daha katodik, matrisin ise daha anodik olmasına sebep olarak) ve buna bağlı olarak çok daha hızlı bir şekilde çukurcuk/oyuklanma tarzında korozyona yol açtıkları belirtilmiştir [36], [37]. Bu kapsamda bu yüksek lisans tezinin “7.1. Mikroyapı Çalışma Sonuçları” bölümünde daha önce detaylı olarak verildiği üzere, çelik merdane ile temas eden yüzeyde bulunan intermetalik partiküllerin boyutları soğuma hızına bağlı olarak, bakır merdane ile temas eden yüzeyde bulunan intermetalik partiküllere göre sayıca göreceli olarak daha az fakat daha büyük boyutlarda oluşmaktadır. Aynı zamanda matriste oluşan intermetaliklerin (Al-Si-Fe ve Al-Fe esaslı) demir içeriklerinin de bakır merdane ile temas eden yüzeyde oluşan intermetalik (Al-Si-Fe esaslı) fazına göre yüksek oluşu (Şekil 7.4 ve Şekil 7.5’ te verilen nokta EDS analiz sonuçları) söz konusu intermetaliklerin matrise göre daha yüksek katodik aktivite göstermelerine (mikro-galvanik korozyon itici gücünün artması) neden olduğu ve bu durumun da çelik merdane ile temas eden söz konusu Al alaşımının yüzeyinde oyuk/çukurcuk tarzında korozyonun daha hızlı/şiddetli bir şekilde gelişmesine yol açtığı düşünülmüştür.



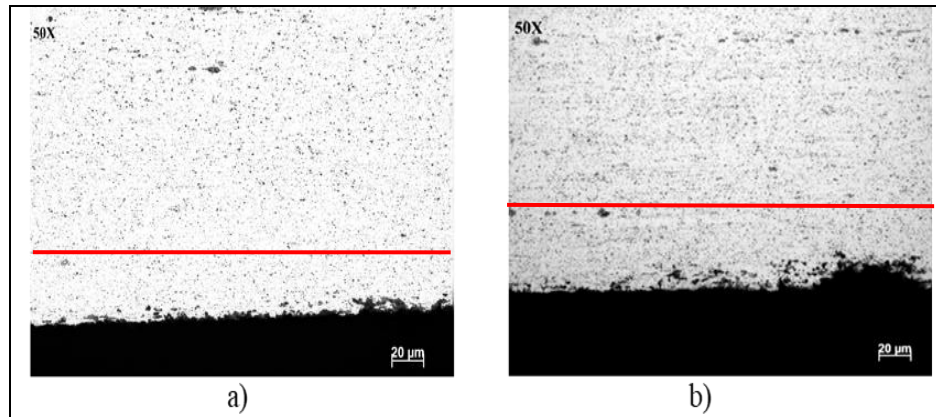
Şekil 7.9: (a-c-e) Bakır merdane, (b-d-f) Çelik merdane ile temas eden yüzey-korozyon sonrası SEM görüntüleri.

Elektrokimyasal korozyon testleri sonrasında, optik mikroskop ve SEM altında yapılan elektrokimyasal korozyona tabi tutulmuş yüzeylerin incelemeleri sonrasında, yüzeylerde oluşan oyuk/çukurcuk tarzında korozyonun daha net belirlenebilmesi

(oyuk/çukurcukların derinliği, al uminyum alaşımlarının korozyon direncini belirlemek için kullanılan kriterlerin başında gelmesinden dolayı) için gerçekleştirilen enine kesit optik mikroskop çalışmalarına ait görüntüler, şekil 7.10 ve şekil 7.11’de verilmiştir. Enine kesit optik mikroskop çalışmaları bakır ve  elik merdane ile temas eden yüzeylerde gelişen korozyon türünün oyuk/çukurcuk korozyonu olduğunu net olarak ortaya çıkarmakla birlikte,  elik merdane ile temas eden yüzeyde oluşan oyuk/çukurcukların derinliklerinin bakır merdane ile temas eden yüzeyde oluşanlara göre daha büyük ve belirgin olmasının yanı sıra bu yüzeyde korozyonun daha hızlı/agresif olarak gerçekleştiğini ortaya çıkarmıştır.



şekil 7.10: a) Bakır merdane, b)  elik merdane ile temas eden yüzey- korozyon sonrası enine kesit optik mikroskop görüntüleri.



şekil 7.11: a) Bakır merdane, b)  elik merdane ile temas eden yüzey- korozyon sonrası enine kesit optik mikroskop görüntüleri.

