

**TOZ METALÜRJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN
AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA Ti VE B₄C
İLAVESİNİN KOROZYON VE ELEKTRİK
İLETKENLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**2016
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Halit Burak EREK

**TOZ METALÜRJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA7075 ALÜMİNYUM
ALAŞIMINA Ti VE B₄C İLAVESİNİN KOROZYON VE ELEKTRİK
İLETKENLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Halit Burak EREK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır.**

KARABÜK

Haziran 2016

Halit Burak EREK tarafından hazırlanan “TOZ METALÜRJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA Ti VE B₄C İLAVESİNİN KOROZYON VE ELEKTRİK İLETKENLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylım.

Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Doç. Dr. Abdurrahman ASAN

Tez Danışmanı, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 24/06/2016

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

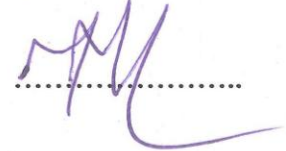
Başkan: Yrd. Doç. Dr. Serkan APAY (DÜ)



Üye: Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK (KBÜ)



Üye: Yrd. Doç. Dr. Tansel TUNÇAY (KBÜ)



.../.../2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitü Müdürü





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Halit Burak EREK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOZ METALÜRJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA Ti VE B₄C İLAVESİNİN KOROZYON VE ELEKTRİK İLETKENLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Halit Burak EREK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK

Haziran 2016, 70 sayfa

Bu çalışmada, T/M yöntemiyle üretilen AA7075 alaşımına (Ti ve B₄C) ilave edilerek üretilen Al kompozitlerin korozyon ve elektrik iletkenliğine etkisi incelenmiştir. Al kompozit malzemeler, AA7075 alaşımına farklı oranlarda (%2, %4 ve %6) Ti (in-situ), (%3, %6 ve %9) B₄C (ex-situ) ve %4 Ti sabit (%3-6-9 B₄C) ile %9 B₄C sabit (%2-4-6 Ti) (hibrit) ilave edilerek üretilmiştir. Hazırlanan kompozit tozlar, 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek ön şekillendirilmiştir. Ön şekillendirilmiş parçalar atmosfer kontrollü (argon) ısıtma işlemi fırınında 580 °C de 240 dakika sinterlendikten sonra, fırın ortamında soğutulmuştur. Sinterleme işleminden sonra üretilen numuneler tarama elektron mikroskobu (SEM+EDS), X-ışını kırınımı (XRD), yoğunluk ölçümleri, korozyon ve empedans ölçümleri ile elektrik iletkenliği ölçümleri yapılarak karakterize edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda yapıda TiAl₃ parçacıklarının oluştuğu belirlenmiştir. B₄C takviyeli kompozitlerin

yoğunluklarının, takviye elemanlarındaki artışa bağılı olarak azaldığı gözlenmiştir. Korozyon testleri sonucunda, en yüksek korozyon hızının ex-situ kompozitlerde olduğu belirlenmiştir. B₄C oranının arttıkça korozyon hızının (akım yoğunluğu oluşması) arttığını (yaklaşık iki kat) göstermektedir. Elektrik iletkenlik ölçümlerinde ise in-situ ve ex-situ olarak üretilen alüminyum kompozitlerin %IACS değeri, kompozite ilave edilen miktar (%) arttıkça azalmaktadır.

Anahtar Sözcükler : Toz metalürjisi, hibrit, in-situ, ex-situ kompozit, korozyon, elektrik iletkenliği.

Bilim Kodu : 915.1.193



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AN INVESTGATION THE EFFECTS OF ADDITION Ti AND B₄C ON COROSION AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF PRODUCED BY POWDER METALLURGY METHOD AA7075 ALUMINIUM ALLOYS

Halit Burak EREK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK

June 2016, 70 pages

In this study, the effect on corrosion and electrical conductivity of Al composite which is produced with adding Ti and B₄C produced with the method of T/M to AA7075 alloy was investigated. Al composite materials were produced by adding different amount of (2%, 4%, and 6%) Ti (in-situ), (3%, 6% and 9%) B₄C (ex-situ), and fixed amount of 4%Ti and changed amount of B₄C (3-6-9 %B₄C) fixed amount of 9% B₄C Ti and changed amount of (2%, 4%, and 6%) Ti (hybrite). The prepared composite powders were pre-formed by cold-pressed under 600MPa pressure. The pre-formed samples were sintered in a atmosphere (Argon) controlled heat treatment furnace at 580 C for 240 minutes and then they were cooled in the furnace. After sintering, the produced samples were characterised by scanning electron microscope (SEM+EDS), X-ray diffraction (XRD). Density, corossion and empedance, conductivity of electricity were measured. As a result of studies it was

observed that formed of TiAl_3 particles in the structure. It is observed that the density of composites, reinforced with B_4C , was decreased due to an increase in the reinforcement phase. in the corrosion test results, the highest corrosion rate was determined on ex-situ composites. It was observed that the corrosion speed (the formation of current density) increased (about 2 times) with increasing B_4C amount. In the measurements of conductivity of electricity, the %IACS rate of in-situ and ex-situ aluminum composites decreased with increasing amount (%) to the composite.

Key Word : Powder metallurgy, hibrit, in-situ, ex-situ composites corrosion, electrical conductivity.

Science Code : 915.1.193

TEŞEKKÜR

Tez konusu seçiminde, araştırmalarım ve deneysel alışmalarım esnasında desteklerinin esirgemeyen değerli danışman hocam Do. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e, ikinci danışmanım Doç. Dr. Abdurrahman ASAN'a teşekkür eder saygı ve şükranlarımı sunarım.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasını destekleyen Karabük Üniversitesi BAP komisyonuna (KBÜ-BAP-14/2-YL-039 numaralı proje) teşekkür ederim.

Sevgili aileme, maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemedен her zaman yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
KOMPOZİT MALZEMELER.....	4
2.1. KOMPOZİTLER.....	4
2.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI	4
2.3. KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	7
2.3.1. Polimer Matrisli Kompozitler.....	8
2.3.2. Seramik Matrisli Kompozitler	8
2.3.3. Metal Matrisli Kompozitler	8
2.4. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER.....	9
2.4.1. Takviye Elemanının Şekline Göre Kompozitler.....	10
2.5. KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	10
2.5.1. Sıvı Hal İşlemleri.....	11
2.5.2. Katı Hal İşlemleri	11
2.5.3. İn-Situ İşlemler	12

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	13
KOROZYON	13
3.1. KOROZYON VE ÖNEMİ	13
3.2. KOROZYONA ETKİ EDEN PARAMETRELER	13
3.2.1. Ortamın Etkisi.....	13
3.2.2. Sıcaklığın Etkisi.....	13
3.2.3. Malzeme Seçiminin Etkisi.....	14
3.2.4. Taneler Arası Özellik Farkları	14
3.2.5. Sistem Tasarımı	14
3.2.6. Sistemin Bulunduğu Ortamın Oksijen Konsantrasyonu.....	14
3.2.7. Zemin Elektriksel Özgül Direncinin Etkisi	15
3.3. KOROZYON MEKANİZMASI	15
3.4. KOROZYON TÜRLERİ.....	17
3.4.1. Çukur Korozyonu	17
3.4.2. Galvanik Korozyon.....	17
3.4.3. Yorulmalı Korozyon	18
3.4.4. Erozyon Korozyonu	18
3.4.5. Mikrobiyolojik Korozyon	19
3.4.6. Oyuklanma Korozyonu	19
3.4.7. Genel Korozyon	19
3.4.8. Çatlak Korozyonu	20
3.4.9. Tanecikler Arası Korozyon.....	20
3.4.10. Seçimli Korozyon	20
3.5. KOROZYON HIZI BELİRLEME YÖNTEMLERİ	21
3.5.1. Kimyasal Olaylarda Korozyon	21
3.5.1.1. Kütle Kaybı Yöntemi.....	21
3.5.2. Elektrokimyasal Yöntemler	22
3.5.2.1. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi	22
3.5.2.2. Lineer Polarizasyon Yöntemi	23
3.6. KOROZYONA KARŞI KORUMA YÖNTEMLERİ.....	24
3.6.1. Elektrokimyasal Yöntemler	25
3.6.2. Kimyasal Yöntemler	25

	<u>Sayfa</u>
3.6.3. Koruyucu Kaplamalar.....	25
3.7. ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER.....	25
3.7.1. Katodik Koruma.....	25
3.7.1.1. Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma.....	27
3.7.1.2. Galvanik Anotlu Katodik Koruma.....	28
3.7.1.3. Anodik Koruma.....	28
3.8. KİMYASAL YÖNTEMLER.....	29
3.8.1. İnhibitörle Koruma.....	29
3.8.2. Uygun Metal Seçimi.....	29
3.8.3. Koruyucu Kaplamalar.....	30
3.8.3.1. Boya İle Koruma.....	30
3.8.3.2. Metalik Kaplamayla Koruma.....	30
BÖLÜM 4.....	32
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	32
4.1. DENEYSEL MALZEMELER.....	32
4.2. TOZLARIN HAZIRLANMASI.....	32
4.3. SOĞUK PRESLEME İŞLEMİ.....	33
4.4. SİNERLEME.....	34
4.5. METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA.....	34
4.6. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ.....	35
4.7. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) VE EDS İNCELEMESİ.....	36
4.8. X-IŞINI KIRINIMI (XRD) İNCELEMESİ.....	36
4.9. KOROZYON VE EMPEDANS ÖLÇÜMLERİ.....	37
4.10. ELEKTRİK İLETKENLİK DENEYLERİ.....	38
BÖLÜM 5.....	39
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA.....	39
5.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ.....	39
5.1.1. İn-Situ Ve Ex-Situ Kompozitlerin SEM Ve EDS (Mapping) İncelemeleri.....	39