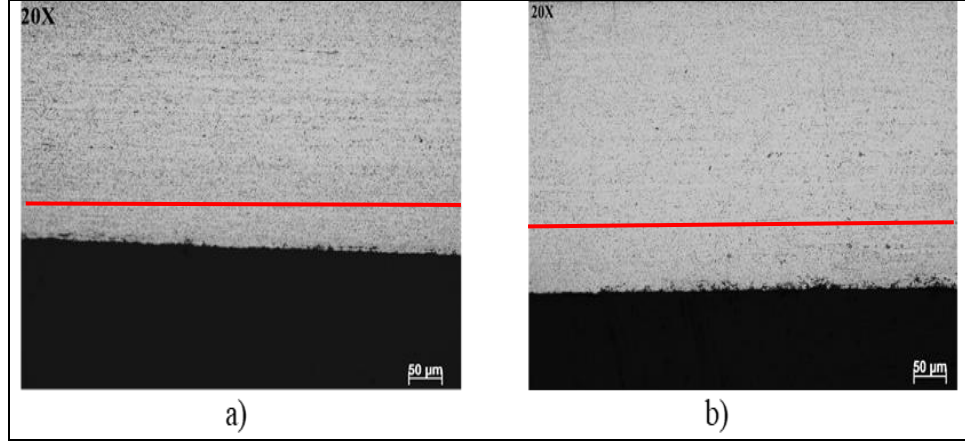
7.2.2. Daldırma Korozyon Test Sonuçları

Çelik ve bakır merdanelere temas eden nihai kalınlıktaki 3105 Al alaşımının her iki yüzeyine 0,1 M NaCl çözeltisinde 10 gün süre (240 saat) ile yapılan daldırma korozyon testlerinin sonuçları, Tablo 7.2’de verilmiştir. Kütle kaybı değerleri kullanılarak çelik ve bakır merdaneler ile temas eden yüzeyler için Bölüm 5.1’ de verilen denklem (5.1) kullanılarak hesaplanan korozyon hızı (mm/yıl) değerleri incelendiğinde, 3105 Al alaşımının çelik merdane ile temas eden yüzeyinin (0,030 mm/yıl), bakır merdane ile temas eden yüzeye (0,020 mm/yıl) göre korozyon hızının daha yüksek olduğu belirlenmiş olup bu sonuç, alaşımın çelik merdane ile temas eden yüzeyinin bakır merdane ile temas eden yüzeye göre %50 oranda daha hızlı korozyona uğradığını ortaya koymuştur. Daldırma korozyon test sonuçlarının, söz konusu yüzeylere uygulanan elektrokimyasal korozyon testlerinin sonuçları ile uyumlu ve birbirini destekler nitelikte olduğu belirlenmiştir.

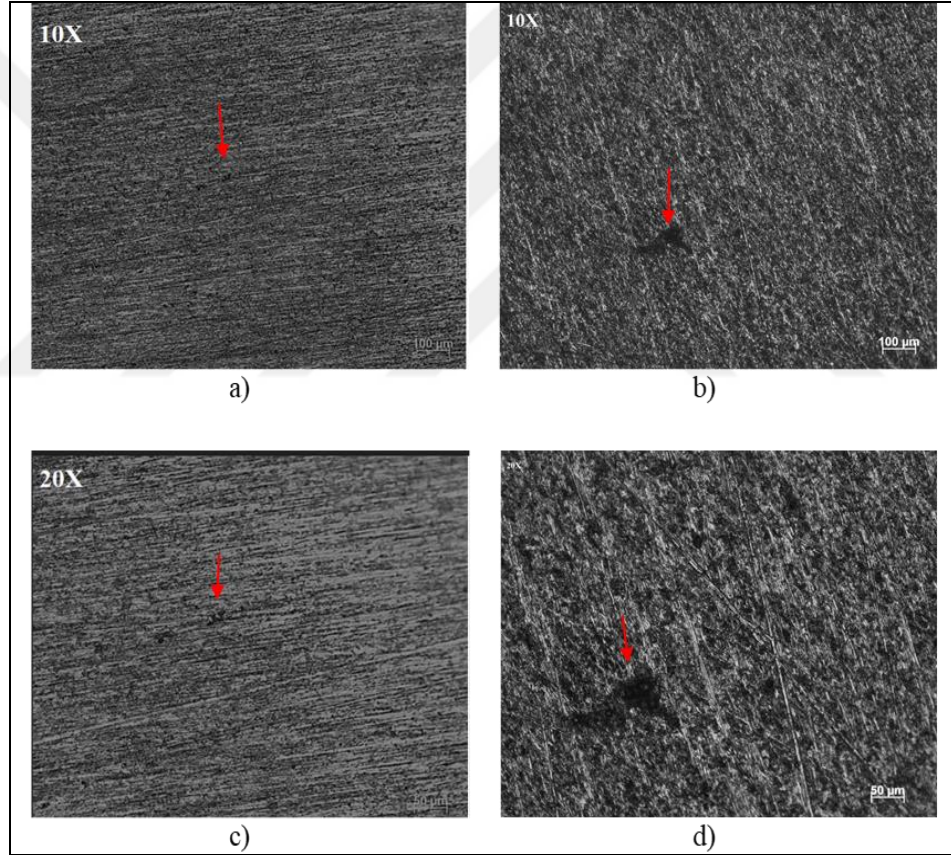
Tablo 7.2: Daldırma korozyon testi sonuçlarına göre hesaplanan korozyon hızları.

Merdane Temas Yüzeyi	İlk Kütle (g)	Son Kütle (g)	Kütle Kaybı (g)	Korozyon Hızı (mm/yıl)
Bakır	1,0156	1,0138	0,0018	0,020
Çelik	0,9890	0,9863	0,0027	0,030

0,1 M NaCl çözeltisinde 10 gün süre (240 saat) ile yapılan daldırma korozyon testleri sonrasında incelen yüzeylerin enine kesitlerinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmalarına ait görüntüler, Şekil 7.12’de verilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, elektrokimyasal korozyon test sonuçlarına benzer şekilde 3105 Al alaşımının çelik merdane ile temas eden yüzeyinin çok daha belirgin/hızlı bir şekilde korozyona uğradığı belirlenmiştir. Daldırma korozyon testi sonrası numunelerin yüzeyden optik mikroskop görüntüleri de incelenmiştir. Şekil 7.13’te verilen görüntülerde, bakır merdane ile temas eden alaşım yüzeyinde oluşan korozyon kaynaklı çukurların, çelik merdane ile temas eden yüzeydeki çukurlara göre daha küçük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7.12: a) Bakır merdane, b) Çelik merdane ile temas eden yüzey- enine kesit optik mikroskop görüntüleri.

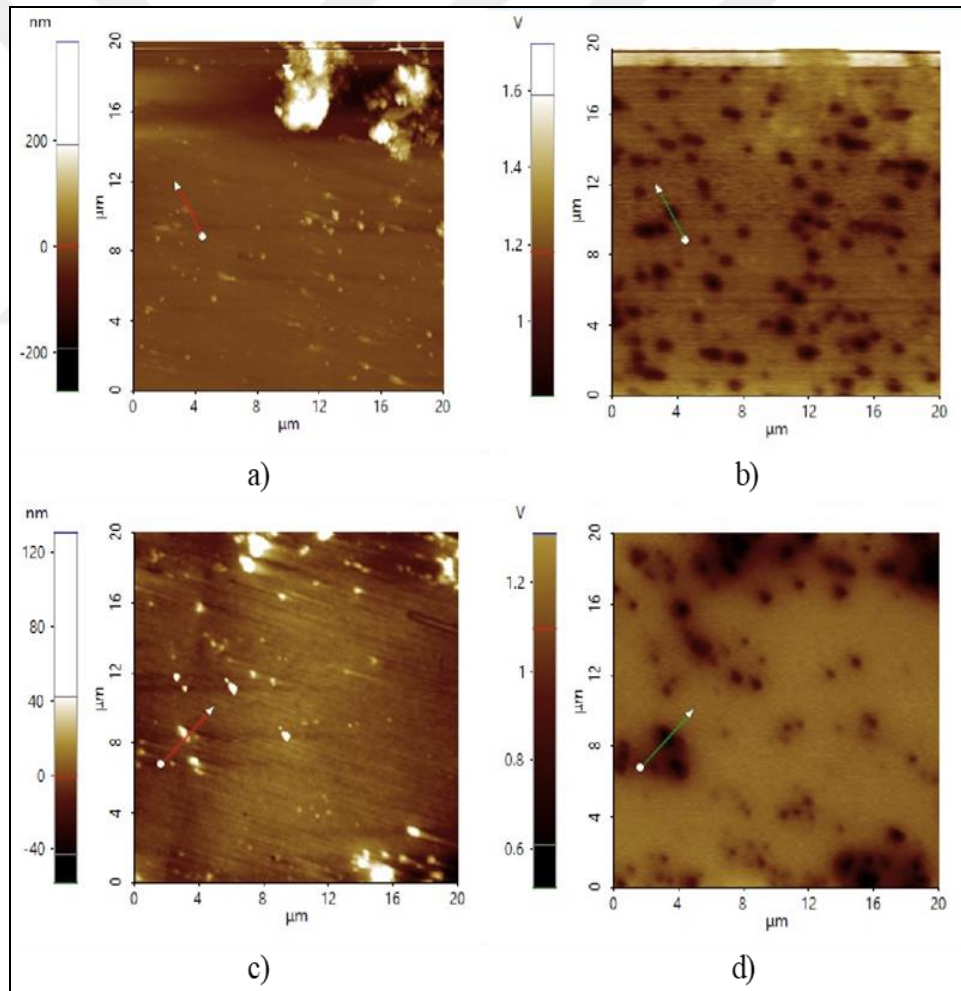


Şekil 7.13: (a-c) Bakır merdane, (b-d) Çelik merdane ile temas eden yüzey-yüzeyden optik mikroskop görüntüleri.