5.1.1.1. İn-Situ Kompozitlerin SEM Ve EDS (Mapping) Analizi Sonuçları	40
5.1.1.2. Ex-Situ Kompozitlerin SEM Ve EDS (Mapping) Analizi Sonuçları	41
5.1.2. Hibrit Kompozitlerin SEM Ve EDS (Mapping) Analizi Sonuçları.....	43
5.1.3. İn-Situ Ve Ex-Situ Kompozitlerin XRD Sonuçları	45
5.1.4. Hibrit Kompozitlerin XRD Sonuçları.....	46
5.2. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ.....	47
5.2.1. İn-Situ Ve Ex-Situ Kompozitlerde Yoğunluk Ölçüm Sonuçları	47
5.2.2. Hibrit Kompozitlerde Yoğunluk Ölçüm Sonuçları.....	48
5.3. KOROZYON VE EMPEDANS İNCELEMELERİ.....	50
5.3.1. İn-Situ Ve Ex-Situ Kompozitlerde Korozyon Ve Empedans Ölçüm Sonuçları	50
5.3.2. Hibrit Kompozitlerde Korozyon Ve Empedans Ölçüm Sonuçları	54
5.4. KOROZYON YÜZEYLERİ	59
5.5. ELEKTRİK İLETKENLİK SONUÇLARI	60
5.5.1. İn-Situ Ve Ex-Situ Kompozitlerin İletkenlik Sonuçları Ve Değerlendirilmesi	61
5.5.2. Hibrit Kompozitlerin İletkenlik Sonuçları Ve Değerlendirilmesi	62
BÖLÜM 6	64
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
6.1. SONUÇLAR	64
6.2. ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Takviye elemanının şekline göre kompozit çeşitleri	10
Şekil 3.2. Galvanik korozyon.....	18
Şekil 3.3. Erozyon korozyon.....	18
Şekil 3.4. Oyuklanma korozyon.....	19
Şekil 3.5. Tafel ekstrapolasyonu ile korozyon hızının bulunması	23
Şekil 3.6. Polarizasyon direncini belirlemek amacıyla çizilen bir akım potansiyel eğrisi	24
Şekil 3.7. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi.....	27
Şekil 3.8. Galvanik anotlu katodik koruma sistemi	28
Şekil 4.1. Elementel tozların karıştırılmasında kullanılan Turbula® Shaker Mixer (Model T2F Glenn Mills) tipi karıştırıcı.....	33
Şekil 4.2. Numuların şekillendirilmesinde kullanılan metal kalıp	33
Şekil 4.3. Deney numunelerinin preslendiği "HİDROLİK SAN" marka pres.	34
Şekil 4.4. PRESİ marka Mecapol P 262 model cihazının görüntüsü.	35
Şekil 4.5. PRESİ Precisa XB200h marka hassas terazi ve yoğunluk cihazının görüntüsü.	35
Şekil 4.6. Zeiss-Ultra/Plus (FEG) model tarama elektron mikroskop cihazının görüntüsü.	36
Şekil 4.7. Rigaku D-MAX IN-2200 serisi cihazının görüntüsü.....	37
Şekil 4.8. Compactstat Electrochemical İnterface cihazının görüntüsü.....	37
Şekil 4.9. KEİTHLEY 617 Programmable Electrometer cihazının görüntüsü.....	38
Şekil 5.1. AA7075 alaşımına %6 Ti ilave edilerek üretilen in-situ kompozitlerin mikroyapı SEM görüntüleri ve EDS (mapping) sonuçları.	40
Şekil 5.2. Ti ilave edilen AA7075 alaşımında in-situ oluşan $TiAl_3$ fazının SEM görüntüsü.	41
Şekil 5.3. AA7075 alaşımına %6 B_4C ilave edilerek üretilen ex-situ kompozitlerin mikroyapı SEM görüntüleri ve EDS (mapping) sonuçları.	42
Şekil 5.4. B_4C ilave edilen AA7075 alaşımının (ex-situ) mikroyapı SEM görüntüsü.	43

Şekil 5.5. AA7075 alaşımlarına %4 Ti + %3 B ₄ C ilave edilerek üretilen hibrit kompozitlerin mikroyapı SEM görüntüleri ve EDS (mapping) sonuçları.....	44
Şekil 5.6. AA7075 alaşımına %6 Ti ilave edilerek üretilen in-situ kompozitlerin XRD sonucu.....	45
Şekil 5.7. AA7075 alaşımına %4 Ti - %6 B ₄ C ve %6 Ti -%9 B ₄ C ilave edilerek üretilen hibrit kompozitlerin XRD sonuçları.	46
Şekil 5.8. İn-situ ve ex-situ kompozitlerin yoğunluk değişimleri.	47
Şekil 5.9. % AA7075 alaşımına ilave edilen sabit %4 Ti- %3-6-9 B ₄ C ve %9 B ₄ Csabit %2-4-6 Ti için yoğunluk ölçüm sonuçları.	49
Şekil 5.10. AA7075 alaşımına farklı miktarlarda Ti ilave edilerek üretilen in-situ kompozitlerin Tafel polarizasyon eğrisi ve empedans ölçüm sonuçları..	50
Şekil 5.11. B ₄ C'nin AA 7075'in korozyonuna etkisinin Tafel polarizasyon eğrisi ve polarizasyon direnci görüntüleri.	53
Şekil 5.12. %4 Ti ve %3-9 B ₄ C ilave edilen hibrit kompozitlerin Tafel polarizasyon eğrisi ve polarizasyon dirençleri.....	55
Şekil 5.13. Alüminyum matrisli hibrit kompozitlerde Ti miktarının (%9 B ₄ C sabit) Tafel polarizasyon eğrisi ve polarizasyon dirençleri	57
Şekil 5.14. AA7075 alaşımlarına alaşımına (% 4 Ti) in-situ, (%9 B ₄ C) ex-situ ve %9 B ₄ C sabit %4 Ti ile %4 Ti sabit %6 B ₄ C ilave edilerek üretilen hibrit kompozitlerin SEM görüntüleri.	60
Şekil 5.15. Ex-situ ve in-situ olarak üretilen alüminyum kompozitlerin elektrik iletkenlikleri (%IACS).	61
Şekil 5.16. %4Ti sabit - %3-6-9 B ₄ C ve %9 B ₄ C sabit %2-4-6 Ti ilave edilerek üretilen alüminyum hibrit kompozitlerin elektrik iletkenlikleri (%IACS).	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Polimer kompozit malzemeler ile diğer malzeme gruplarının mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.....	7
Çizelge 4.1. Toz üretiminde kullanılan AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi.	32
Çizelge 5.2. %94 AA7075 - %6 Ti, %96 AA7075 - %4 Ti ve %98 AA7075 - %2 Ti çalışma elektrotları 0,1 M H ₂ SO ₄ çözeltisindeki Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri	52
Çizelge 5.3. %91 AA7075 - %9 B ₄ C ve %97 AA7075 - %3 B ₄ C çalışma elektrotları 0,1 M H ₂ SO ₄ çözeltisindeki Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri	54
Çizelge 5.4. Alüminyum matrisli hibrit kompozitlerin çalışma elektrotları ve 0,1 M H ₂ SO ₄ çözeltisindeki Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri	56
Çizelge 5.5. Alüminyum matrisli hibrit kompozitlerin çalışma elektrotları ve 0,1 M H ₂ SO ₄ çözeltisindeki Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri.	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
Ti	: Titanyum
Fe	: Demir
Cu	: Bakır
Au	: Altın
Pt	: Platinyum
Ir	: İridyum
Pd	: Paladyum
H	: Hidrojen
Pb	: Kurşun
Si	: Silisyum
Sb	: Antimon
Ag	: Gümüş
R_p	: Korozyon Direnci
E_{cor}	: Korozyon Potansiyeli
I_{cor}	: Korozyon Akımı Ve Korozyon Hızı
β_a	: Anodik Tafel Eğrisi
β_c	: Katodik Tafel Eğrisi
E_d	: Denge Potansiyeli
M	: Mol
Mpa	: Megapascal
mV	: Milivolt
V	: Volt
m	: Metre
gr	: Gram
μm	: Mikro Metre

\emptyset : Çap

ΔE : Potansiyel Fark

Ω : Ohm

KISALTMALAR

AA : Alüminyum Alaşımı

AKM : Alüminyum Kompozit Malzeme

PMK : Polimer Matrisli Kompozit

SMK : Seramik Matrisli Kompozit

MMK : Metal Matrisli Kompozit

SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

XRD : X-Ray Diffraction (X-Ray Kırınım Işını)

EDS : Enerji Dağılım Spektroskopisi

GA : Gaz Atamizasyonu

SiC : Silisyum Karbür

Al₂O₃ : Alüminyum Oksit

SiO₂ : Silisyum Oksit

Si₃N₄ : Silisyum Nitrit

ZrB₂ : Zirkonyum Diborür

TiB₂ : Titanyum Bor

TiN : Titanyum Nitrit

B₄C : Bor Karbür

TiC : Titanyum Karbür

FeO : Demir Oksit

HNO₃ : Nitrit Asit

HCl : Hidroklorit Asit

H₂SO₄ : Sülfirik Asit

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları, demir esaslı alaşımlardan sonra en fazla kullanılan metal malzeme grubunu oluşturmaktadır. Saf alüminyumun dayanımının düşük olması, bu malzemenin endüstriyel kullanım alanlarını da sınırlamaktadır. Bundan dolayı, saf alüminyumun özelliklerinin geliştirilmesi için alaşımlama yapılmaktadır. Mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde kullanılan alaşım elementleri, bu alaşımların aşınma, akma ve çekme dayanımları ile birlikte ısıtılma kabiliyetini de artırmaktadır [1].

7XXX serisi alüminyum alaşımları, alüminyum alaşımlarının içindeki en yüksek mukavemete sahip alaşımlardır. Uçak parçaları yapımı ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde tercih edilmektedir. Bu alaşımların en önemli özelliği yaşlandırma ısıtılma işlemi ile dayanımlarının yaklaşık iki kat artırılabilmesidir [2]. 7XXX serisi alaşımların içindeki en önemli alaşım AA7075 alaşımıdır. Yaşlandırılan AA7075 alaşımının en büyük dezavantajı, gerilim korozyon çatlaklarına (veya mevsim çatlağı) karşı hassas hale gelmesidir. Havacılık sektörüne parça üreten kuruluşların en önemli problem bu alaşımın dayanımları artarken, korozyon direncinin azalmasıdır. Bu amaçla, üretilen parçalarda yüksek dayanımın yanında korozyon hassasiyetlerinin azaltılması için kompozit malzemeler tercih edilmektedir.

Titanyum, yüksek dayanım yoğunluk oranı ve yüksek sıcaklık özellikleri sergileyen, nispeten hafif bir elementtir [3]. Al-Ti alaşımları gelecekteki en önemli malzeme gruplarından biri olarak dikkat çekmektedir. Al-Ti alaşımlarının en belirgin özellikleri ise oksitlenme ve aşınma direnci, yüksek sıcaklık dayanımları ve düşük yoğunluklarıdır. Bu alaşım grubu için temel problem, oda sıcaklığındaki düşük uzama kabiliyetidir. Oda sıcaklığındaki düşük uzama kabiliyeti, yaygın kullanımının önündeki en büyük engeldir. Bu problemin giderilmesi için, tane boyutunun küçültülmesi ve ısıtılma işlemi gibi farklı işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemler ile

alaşımın faz oranı, yapısı ve dağılımı, kayma sistemlerinin sayısı ve mikro yapısı değişebilmektedir [4]. Tane inceltme işlemi uygulanan alüminyum dökümler, tane inceltme işlemi uygulanmamış dökümlere göre daha iyi beslenebilirlik sağlarken, daha gözeneksiz yapı elde edilmektedir. Buna bağlı olarak da ince taneli dökümler, düşük segregasyon, yüksek mekanik özellikler ve sızdırmazlık direnci gibi üstün özelliklere sahiptir. Tane inceltme, özellikle ikinci faz parçacıklarının dağılımını etkilediğinden dolayı döküm parçalarının mekanik özellikleri artırmaktadır.

Al alaşımları, yoğunluğunun düşük ve şekillendirilmesinin kolay olması, elektrik iletkenliğinin ve korozyon dayanımının yüksek olması gibi üstün özelliklerinden dolayı, otomotiv ve havacılık sektörlerinde kullanılmaktadır. Alüminyum, bu üstün özelliklerinden dolayı, metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Alüminyum kompozit malzemelerin (AKM) üretiminde en yaygın kullanılan seramik takviye fazları SiC ve Al₂O₃ dir. Ayrıca bu takviye fazlarının yanı sıra SiO₂, Si₃N₄, AlN, ZrB₂, TiB₂, B₄C ve TiC gibi seramik takviye elemanları da kullanılmaktadır [5–13]. Matrise ilave edilen takviye elemanları, kompozitlerin yüksek sıcaklıklarda dayanımı ve aşınma dirençlerini de artırmaktadır [14]. Kompozitlerin bu özellikleri, takviye fazının karakteristiğine ve hacimsel oranına göre değişmektedir.

AKM'lerde takviye elemanı olarak kullanılan B₄C' ün, yoğunluğu 2.52 gr/cm³ dür. Sertliği ise, SiC ve Al₂O₃ ya göre daha yüksektir. Ancak, maliyetinin yüksek olması, B₄C takviyeli kompozitlerin üretilmesini sınırlamaktadır. Ayrıca, Al ile ıslatabilirliğinin çok az olmasından dolayı, sıvı metal içerisinde karıştırarak üretilmeleri zordur. Bununla birlikte, ortama ilave edilen K₂TiF₆ flakslar sayesinde, ıslatabilirlik özelliği arttırılabilmektedir.

B₄C düşük yoğunluk, yüksek rijitlik ve ısıl kararlılıkları nedeniyle, AKM'lerin üretiminde kullanılan cazip bir takviye malzemesidir [15]. Al-B₄C üstün özellikler sunmasına karşın, yaygın olarak kullanılmasının önünde bazı engellerde bulunmaktadır. Bu engellerden biri ekonomik, diğeri ise teknolojidir. B₄C tozlarının maliyetinin SiC veya Al₂O₃ gibi takviye malzemelerine kıyasla daha yüksek olması,

B₄C takviyeli malzemeler üzerinde yapılan araştırmaların nispeten sınırlı kalmasına yol açmaktadır [16].

AKM'lerde aranan diğer önemli özellikler ise, kompozitlerin korozyon dayanımı ve elektrik iletkenlikleridir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarında, araştırmacılar tarafından Cu ve Fe gibi elementlerle ve intermetalik fazları içeren alüminyum alaşımların bölgesel korozyonları incelenmiştir [17]. Bu parçacıkların alaşımın belirlenen süreden önce hasara uğramasındaki (yorulma çatlaklarının boylarındaki) etkileri, bu parçacıkların potansiyel çekirdeklenme bölgeleri gibi davranmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden, ilave yüzey koruma işlemleri ile korozyon dayanımının geliştirilmesi ve yapıda oluşan fazların elektrokimyasal davranışları önemlidir [17,18].

Bu çalışmada, AA7075 alaşımına farklı oranlarda (% ağ.) Ti (%2-4-6) ve B₄C (%3-9) ilave edilerek üretilen in-situ, ex-situ ve hibrit AKM korozyon davranışları ve elektrik iletkenlikleri incelenmiştir. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler kullanılarak, üretilen parçaların hem dayanımları artmakta, hem de gerilim korozyon çatlaklarına karşı hassasiyetleri azaltılabilmektedir. Kompozit malzemelerin üretiminde üretim metotları da (in-situ, ex-situ ve hibrit) önemli faktörler olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada üç farklı yöntemle üretilen AKM'lerin korozyon davranışları ile elektrik iletkenlikleri incelenerek, ideal nominal oranlar belirlenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 2

KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. KOMPOZİTLER

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla malzemenin istenilen özelliklerinin makro düzeyde birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Bu nedenle;

1. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan iki farklı veya daha fazla malzeme, fiziksel ve mekanik olarak birbirinden ayrılabilir. Kompozit malzeme, fiziksel ve mekanik olarak birbirinden ayrılabilir.
2. Kullanılan iki veya daha fazla malzemenin birinin (takviye malzemesi), diğeri (matris malzemesi) içerisinde dağılımı söz konusudur.
3. Kompozitlerin özellikleri, kompoziti oluşturan malzemelerin özelliklerinden çok farklıdır. Bazı durumlarda ise kompozitlerin özellikleri, kompoziti oluşturan malzemelerin özelliklerinden çok daha üstündür.

2.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Kompozit malzemeler, birçok özelliklerinin metallere göre çok farklılık göstermesinden dolayı önem kazanmaktadır. Kompozitlerin yoğunluklarının düşük olması, hafif konstrüksiyonlarda kullanımında büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, fiber takviyeli kompozitlerin korozyon dayanımları, ısı, ses ve elektrik yalıtımı sağlamaları da kullanım alanları açısından bir üstünlük sağlamaktadır.