7.3. AFM-SKPFM Sonuçları

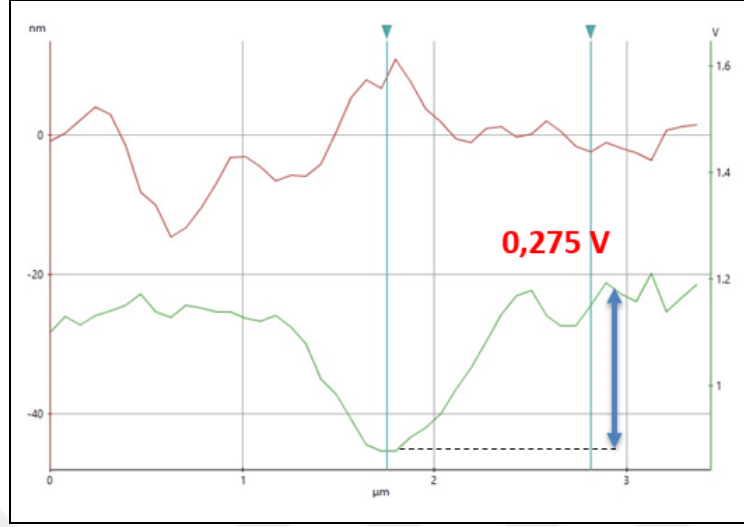
Bölüm 7.2.1 ve 7.2.2’ de detaylı olarak verilen elektrokimyasal ve daldırma korozyon testleri esnasında gelişen korozyonun (çukurcuk/oyuklanma tarzında) itici

güç olan matris ve intermetalikler arasındaki potansiyel farkını (mikro-galvanik korozyon hücresi) ortaya çıkarmak ve incelenen yüzeylerin korozyon davranışlarını/hızlarını daha net olarak açıklığa kavuşturabilmeye yönelik olarak, 3105 Al alaşımının çelik ve bakır merdane ile temas eden yüzeylerinde ayrı ayrı Taramalı Kelvin Prob Kuvvet Mikroskobu (AFM/SKPFM) kullanılarak volta potansiyel (matris ve intermetalikler arasında) haritaları oluşturulmuştur. Bu kapsamda, bakır ve çelik merdane ile temas eden yüzeylerde volta potansiyel ölçümlerinin gerçekleştirildiği yüzeylere ait örnek AFM görüntüleri Şekil 7.14'te, söz konusu seçili alanlarda yapılan volta potansiyel fark ölçümlerine örnek Şekil 7.15'te, hem bakır hem de çelik merdane ile temas eden yüzeylerde beş farklı alandan alınan ölçümlerin ortalaması Şekil 7.16'da verilmiştir.

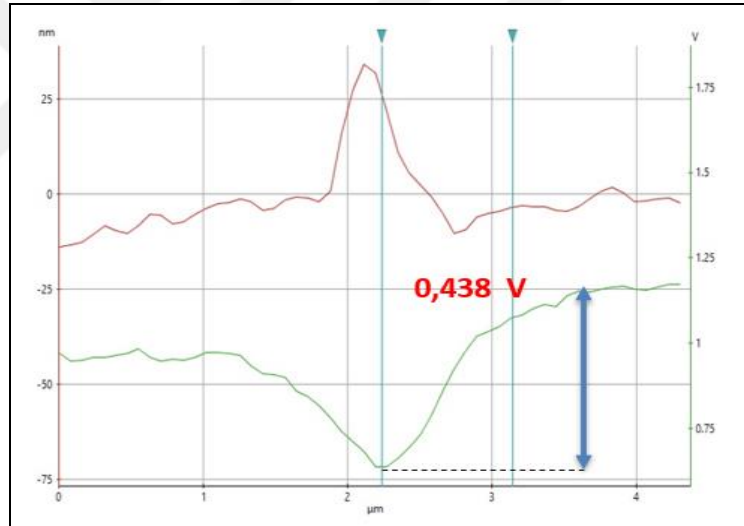


Şekil 7.14: Bakır ve çelik merdaneler ile temas eden yüzeylere ait sırası ile a) ve c) Yüzey topografya, b) ve d) Volta potansiyel harita ölçüm yüzey görüntüleri.