Kompozit Malzemelerin Avantajları:

1. Yüksek mukavemet: Kompozit malzemeler, yüksek mukavemet değerleri sağlayan malzeme grubunda yer almaktadır. Kompozitlerin çekme, eğilme, darbe ve basınç dayanımları, birçok metalik malzemeye göre daha yüksektir. Özel tasarım gerektiren durumlarda uygun mukavemet değerleri sağlanabildiği gibi, malzeme tasarrufu ile daha hafif ve daha düşük maliyetli ürünler elde edilebilmektedir [19]. Çizelge 2.1’de bazı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri kısaca özetlenmektedir.
2. Hafiflik: Kompozitler (birim alan olarak) hem polimerlere, hem de metallere göre daha yüksek mukavemet sunmaktadır. Ürüne sağladığı yüksek mukavemet/hafiflik özelliği, bu malzemelerin kullanılmasının en önemli nedenlerinden biridir [19,20].
3. Tasarım esnekliği: Kompozitler, bir tasarımcının aklına gelmesi muhtemel her türlü karmaşık, basit, geniş, küçük, yapısal, estetik, dekoratif veya fonksiyonel şekilde üretilebilmektedir. Maliyetin azalması için yapılan çalışmaların yanında, prototip tasarım üründen seri üretime geçme aşamasında yeni yaklaşımlar geliştirilmektedir.
4. Kolay şekillendirebilme: Büyük ve karmaşık parçalar tek işleme üretilebilmektedir. Bu durumda malzeme ve işçilikten kazanç sağlanmaktadır.
5. Elektriksel özellikler: Uygun malzemeler seçilerek çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozitler elde edilebilmektedir. Bugün, büyük enerji nakil hatlarında hem iletkenlik, hem de yalıtkanlık özellikleri nedeniyle kompozitler tercih edilebilmektedirler.
6. Boyutsal kararlılık: Çeşitli mekanik ve çevresel etkenlere bağlı olarak, polimer kompozitler işlevselliklerini korumaktadır. Kompozitler, polimer malzemelerin sergiledikleri viskoelastik ve büzülme özelliklerini sergilemezler. Isıl genleşme katsayıları da daha düşüktür.
7. Yüksek dielektrik dayanımı: Kompozitlerin yalıtkanlık özellikleri, bu amaçla kullanılan birçok parçanın üretiminde tercih edilmesine neden olmaktadır. Ayrıca yapılan uygulamalarda, uygun modifiye edicilerin ve katkı malzemelerinin kullanılması ile kompozitin elektriksel iletkenliği de artırılabilir.

8. Korozyon ve kimyasal etkilere karşı mukavemet: Özellikle termoset polimerlerden üretilen kompozit malzemeler(atmosferik etkilerinden), korozyon ve kimyasal tepkimelere karşı dirençlidir. Bu özellikleri nedeniyle kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçlarının yapımında kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olmaları nedeniyle, endüstride birçok alanda kullanımları avantaj sağlamaktadır.
9. Kalıcı renklendirme: Kompozit uygulamalarının çoğunda renk, üretimsırasında kazandırılmakta ve uzun süre bakım gerektirmeden mevcut halini koruyabilmektedir. Kompozit malzemeye(üretim sırasında) ilave edilen pigmentler sayesinde, istenen renkler verilebilmektedir. Bu işlem, ek bir maliyet ve işçilik gerektirmemektedir. Düzgün yüzey (A sınıfı) ve düşük çekme özelliklerine sahip reçineler, metalik boyama uygulamaları için uygundur.
10. Isıya ve ateşe dayanımı: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden üretilen kompozitlerin ısı dayanımları, yüksek ısı altında kullanılabilmesine imkân sağlamaktadır. Bu nedenle, bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısı dayanımları arttırılabilmektedir.
11. Titreşim sönümlendirme: Kompozit malzemeler süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümleme özelliğine sahiptir. Bu sayede, çatlak yürümesi olayı da minimize edilmektedir.
12. Düşük maliyet: Polimer kompozit üretiminde seçilen yöntem ne olursa olsun, seçilen araç ve gereçlerin maliyeti, metal alaşımlı geleneksel malzemelere göre daha ucuzdur. Bu amaçla, kompozit malzeme üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bütün üretim yöntemlerinde değişmeyen temel ilke, bileşenlerin zayıf yönlerinin amaç doğrultusunda iyileştirilerek daha nitelikli bir yapının elde edilmesidir [20].

Çizelge 2.1. Polimer kompozit malzemeler ile diğer malzeme gruplarının mekanik özelliklerinin karşılaştırılması [21].

Malzeme Cinsi	Özgül Ağırlığı (ρ , gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (σ ,MPa)	Elastik Modül (E, GPa)	Özgül Çekme Dayanımı (σ/ρ)	Özgül Modül (E/ ρ)	Uzama (%)
Alüminyum	2.8	84	71	30	25	---
Al-2024	2.8	247	89	98	25	20
Al alaşımı	2.8	600	71	210	25	---
Titanyum	4.51	700	117	192	25.1	20
Ni Alaşımı	8.18	450-1200	204	147	24.90	26-45
Alaşımsız Çelik	7.86	460	210	60	27	20
Düşük Alaşımlı Çelik	7.8	600	207	80-250	26.5	20
Pirinç %30Zn	8.5	550	100	60	12	---
Karbon/epoxy %60	1.62	1400	220	865	135	0.8
Kevlar/epoxy	1.38	1310	83	950	60	---
Cam/epoxy %60	1.66	1510	165	910	99	---
Cam/polyester %50	1.9	750	38	390	19.8	1.8

Kompozit Malzemelerin Dezavantajları:

1. Polimer esaslı kompozit malzemelerin üretimi sırasında yapıda oluşan hava kabarcıkları, bu kompozitlerin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
2. Kompozit malzemeler (parçacık takviyeli kompozitler hariç) anizotropiktir.
3. Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerlerinin farklılıklar göstermektedir.
4. Mekanik özelliklerin tam olarak öngörülemezliği zordur.
5. Kompozit malzemeler delme, kesme gibi işlemler sırasında liflerde açılmaların meydana gelmesi nedeniyle hassas ikincil imalat yapılamamaktadır.
6. Polimer kompozit malzemeler dışında, kompozit malzemelerin üretim maliyetleri yüksektir [22].

2.3. KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozitler genellikle, kullanılan matris malzemesi ve takviye elemanlarının şekline ve cinsine göre sınıflandırılmaktadır. Matris malzemesine göre kompozitler:

1. Polimer matrisli kompozitler
2. Seramik matrisli kompozitler
3. Metal matrisli kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır.

2.3.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler (PMK), düşük yoğunluk, ekonomiklik, kolay üretilebilirlik, mekanik özellikleri ve yalıtkanlık gibi özelliklerinden dolayı, endüstride yaygın olarak kullanılmaktadırlar. PMK malzemelerin sıcaklık dayanımı, büyük oranda matris malzemesi tarafından belirlenmektedir. PMK'lerin ısı dayanımlarının düşük olması ise bir dezavantajdır. PMK'ler; yayma, basma kalıplama ve transfer kalıplama, soğuk pres kalıplama, helisel sarma, torba kalıp ve profil çekme yöntemleri ile üretilmektedir [23].

2.3.2. Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik matrisli kompozit (SMK) malzemeler, genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçaların üretiminde kullanılmaktadır. SMK'lerde matris malzemesi olarak genellikle Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN gibi takviye malzemeler tercih edilmektedir. Bu bileşikler değişik yapıdadır ve amaca göre, bir veya bir kaçını beraber kullanılmaktadır. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçaların üretimi ile uzay araçlarında, seramik matrisli kompozitler tercih edilmektedir [24].

2.3.3. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler (MMK), ana yapısını (matrisi) metalin oluşturduğu, takviye elemanı olarak seramiklerin veya refrakterlerin kullanıldığı malzemelerdir. MMK malzemeler, metalin ve takviye elemanının üstün özelliklerinin birleşmesi sonucunda, yüksek dayanım/yoğunluk, yüksek elastikiyet modülü, yüksek mukavemet gibi üstün özelliklere sahiptir. MMK'lerde matris malzemesi olarak, yoğunluğu düşük olan metal ve alaşımları tercih edilmektedir. Yoğunluğun düşük olması, korozyon direnci ve birçok takviye fazını ıslatabilirliğinin yüksek

olmasından dolayı, MMK'lerde alüminyum alaşımları, matris malzemesi olarak en çok tercih edilen alaşım grubudur. Alüminyum alaşımlarının yanı sıra Ti, Mg Cu gibi diğer metal ve alaşımları da matris malzemesi olarak kullanılmaktadır [24]. Metal matrisli kompozitlerin metal ve alaşımlarına göre üstün özellikleri şu şekilde sıralanmaktadır.

1. Yüksek elastikiyet modülü,
2. Yüksek mukavemet,
3. Yüksek tokluk ve darbe dayanımı,
4. Yüksek elektrik ve termal iletkenlik,
5. Isıl şoklar ve sıcaklık değişikliklerine karşı düşük hassasiyet ve iyi sürünme direnci,
6. Yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet,
7. Tasarım, üretim, biçimlendirme ve birleştirme özellikleridir [23,24].

2.4. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

Al ve alaşımları yoğunluklarının düşük, elektrik ve ısı iletkenliklerinin yüksek olması nedeniyle imalat sektöründe tercih edilen malzemelerdir. Ancak Al ve alaşımlarının aşınma dirençlerinin düşük olması, uygulama alanlarını da kısıtlamaktadır. Al matrisli kompozitlerin aşınma davranışı incelendiğinde ise, sert parçacık takviyeli kompozitlerin matris alaşımına göre, yüksek aşınma direnci sergilediği belirtilmektedir [25].

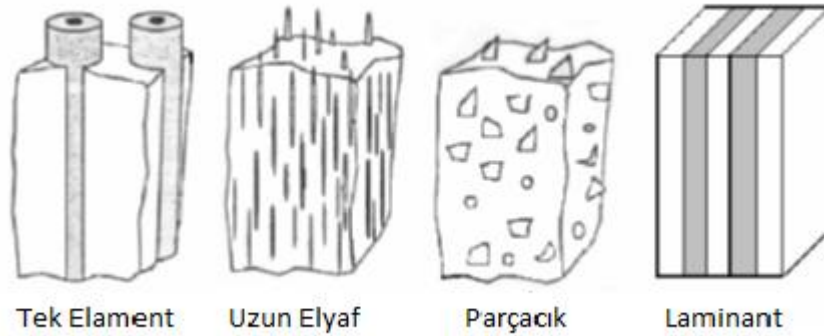
Alüminyum, üretimi ve hafifliği nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Ancak, yüksek sıcaklık özelliklerinin düşük olması, bu malzemenin kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle son yıllarda, alüminyum alaşımlarına çeşitli seramik esaslı malzemeler ilave ederek, alüminyum matrisli kompozit malzemeler üretilmektedir. AKM üretimi, sıvı yöntem ve toz metalurjisi yöntemi (katı yöntem) olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Birincisi sıvı alüminyum içerisine katı halde seramik esaslı ikinci bir fazın ilave edilmesi ile ikincisi ise alüminyum ve seramik tozların karıştırılması ile yapılmaktadır. Hem sıvı,

hemde katı yöntemle kompozit üretiminde en önemli aşama, ikincil fazın matris yapı içerisindeki homojen dağılımının sağlanmasıdır [26-28].

2.4.1. Takviye Elemanının Şekline Göre Kompozitler

Metal ve alaşımları, seramik takviye elemanları ile güçlendirilerek, metal matrisli kompozit malzemeler (MMKM) üretilmektedir. Şekil 2,1’de takviye elemanının şekline göre, kompozit çeşitleri görülmektedir. Takviye elemanının şekline göre kompozitler;

1. Tek filament
2. Uzun ve kısa elyaf (fiber)
3. Parçacık
4. Laminant (Tabakalı) olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.1. Takviye elemanının şekline göre kompozit çeşitleri [29].

2.5. KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, matris ile takviye elemanının uyumlu ve iyi bir bağ oluşturmalarına bağlıdır. Matris ile takviye elemanı arasında oluşan bu bağın gücü, matrisin takviye elemanını iyi ıslatabilmesinin yanı sıra, seçilen üretim yöntemi ile de yakından ilgilidir. Üretim yöntemleri; üç ana grupta toplanmaktadır [29].

Bunlar;

1. Sıvı hal işlemleri
2. Katı hal işlemleri
3. İn-situ işlemler'dir.

2.5.1. Sıvı Hal İşlemleri

Sıvı hal üretim işlemleri, ergitilmiş matris malzemelerinin takviye elemanları ile aralarında bağ oluşturma işlemleridir [29]. Yaygın olarak kullanılan sıvı hal üretim işlemlerini aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

1. İnfiltrasyon,
2. Sıkıştırılmalı döküm,
3. Basınçlı döküm,
4. Yarı katı döküm,
5. Karıştırmalı döküm,
6. Püskürtme çökmesidir,
7. Yarı-katı kalıplamadır.

2.5.2. Katı Hal İşlemleri

Katı hal üretim yöntemlerinde, matris malzemesinin ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta, farklı işlemler uygulanarak kompozit malzeme üretilmektedir. Katı hal üretim yöntemlerinin başlıcaları;

1. Toz metalürjisi
2. Difüzyonla birleştirme
3. Sıcak haddeleme'dir.

Toz metalürjisi yöntemi, en yaygın kullanılan kompozit malzeme üretim yöntemidir. Bu yöntemle, toz halindeki matris ve takviye elemanları birlikte karıştırılarak mekanik alaşımlanmaktadır. Mekanik alaşımlanan toz karışımı, istenilen kalıp

içerisinde şekillendirilebilmektedir. Presleme ile ön şekillendirme işleminden sonra sinterleme yapılmaktadır.

2.5.3. İn-Situ İşlemler

Bu kompozitlerde, malzeme içerisinde farklı fazların oluşturulması ve bu fazlardan birinin veya birkaçının takviye elemanı gibi davranmaktadır. Bu amaçla farklı birkaç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Ötektiklerin yönlü katılaştırılması
2. Tercihli yönlendirilmiş metal oksidasyonu
3. Ekzotermik reaksiyon işlemidir.

BÖLÜM 3

KOROZYON

3.1. KOROZYON VE ÖNEMİ

Metalik malzemelerin, kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu iyonlaşması ve başka bir element ile bileşik oluşturarak mekanik, fiziksel, kimyasal gibi özelliklerinin bozulması korozyon olarak tanımlanmaktadır. Korozyon, metalik malzemelerin, korozif (korozyon tesirli) ortamlardan etkilenmesi sonucu meydana gelmektedir. Su, hava, toprak, beton ve çeşitli kimyasal maddeler korozif ortam etkisi göstermektedirler. Korozyon sonucu aşınan ve deformasyona uğrayan malzemeler kullanılamaz hale gelmektedirler. Korozyona uğramış iş parçaları ve birlikte kullanıldıkları takımların korozif bozuluma uğraması ile buldukları yerlerdeki görevlerini yerine getirememeye dolayı, maddi hasarların yanı sıra güvenlik açısından da son derece olumsuz sonuçlar meydana gelmektedir [30].

3.2. KOROZYONA ETKİ EDEN PARAMETRELER

3.2.1. Ortamın Etkisi

Metal malzemelerin korozyona uğrama hızı, bulunduğu ortamla alakalıdır. Ortamdaki nem miktarı, hava, oksijen, asit-baz durumu, veya suyun ortam tarafından geçirilebilme yeteneği, kaçak akımlar ve çeşitli bakteriler korozyonun başlaması ve hızlanması için başlıca etkenlerdir [31].

3.2.2. Sıcaklığın Etkisi

Ortamdaki sıcaklık artışı, iyon hareketini arttırarak, korozyonu hızlandırmaktadır. Ortam sıcaklığı -50 ile +50 °C arasında değişen toprak, 0 °C' de donduğu için, iyon

hareket hızı minimumdur. Sıcaklığın artması, oksijen konsantrasyonunu düşürücü (dolayısıyla korozyon hızını düşürücü) etkiye neden olmaktadır. Ancak bu etki iyon hareketinin artmasından dolayı, reaksiyonların yanında oldukça zayıf kalmaktadır [31].

3.2.3. Malzeme Seçiminin Etkisi

Metal malzemede korozyona sebep olan etkenlerden biri de, birbiriyle potansiyel farkı bulunan metallerin bir arada kullanılmasıdır. Malzeme seçimi korozyonu başlatıcı ve korozyonu hızlandırıcı bir etken olmasının en önemli sebeplerinden biridir.

3.2.4. Taneler Arası Özellik Farkları

Metallerin tane boyutlarındaki farklılıklar ve tane sınırı, korozyonun başlangıcı için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Paslanmaz çelik malzemelerden üretilen tank ve aynı kullanımlara sahip metallerin sorunlarından bir tanesi de, kaynak bölgelerinde korozyonun meydana gelmesidir. Bu korozyonun önlenmesi, galvanik anotlu katodik koruma sistemi ile mümkündür.

3.2.5. Sistem Tasarımı

Korozyona uğraması muhtemel malzemelerin depolandığı sistemlerde, korozif ortamın (su vb.) birikmesini engellemeye yönelik tasarımlar yapılmaktadır. Ayrıca, sıvı birikintisine sebep olabilecek çok ince aralıklardan ve boşluklardan da kaçınılmalıdır.

3.2.6. Sistemin Bulunduğu Ortamın Oksijen Konsantrasyonu

Aynı tip toprak içerisinde çözünen oksijen derişimi, her yerde farklı olabilmektedir. Farklı havalandırma koşullarındaki sistemlerde (yan yana duran sistem), sistemlerden birisi bir bölgede anot iken, hemen yanındaki bölgede katot görevi gördüğünde, elektrokimyasal korozyona sebep olabilmektedir [31].

3.2.7. Zemin Elektriksel Özgöl Direncinin Etkisi

Düşük elektriksel özgöl dirençli bölgelerde iletkenliğin yüksek olması, iyonik ortamın daha aktif olmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı, meydana gelen korozyon mekanizması da daha hızlı gelişmektedir.