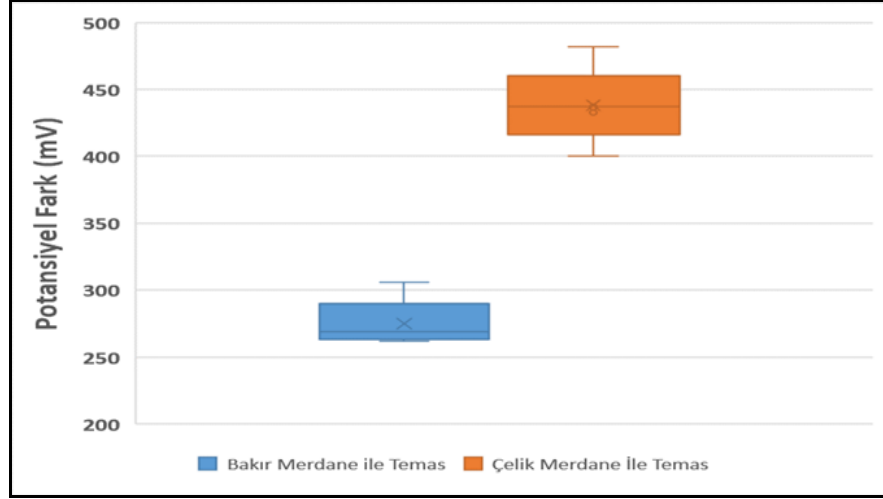
Bakır merdane ile temas



Çelik merdane ile temas



Şekil 7.15: 3105 alüminyum alaşımı bakır ve çelik merdane ile temas yüzeyleri matris-intermetalik volta potansiyel farkları (V).



Şekil 7.16: 3105 alüminyum alaşımı bakır ve çelik mordane ile temas yüzeyleri matris-intermetalik volta potansiyel farkları (mV).

Gerçekleştirilen Taramalı Kelvin Prob Kuvvet Mikroskobu (AFM/SKPFM) ölçümlerine (Şekil 7.14 ve Şekil 7.15) göre, 3105 Al alaşımının bakır mordane ile temas eden yüzey yapısındaki intermetalik ve matris arasındaki volta potansiyel fark, ortalama olarak 0,275 V ölçülürken, bu değer çelik mordane ile temas eden yüzey için ortalama 0,438 V civarında ölçülmüştür. Bu ölçüm sonuçları çelik mordane ile temas eden yüzeydeki intermetalikler ile matris arasındaki potansiyel farkın, bakır mordane ile temas eden yüzeydeki intermetalikler ile matris arasındaki potansiyel farktan daha yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda, matris ve intermetalik arasındaki volta potansiyel farkın yüksek olmasının malzemenin korozyon direncini düşüren veya mikro-galvanik korozyon itici gücünü artıran bir durum olması nedeni ile bu sonucun Bölüm 7.2.1 ve 7.2.2’ de detaylı olarak verilen elektrokimyasal ve daldırma korozyon test sonuçlarını destekleyici ve açıklayıcı nitelikte olduğu görülmüştür.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, 3105 Al alaşımı üzerinde yapılan volta potansiyel ölçüm sonuçlarının, literatürde AA3003 Al alaşımı üzerinde araştırma gruplarınca gerçekleştirilen volta potansiyel ölçüm sonuçları ile de uyumlu olduğu belirlenmiştir [35]. Söz konusu çalışmada, demirce zengin intermetalik partiküllerin Al matrise göre daha katodik davranması nedeniyle intermetalik ve alüminyum matris arasında mikro-galvanik bağlantıya neden olduğu, bu durumun da matris çevresinde oyuk/çukurcuk tarzında korozyona sebep olduğu belirtilmiştir. Bu kapsamda incelenen yüzeylere ait Taramalı Kelvin Prob Kuvvet Mikroskobu