3.3. KOROZYON MEKANİZMASI

Korozyon, kimyasal ve elektrokimyasal olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir.

a) Kimyasal korozyon; metal ve alaşımlarının ortamla veya gazlarla doğrudan reaksiyona girmesi sonucunda meydana gelmektedir. Diğer bir adı da kuru korozyondur. En karakteristik özelliği oksitlenmedir. Oksitlenme, özellikle yüksek sıcaklıklarda daha da etkilidir. Türbin kanadı, yüksek sıcaklıkta çalışan makinalar vb. makine elemanları, kimyasal korozyona uğramaktadır. Demirin en belirgin kimyasal korozyon örneği oksitleridir (Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , FeO) [32].

b) Elektrokimyasal korozyon; metal ve alaşımlarının sıvı ortamlar içinde korozyona maruz kalmasıdır. Elektrokimyasal korozyonun meydana gelebilmesi için elektrik akımının iletilebileceği bir elektrolit ortamının bulunması gereklidir. Elektrolit asit, baz ve tuzların sıvıdaki çözeltileridir. Örneğin, bir metal elektrot kendi tuzunun sulu çözeltisine daldırıldığında, atomların son yörüngesindeki elektronlar serbest hale geçmekte ve bunun sonucunda Eşitlik 3.1'de görülen yüklü metal iyonu meydana gelmektedir.



Korozyon tepkimelerinin birçoğu, metallerin termodinamik kararsızlığı sonucu (Au, Pt, Ir ve Pd gibi soy metaller dışında) veya dış akımların etkisiyle ilerlemektedir. Metal korozyonu anodik veya katodik tepkime ile denetlendiğinde, çoğu durumda korozyon hızı, yük aktarım basamağı ile sınırlanmaktadır. Metal iyonları oluştuğunda elektrik devresi tamamlanarak, sürekli bir akım yolu sağlanmaktadır. Korozyon

hücresinde M, metalin anot tepkimesinde korozyona uğraması, Eşitlik 3.2'de verilmektedir.



Asitli ortamlarda meydana gelen korozyonda, (katot bölgesinde)ilerleyen iki indirgenme reaksiyonu, H₂ gazı oluşması ve oksijenin indirgenmesidir. Bu reaksiyonlar, Eşitlik 3.3 ve Eşitlik 3.4'te verilmektedir [32].



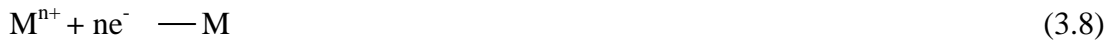
Nötr ve alkali ortamlarda ise katot tepkimesi, su ve çözülmüş oksijenin indirgenme reaksiyonlarıdır. Bu reaksiyonlar Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6'da verilmektedir.



Ayrıca ortamdaki mevcut metal iyonunun indirgenmesi ise Eşitlik 3.7 ve Eşitlik 3.8'de verildiği gibidir.

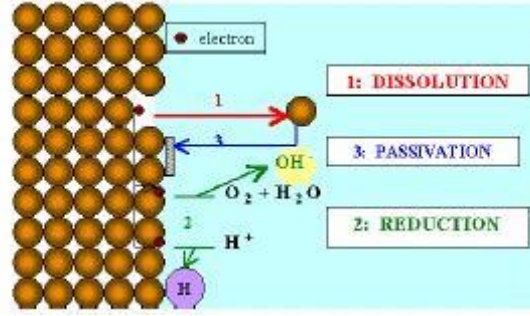


ve de metal çökmesi ile,



reaksiyonları da oluşabilir.

Şekil 3.1'de korozyon reaksiyonu oluşum mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Korozyon reaksiyonunun oluşumu [32].

3.4. KOROZYON TÜRLERİ

Farklı metaller, içinde buldukları ortamın özelliklerine göre, çeşitli şekillerde korozyona uğramaktadır. Başlıca korozyon türleri:

3.4.1. Çukur Korozyonu

Metal yüzeyinde yer yer çukurların oluştuğu korozyon türüdür. Çukur sık sık pasifleşmiş filmin kırılmasıyla derinleşmektedir. Çukur oluşumunun derinleşmesi, korozyon başlangıcının tahmin edilememesini zorlaştırmaktadır [33].

3.4.2. Galvanik Korozyon

Benzer olmayan iki metalin, elektriksel olarak birbiriyle bağlanmasıyla oluşmaktadır. Malzeme seçiminde galvanik seri göz önünde bulundurularak, dayanıklılık listesi yapılabilir. Ancak, değişen sıcaklık ve kimyasal ortamda dayanıklılık sırası değiştirilebilir.



Şekil 3.2. Galvanik korozyon [35].

3.4.3. Yorulmalı Korozyon

Korozif ortamdaki malzemenin dönme gerilimine maruz kalması ile oluşmaktadır. Limiti uygulanan şartlar altındaki en büyük gerilimdir. Bu korozyon türünde dönme, gerilme ve korozyonun birleşik etkileri, diğer basit etkilerden oldukça fazladır.

3.4.4. Erozyon Korozyonu

Yüksek hızdaki akışkanın, askıdaki (sıvı içerisinde serbest halde) katı maddelerin veya parçacıkların metal yüzeyine çarparak, metalik malzemeyi aşındırması sonucu oluşan korozyon türüdür. Bu tür korozyona uğrayan metal yüzeyinde, korozyon ürünü oluşmamaktadır. Sıvı akış yönünde, göz ile görünen çukurlar ve dalga biçiminde yuvarlak oluklar oluşmaktadır. Türbin kanatlarında veya iki faz akışının olduğu yerlerde sık görülen bir korozyon olayıdır [33].



Şekil 3.3. Erozyon korozyon [35].

3.4.5. Mikrobiyolojik Korozyon

Mikroorganizmalar tarafından başlatılan ve hızlandırılan bir korozyon türüdür. Elektrokimyasal korozyon ile birlikte ilerlemektedir. Genel korozyon hızlandırıcı olarak etkiye bulunmaktadır. Bu korozyon türüne neden olan mikro organizmalar yaşam türlerine göre aerobik, anaerobik ve fakültatif olarak sınıflandırılmaktadır [33].

3.4.6. Oyuklanma Korozyonu

Temel olarak oyuklanma korozyonu, bölgesel bir korozyon türüdür. Genellikle, yüzeyinde pasif bir koruyucu film olan malzemelerde görülmektedir. Ortamda bulunan agresif iyonlar veya pasif filmde oluşmuş hata/hasarlar, bu bölgenin diğer bölgelere göre daha anodik olmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı, çevresiyle galvanik ikili oluşturan bölgede korozyon, malzemenin iç bölgelerine doğru ilerlemektedir. Bu aşama, oto katalitik bir süreçtir ve agresif iyonlar ortamda bulunduğu sürece devam etmektedir [34].



Şekil 3.4. Oyuklanma korozyon [35].

3.4.7. Genel Korozyon

En fazla karşılaşılan korozyon olayıdır. Kimyasal veya elektrokimyasal tepkimelere maruz kalan yüzeylerde meydana gelmektedir. Metal, zamanla incelerek ve iş göremez hale gelmektedir. Ton bazında hesaplandığında, en fazla zarar veren

korozyon türüdür. Hemen hemen her endüstriyel uygulamada görülebilmektedir. En çok hasar veren tür olmasına karşın, engellemek oldukça kolaydır. Bu nedenle, ciddi bir tehdit teşkil etmemektedir. Ürün tasarımında yapılan değişiklikler, katodik koruma ve kaplama veya inhibitör kullanımı, genel korozyonun verdiği tahribatları büyük ölçüde azaltmaktadır [36].

3.4.8. Çatlak Korozyonu

Çatlaklarda ve atmosferik ortama maruz kalmış ve sonradan korunma uygulanan yüzeylerde oluşmaktadır. Deliklerde kalmış çözeltilerde, hareketli kısımlarda conta yüzeylerinde, yüzeylerde, civata ve perçin altındaki çatlaklarda gözlenmektedir. Genellikle çatlak korozyonuna kum, çamur, korozyon ürünleri ve diğer katılar yol açmaktadır. Paslanmaz çelik, bu tür korozyona dayanıklıdır. Çatlak içerisindeki en basit haliyle korozyon reaksiyonları, metalin oksitlenmesi ve oksijenin indirgenmesi ile oluşmaktadır. Kısa bir süre sonra çatlaktaki oksijen veya koroziv malzeme bitmektedir. Fakat metal bu bölgeden hasara uğramaya devam edebilmektedir [36].

3.4.9. Tanecikler Arası Korozyon

Malzemenin tane sınırlarında veya tane sınırlarına komşu bölgelerinde meydana gelen bir korozyon türüdür. Tane sınırlarındaki çökelti, bu bölgelerde alaşım elementlerinden birinin artması veya azalması ile mukavemette önemli değişimler olmaktadır. Koroziv ortamda bir metal ve alaşımında, yüzeyin her tarafında aynı miktarda korozyon meydana gelmektedir. Tane sınırının korozyona uğrama eğilimi tane yüzeylerinden daha fazladır. Bazı özel koşullarda tanelerin ara yüzeyleri tepkimelere çok daha yatkındır. Taneler arası korozyonun en belirgin özelliği kütle azalmasının az olmasına rağmen, korozyon hızının tane sınırında yüksek olmasıdır [37].

3.4.10. Seçimli Korozyon

Seçimli korozyon, korozyon yoluyla bir alaşımdan bir elementin miktarının azlaması veya yok olması olarak ifade edilmektedir. En temel örneklerden biri pirinçteki çinko

miktarının zamanla azalması ve alaşımın mekanik özelliklerinin azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca demir, alüminyum gibi alaşım elementi içeren alaşımlarda, seçimli korozyon nedeniyle azalmaktadır. Metal veya alaşım içeriğine kalayla beraber arsenik, antimon veya fosfor eklemesiyle veya kaplanarak bu korozyonu azaltmak mümkündür [36].

3.5. KOROZYON HIZI BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Metal ve alaşımların korozyona karşı dirençlerini birbirleriyle karşılaştırabilmek için, her birinin aynı korozif ortamdaki korozyon hızları verilmelidir. Korozyon hızı, bir metalin birim zamandaki çözünme miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bazı korozyon hızı belirleme yöntemleri,

1. Kütle kaybı yöntemi,
2. Elektrokimyasal yöntem;
 - 2.1. Tafel ekstrapolasyonu yöntemi,
 - 2.2. Lineer polarizasyonu yöntemi,
 - 2.3. Alternatif akım empedans yöntemi olarak sıralanabilmektedir.

3.5.1. Kimyasal Olaylarda Korozyon

3.5.1.1. Kütle Kaybı Yöntemi

Kütle kaybından korozyon hızı belirlenirken, çözünmenin homojen olması ile korozyon ürünlerinin tamamen veya kısmen çözünerek, metal yüzeyinden uzaklaştırılması esas alınmaktadır [38].

$$\text{Korozyon Hızı} = \frac{(\text{kütle azalması})}{\text{metal yüzey alanı} * \text{zaman}}$$

Bu yöntemde korozyon akımı, Faraday kanunu ile bulunabilir (Eşitlik 3.9);

$$i_{\text{corr}} = \frac{\Delta m * F * n}{\Delta t * M} \quad (3.9)$$

Burada Δm kütle kaybını, M metalin molar kütesini, F Faraday sabitini, n metalin çözünmeye geçme değerini ve Δt ise zaman aralığını göstermektedir.

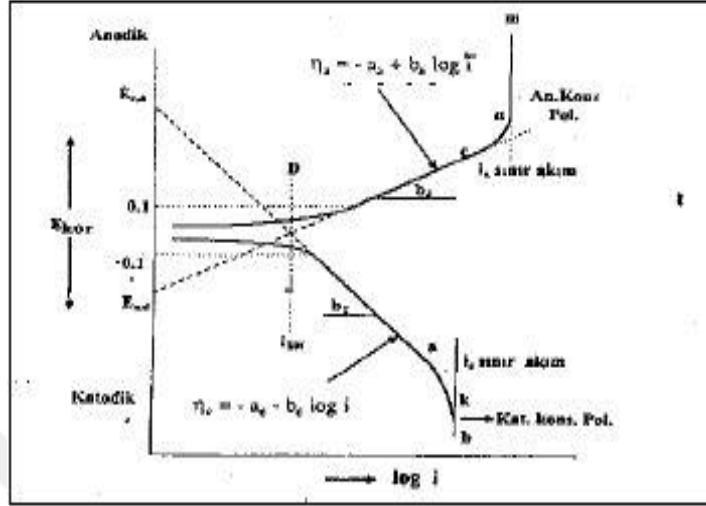
3.5.2. Elektrokimyasal Yöntemler

3.5.2.1. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi

Korozyon hızının yani korozyon akımının belirlenmesi için anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinin Tafel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapole edilmesiyle belirlenmektedir. Anodik ve katodik Tafel bölgeleri beraber elde edilmediği zaman ise, sadece birinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu ile de korozyon hızı bulunabilmektedir. Korozyon, bir tek çözünme tepkimesinden oluşmamaktadır. Elektrot yüzeyinde birçok indirgenme ve yükseltgenme tepkimesi birlikte olmaktadır. Özellikle alaşımlar için bu tepkimeler daha çok karmaşıktır. Bu yüzden elektrokimyasal yöntemlerle korozyon olayı incelenirken, tüm sistemin davranışını birlikte gösteren karma potansiyel kuramından yararlanılmaktadır. Tek bir elektrokimyasal olayda yükseltgenme akımın, indirgenme akımına eşit olduğu potansiyele denge potansiyeli (E_d) denir. İki veya daha fazla indirgenme ve yükseltgenme tepkimesinin birlikte ilerlediği bir ortamda toplam indirgenme akımının, toplam yükseltgenme akımına eşit olduğu potansiyele ise korozyon potansiyeli (E_{cor}) denir. Korozyon potansiyelinde net bir akım vardır. Fakat toplam anodik akım, toplam katodik akıma eşit olduğundan dolayı, bu akım okunamamaktadır. Doğrudan ölçülmeyen bu akım, korozyon akımı (I_{cor}) olarak tanımlanmaktadır. Korozyon akımının elektrodun yüzey alanına bölünmesi ile elde edilen akım yoğunluğu (I_{cor}), metalin korozyon hızını vermektedir [38].

Akım-potansiyel eğrileri, akım veya potansiyellerden birinin kontrollü olarak değiştirilmesiyle (diğerinin aldığı değerler grafiğe geçirilerek) elde edilmektedir. Korozyona uğrayan bir metal için, anodik ve katodik Tafel eğrileri deneysel yöntemle belirlenmektedir (Deney sonuçları grafiğe geçirildiğinde, çizgisel olan

kısımlar uzatılır ve kesim noktalarında o sistem için korozyon hızı bulunur). Korozyon hızı I_{cor} ve korozyon potansiyeli E_{cor} , Şekil 3.5’de verilmektedir [38].



Şekil 3.5. Tafel ekstrapolasyonu ile korozyon hızının bulunması [38].

3.5.2.2. Lineer Polarizasyon Yöntemi

Korozyon hızının belirlenmesinde, çizgisel polarizasyon yöntemi veya polarizasyon direnci yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, ilk kez 1955’de Simmons ve Scold ve Larson tarafından kullanılmıştır. Bu yöntemde aktivasyon polarizasyonu ile denetlenen bir sistemde korozyon potansiyeli dolayında uygulanan Δi akımı etkisiyle oluşan ΔE potansiyel farkı arasında çizgisel bir bağıntı vardır (Eşitlik 3.10) [40]. Bu bağlantı;

$$\Delta E / \Delta i = (\beta_a \beta_c) / 2.3 i_{cor} (\beta_a + \beta_c) \quad (3.10)$$

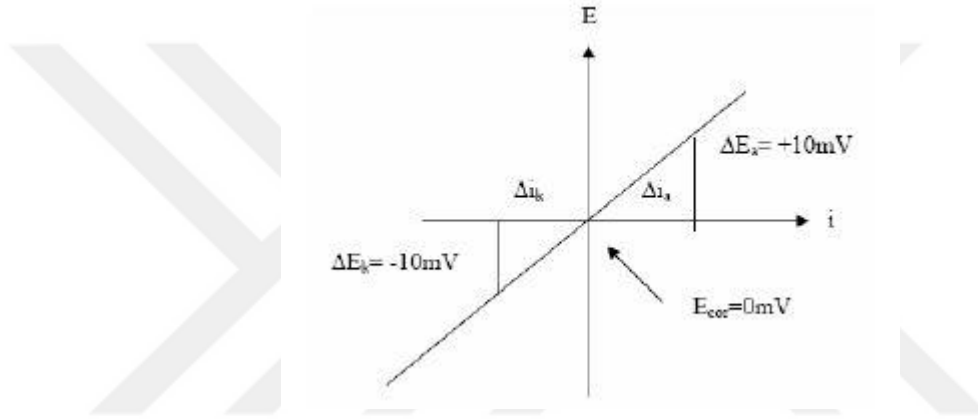
Burada; β_a ve β_c karşılıklı olarak anodik ve katodik Tafel sabitleridir, I_{cor} , korozyon akımı yoğunluğudur. Ancak bu çizgisel bağıntı, en çok 10mV’a kadar uygulanabilmektedir. Genel olarak 7 mV’ dan sonra çizgisellikten sapma başlamaktadır. Bu durum Eşitlik 3.11’de verilmektedir.

$$I_{cor} = B.(\Delta i / \Delta E) \text{ burada, } B = (\beta_a \beta_c) / [2,3 i_{cor} (\beta_a + \beta_c)] \quad (3.11)$$

Burada;

$$B = (\beta_a \cdot \beta_c) / 2.3 (\beta_a \cdot \beta_c) \quad (3.12)$$

Eşitlik 3.12'ye göre polarizasyon direncinin tersi korozyon hızı ile orantılıdır. Orantı sabiti B ve çizgisel E-logi, polarizasyon eğimlerinin bir fonksiyonudur. Eğer anodik ve katodik tepkimelerin Tafel sabitleri β_a ve β_c elde edilebilirse, korozyon hızı denklemden doğrudan hesaplanabilmektedir [40]. Şekil 3.6'da Polarizasyon direncini belirlemek amacıyla çizilen bir akım potansiyel eğrisi verilmektedir.



Şekil 3.6. Polarizasyon direncini belirlemek amacıyla çizilen bir akım potansiyel eğrisi [41].