(AFM/SKPFM) ölçümlerinden elde sonuçlar ile korozyon testlerinden elde edilen bulgular birlikte ve aşağıda maddeler halinde verilen gerekçeler ile açıklanmıştır:

i) Bu yüksek lisans tezinin “7.1. Mikroyapı Çalışma Sonuçları” ve “7.2. Korozyon Test Sonuçları” bölümlerinde detaylı olarak verildiği üzere, çelik merdane ile temas eden yüzeyde katılaşmanın daha düşük hızlarda gerçekleşmesi nedeni ile oluşan intermetaliklerin (Al-Fe-Si ve Al-Fe esaslı) daha yüksek demir içeriklerine ve bunun bir sonucu olarak matrisin alaşım elementlerince daha az doygunluğa (Bölüm 7.1’ de verilen elektriksel iletkenlik ölçüm sonuçlarına göre) sahip olması nedeni ile çelik merdane ile temas eden yüzey (matris ve intermetalikler arasında) için volta potansiyel farkı, bakır merdane ile temas eden yüzeye göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum çelik merdane ile temas eden yüzeyde, bakır merdane ile temas eden yüzeye göre çukurcuk/oyuk tarzında korozyonun daha erken başlayıp daha hızlı ve agresif bir şekilde gelişmesine neden olduğunu açıklamaktadır.

ii) Bakır merdane ile temas eden yüzeyde katılaşmanın, çelik merdane ile temas eden yüzeye göre yüksek hızlarda gerçekleşmesi nedeni ile oluşan intermetalik boyutlarının görece oldukça küçük ve aynı zamanda intermetalik bileşiğin demir içeriği açısından (çelik merdane ile temas eden yüzeyde oluşan intermetaliklere göre) daha fakir olmasının yanı sıra, matrisinde hızlı katılaşma nedeni ile alaşım elementlerince daha yüksek doygunluğa sahip olması, matris ve intermetalikler arasındaki volta potansiyel farkının, çelik merdane ile temas eden yüzeye göre daha düşük ölçülmesine neden olmaktadır. Bu durum da bakır merdane ile temas eden yüzeyde korozyonun daha yavaş ve yumuşak bir şekilde gerçekleşmesine sebep olmaktadır.

8. GENEL SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, çelik/bakır merdane çifti kullanılarak ikiz merdane sürekli döküm tekniği ile üretilen 3105 alüminyum alaşımının farklı soğuma hızları ile katılaşması sebebi ile iki yüzeyde oluşan mikroyapısal farklılıkların söz konusu alaşımın korozyon davranışına etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

i) Çelik/bakır merdane çifti kullanılarak ikiz merdane sürekli döküm tekniği ile üretilen 3105 alüminyum alaşımının, farklı termal iletkenliklere sahip malzemelerden üretilen merdanelere temas ederek katılaşan yüzeylerinin mikroyapısal bileşenler (matris ve intermetalikler) açısından farklılıklar içerdiği belirlenmiştir. Yapılan mikroyapısal incelemelerin sonucuna göre, alaşımın bakır merdane ile temas eden ve daha yüksek soğuma hızına tabi olan yüzeyindeki intermetaliklerin tek bir kompozisyona sahip olduğu ve boyutlarının daha küçük ve matriste daha homojen olarak dağıldığı belirlenmiştir. Çelik merdane ile temas eden yüzeyde ise birden fazla kimyasal kompozisyona sahip farklı morfolojilerde daha büyük boyutlarda intermetaliklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Bakır merdane ile temas eden yüzeydeki intermetaliklerin Al-Fe-Si esaslı olduğu belirlenirken, çelik merdane ile temas eden yüzeylerde oluşan intermetaliklerin Al-Fe-Si ve Al-Fe esaslı oldukları belirlenmiştir. Buna ilave olarak bakır ile temas eden yüzey matrisinin ($27,75 \pm 0,04$ MS/m) alaşım elementlerince, çelik merdaneye temas eden yüzey matrisine ($27,93 \pm 0,03$ MS/m) göre daha doygun olduğu belirlenmiş olup bu durum söz konusu yüzeylerin elektrik iletkenlik ölçümleri ile doğrulanmıştır.

ii) Yapılan elektrokimyasal ve daldırma korozyon test sonuçlarından OCP testine göre, bakır merdane ile temas eden yüzeyin, çelik merdane ile temas eden yüzeye göre 42 mV daha pozitif bir potansiyel değer sergileyerek daha soy davrandığı gözlemlenmiştir. Bakır merdane ile temas eden yüzeyde korozyona uğrama eğiliminin daha az olduğu belirlenmiştir. Yapılan potansiyodinamik test sonuçlarına göre, bakır merdane ile temas eden yüzeyin korozyon hızı 0,018 mm/yıl olarak bulunurken, bu değer çelik merdane ile temas eden yüzey için 0,022 mm/yıl'dır. Çelik merdane ile temas eden yüzeyin, bakır merdane ile temas eden yüzeye göre 1 yıl içerisinde %22 daha hızlı korozyona uğradığı tespit edilmiştir. Yapılan daldırma korozyon testi sonuçlarında ise bakır merdane ile temas eden yüzeyin

korozyon hızı 0,020 mm/yıl olarak bulunurken, bu değer çelik merdane ile temas eden yüzey için 0,030 mm/yıl 'dır. Korozyon testleri sonrasında her iki yüzey incelendiğinde, çelik merdane ile temas eden yüzeyde oyuklanmanın daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla 3105 alaşımı levhanın çelik merdane ile temas eden yüzeyinin bakır merdane ile temas eden yüzeye göre korozyona uğrama potansiyelinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. AFM/SKPFM sonuçlarına göre, çelik merdane ile temas eden yüzeydeki intermetalikler ile matris arasındaki potansiyel farkın, bakır merdane ile temas eden yüzeydeki intermetalikler ile matris arasındaki potansiyel farktan daha yüksek olduğu görülmüştür. Matris ve intermetalik arasındaki volta potansiyel farkın yüksek olması, malzemenin korozyon direncini düşüren bir durumdur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, çelik merdane ile temas eden tarafta volta potansiyel fark değerinin daha yüksek çıkması bu yüzeyi korozyon başlangıcı ve hızı için güçlü bir aday haline getirmektedir. AFM-SKPFM test sonuçları korozyon test sonuçları ile uyumludur. Korozyon sonrası numuneler için enine kesitten yapılan optik mikroskop incelemelerinde, alüminyum alaşımlarda en çok görülen korozyon türü olan oyuklanma veya diğer adı ile çukurcuk (pitting) korozyonu görülmüştür. Çelik merdane ile temas eden tarafta oyukların daha hızlı ilerlediği ve boyutlarının daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

iii)Yapılan çalışmalar ve elde edilen tüm sonuçlar incelendiğinde, çelik ve bakırın termal iletkenliklerinin farklı olması 3105 alüminyum alaşımının iki yüzeyinde döküm sırasında katılaşmanın farklı hızlarda gerçekleşmesine sebep olmuştur. Aynı malzemenin iki yüzeyi farklı mikroyapı özellikleri sergilemiştir. Bakır ile temas eden yüzeydeki intermetaliklerin demirce fakir, boyutlarının küçük ve matris içerisine daha homojen dağılmasının yanı sıra matrisin daha doygun bir yapıda olması, bakır merdane ile temas eden yüzeyde matris ve intermetalik arasındaki korozyon için itici güç olan volta potansiyel farkı azaltmış olup bakır merdane ile temas eden yüzeyin nihai kalınlıkta daha yüksek korozyon direnci sergilemesine sebep olmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Varshney D., Kumar K., (2021), “Application and use of different aluminium alloys with respect to workability, strength and welding parameter optimization”, Ain Shams Engineering Journal, 12 (1), 1143-1152.
- [2] Altuner H., Işıksaçan C., Birbaşar O., Günyüz M., Meydanoglu O., (2016), “Crystallographic Texture Development of As-Cast 3105 Alloy Produced by St/Cu Shell Pair”, Light Metals.
- [3] Vargel C., (2004), “Corrosion of Aluminium”, 1st Edition, Elsevier, Boston.
- [4] Yağcı T., Cöcen Ü., Çulha O., Korkmaz A., (2021), “Alüminyum Döküm Alaşımlarına Dair Son Yıllardaki Akademik ve Endüstriyel Gelişmelere Genel Bakış ve Değerlendirme”, Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 26 (3).
- [5] Askeland D. R., Fulay P.P., Wright W.J., (2011), “The Science and Engineering of Materials”, 6th Edition, Cengage Learning.
- [6] Kaufman J.G., (2000), “Introduction to Aluminum Alloys and Tempers”, 1st Edition, ASM International.
- [7] Altenpohl D.G., (1998), “Aluminum: Technology, Applications and Environment: A Profile of a Modern Metal Aluminum from Within”, 6th Edition, John Wiley & Sons.
- [8] Öz Ö., (2007), “Yaşlandırma Isıl İşleminin AA 7075 Malzemeli Dikdörtgen Plâgın Burkulma Yüğü Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.
- [9] Delikanlı Y., (2011), “Alüminyum Alaşımlarında Çökelme Sertleşmesinin Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- [10] Vikas P., Sudhakar I., MohanaRao G., Srinivas B., (2021), “Aging behaviour of hot deformed AA7075 aluminium alloy”, Materials Today: Proceedings, (41), 1013-1017.
- [11] Brandes E.A., Brook G. B., (1998), “Smithells Light Metals Handbook”, 1st Edition, Butterworth-Heinemann.
- [12] Doğan M., (1989), “Alüminyum Alaşımının Isıl İşlemi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.
- [13] Sun Y., (1998), “Yaşlanabilir Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

- [14] Kaufman J. G., Rooy E. L., (2004), “Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications”, ASM International.
- [15] Nunes R., Adams J.H., Bean J.C., (1990), “ASM Handbook: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials”, 10th Edition, (2), ASM International.
- [16] Davis J.R., (2001), “Alloying: Understanding the Basics”, 1st Edition, ASM International.
- [17] Sutherland J.W., Dornfeld D.A., Linke B.S., (2018), “Energy Efficient Manufacturing: Theory and Applications”, John Wiley & Sons.
- [18] Büyükakkaş F., (2001), “Çift Merdaneli Sürekli Levha Döküm Yöntemi ile Üretilmiş AA3003 Alaşımı Alüminyum Levhalarda Proses Parametrelerinin Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [19] Verkens D., Revilla R.I., Kosari A., Günyüz M., Işıksaçan C., Mol J.M.C., Graeve I.D., Terryn H., (2019), “Effect of Simulated Brazing on the Microstructure and Corrosion Behavior of Twin Roll Cast AA3003”, 1st Edition, Materials and Corrosion.
- [20] Wechsler R., (2003), “The status of twin-roll casting technology”, Scandinavian Journal of Metallurgy, 32 (1), 58-63.
- [21] Barekar N.S., Dhindaw B.K., (2014), “Twin-roll casting of aluminum alloys—an overview”, Materials and Manufacturing Processes, 29 (6), 651-661.
- [22] Cicek V., Al-Numan B., (2011), “Corrosion Chemistry”, Wiley-Scrivener.
- [23] Popov B.N., (2015), “Corrosion Engineering: Principles and Solved Problems”, Elsevier.
- [24] Savaşkan T., (2012), “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, 6. Baskı, Trabzon.
- [25] Erden A., (2006), “İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen AA6016 Alaşımının Mikro ve Makro Yapısal İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [26] Minford J.D., (1993), “Handbook of Aluminum Bonding Technology and Data”, 1st Edition, Marcel Dekker.
- [27] Peltier F., Thierry D., (2022), “Review of Cr-Free coatings for the corrosion protection of aluminum aerospace alloys”, Coatings, 12 (4), 518.
- [28] Meng G., Wei L., Zhang T., Shao Y., Wang F., Dong C., Li X., (2009), “Effect of microcrystallization on pitting corrosion of pure aluminium”, Corrosion Science, 51 (9), 2151–2157.

- [29] Uysal M., (2006), “CrN, TiN Kaplanmış ve Kaplanmamış AISI 304 Paslanmaz Çeliğinin Korozyon Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [30] Alp E., (2014), “Farklı Ortamlarda Alüminyum Korozyonuna Saponin Türevinin İnhibitör Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi.
- [31] Roberge P.R., (2000), “Handbook of Corrosion Engineering”, 1st Edition, McGraw-Hill, New York.
- [32] Ahmad Z., (2006), “Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control”, 1st Edition, Elsevier.
- [33] Barbucci A., Cabot P.L., Bruzzone G., Cerisola G., (1998), “Role of intermetallics in the activation of Al-Mg-Zn alloys”, Journal of Alloys and Compounds, (268), 295-301.
- [34] Eken T.Y., (2018), “İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği ile Üretilen Hadde Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Davranışı ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi.
- [35] Verkens D., Revilla R.I., Huizenga R., Marcoen K., Günyüz M., Işıksaçan C., Terryn H., Graeve I.D., (2021), “Effect of Sr Addition to a Modified AA3003 on Microstructural and Corrosion Properties”, Journal of The Electrochemical Society.
- [36] Ambat R., Davenport A.J., Scamans G.M., Afseth A., (2006), “Effect of iron-containing intermetallic particles on the corrosion behaviour of aluminium”, Corrosion Science, 48, 3455–3471.
- [37] Zamin M., (1981), “The role of Mn in the corrosion behavior of Al-Mn alloys”, National Association of Corrosion Engineers, 37 (11), 627-632.

ÖZGEÇMİŞ

Seval AKSOY AYDIN, Lisans eğitiminde, Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünden 2014 yılında mezun oldu. Kayseri’de bulunan Orta Anadolu Ticaret ve Sanayi İşletmesi T.A.Ş.’de Ürün Geliştirme Mühendisi olarak çalıştı. Ardından, Kocaeli’de Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi’nde 7 ay süren bir programda, Stajyer Proje Mühendisi olarak görev aldı. Şu an, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı’nda, yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.



EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Aksoy Aydın S., Atar E., (2023), “Çelik/Bakır Merdane Çifti Kullanılarak İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği ile Üretilen 3105 Alüminyum Alaşımının Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi”, Gebze Teknik Üniversitesi 7. Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu.