3.6. KOROZYONA KARŞI KORUMA YÖNTEMLERİ

Çevresel şartların değiştirilmesi genellikle mümkün olmadığı için, korozyonu önlemek veya geciktirmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunun için öncelikli olarak, çevre şartlarına dayanıklı metal ve alaşımının seçilmesi gereklidir. İkinci olarak da metalin bir koruyucu ile kaplanması, yani çevreye karşı izolasyonu veya katodik koruma yapılmaktadır. Hazırlanan sistemlerin oluşması muhtemel korozyon hasarlarının göz önünde bulundurularak tasarlanması da korozyonu önleyici bir etkidir. Örneğin boru hatlarında akışkan hızının yüksek olması, kavşak bölgelerinde erozyon korozyonuna sebebiyet verdiği için, akışkan hızını kavşak bölgelerine yaklaşırken sıvı hızını düşürücü tedbirler alınmaktadır. Otomobil benzin depoları tasarlanırken, içerisinde hiçbir şekilde birikinti kalmayacak şekilde tasarlanmaktadır. Perçin, civata vb. elemanların metal ile temas bölgelerinde ya bir

izolasyon tedbiri alınmalı veya galvanik çift oluşturmaya malzemeler tercih edilmektedir. Kaynak yapılan malzemelerde, kaynak elektrotu olarak galvanik çift oluşturmaya elektrotlar kullanılmalıdır [39]. Korozif ortam içinde bulunan metalik malzemenin korozyonunu önlemek veya korozyon hızını azaltmak için alınması gereken önlemler, üç ana grup altında toplanabilir:

3.6.1. Elektrokimyasal Yöntemler

Katodik koruma

Anodik koruma

3.6.2. Kimyasal Yöntemler

İnhibitör kullanımı

Uygun metal seçimi

Çevrenin kimyasal bileşiminin değişimi

3.6.3. Koruyucu Kaplamalar

Organik kaplama (boya) uygulanması

İnorganik kaplama yapılması

3.7.ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER

3.7.1. Katodik Koruma

Katodik korumanın temel ilkeleri, elektrokimyasal korozyon teorisine dayanmaktadır. Katodik koruma, korozyona uğrayan metallerin katot olarak polarizasyonunu gerektirmektedir. Bu, korunmak istenen metali daha aktif bir metal ile (galvanik anot veya kurban anot) eşleyerek sağlandığı gibi, dıştan akım uygulayarak da gerçekleştirilebilir. Galvanik anotlar, koruma sırasında belirli hızlarla çözünerek ağırlıklarını kaybetmektedir. Bunlar uygun zaman aralıklarıyla yenilenecek, koruma işlevine süreklilik kazandırılmaktadır. İkinci yöntemde, korunan

metal ve anot çiftinin akım üretir nitelikte olması gerekmemektedir. Çünkü koruma için gerekli akım, uygun bir dış kaynaktan çekilmektedir. Yavaş çözünürlük yanında ekonomik olan malzemeler, anot malzemesi olarak kullanılmaktadır. Galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinde kullanılan anot malzemeleri, genellikle çinko, alüminyum ve magnezyumdur. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde ise Fe-Si, Pb-Sb-Ag ve Ti bazlı anotlar kullanılmaktadır [39].

Katodik korumanın en fazla uygulandığı alanlar:

Gemilerin taban yüzeyleri,

Gemilerin balast tankları,

Dubalarda ve balast tankları,

Yeraltı boru hatları,

Mavnalarda ve iskele ayakları,

Petrol depolama tankları,

Su depolama tankları'dır.

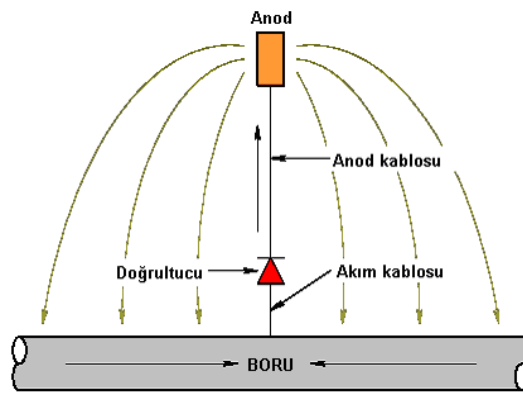
Katodik Korumanın Esasları :

Koruma, korozyona uğrayan metalin (korozyon sisteminde anot olarak davranan metalin) potansiyeli değiştirilerek onu katot olarak davranmaya zorlanmaktadır. Çözünmeyen bir inert anot yardımıyla korunan bir yapı, devrenin negatif kutbunu oluşturacak şekilde doğru akım devresine bağlanmaktadır. Bu tip korumaya, dış akım kaynaklı katodik koruma denir. Korunacak yapı, elektrik devresinin katodik kutbunu oluşturduğu için, doğru akım kaynağından buraya sürekli bir elektron beslenmesi söz konusudur. Bu ise, sürekli bir elektron çıkışı ile ($Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$), çözünmesi söz konusu olan metalin korozyonunun durmasına neden olmaktadır. Çünkü çözünme anında salınan ve korozyon hücresinin katoduna akan elektronlar, doğru akım kaynağından fazlası ile geri beslenmektedir. Katodik korumanın bir başka şekli ise, korunması istenen metalden daha aktif bir metali anot olarak kullanarak, suni bir pil devresi oluşturmaktadır. Aktif metalin korozyonu ile korozyona karşı korunmak istenen yapıya elektron transferi sağlanarak, yapı katot haline getirilmekte ve koruma sağlanmaktadır. Bu metot, galvanik anotlu katodik koruma metodu olarak adlandırılmaktadır. Katodik korumanın amacı, belirli bir ortamda metal için sabit bir potansiyel eşliğinin altında metalin elektrolit ortama göre, negatif olarak

kutuplaştırarak korozyondan korumaktadır. Sonuçta, metal yapının her noktasında, birim alana devamlı olarak akım gelmektedir. Bu akım yoğunluğu, kaplamanın direncine ve o bölgedeki potansiyel farkına bağlıdır. Dolayısıyla, koruma için seçilen kriter, metalin toprak/deniz ile bağ kurulduğu minimum potansiyeldir. Ölçümler genellikle, bakır/bakır sülfat elektrotu referans alınarak yapılmaktadır. Bu şartlar altında, demir için katodik koruma, 850 mV'un altında ve Bakır için katodik koruma, 250 mV altında sağlanmaktadır. Böylece elektrolit ortam ile temas halindeki metalin her noktasında, minimum potansiyele erişilmektedir [39].

3.7.1.1. Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma

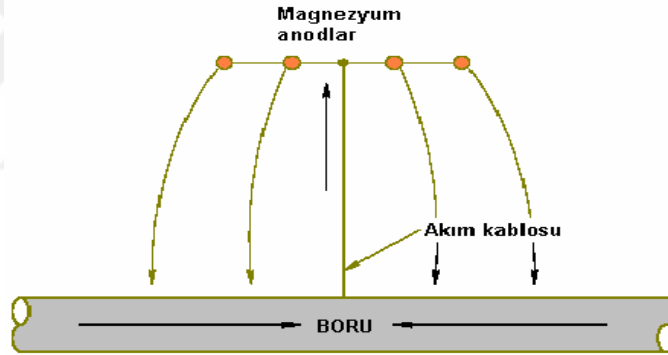
Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi, metal yüzeyini korozyondan korumak için, doğrultucu vasıtasıyla bir koruma akımı sağlamaktadır. Anotla katot arasındaki potansiyel farkı, doğrultucu tarafından yapılan ilave bir enerji aktivitesi vasıtasıyla anotlar tarafından meydana getirilmektedir. Katodik koruma yapılan yüzey alanın fazlalığından veya zemin koroziifliğinin fazlalığından kaynaklanan akım ihtiyacı, galvanik anotlarla karşılanamadığında dış akım kaynaklı sistem tercih edilmektedir. Dış akım kaynaklı katodik koruma sisteminin bu avantajının yanında diğer avantajı da, akım ihtiyacının değişen koşullara bağlı olarak düşürülmesine veya yükseltilmesine izin vermesi ve işletmesinin kolay olmasıdır.



Şekil 3.7. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi [39].

3.7.1.2. Galvanik Anotlu Katodik Koruma

Galvanik anot sisteminde gerekli katodik koruma akımı, aktif olan bir metalin korozyona uğramasıyla sağlanmaktadır. Galvanik anotlu (bu anotlar kurban anot olarak da adlandırılır) farklı metal veya alaşımlarından meydana gelen korozyon reaksiyonları, kurulan korozyon hücresi potansiyelindeki farklılıklara göre çalışmaktadır. Örneğin demirin bakır/bakır sülfat referans elektroduna göre arasındaki potansiyel farkı, -0,4 ve 0,6 V'dır. Çinkonun bakır/bakır sülfat referans elektroduna göre potansiyel farkı -1,1 Volt dur. Eğer bu iki metal elektriksel olarak birbirleriyle bağlandığında demir ve çinko arasında 0,5-0,7 Volt potansiyel farkı olmakta ve çinko anot olarak çalışarak korozyona uğramaktadır. Aynı zamanda koruma akımı sağlayan bir akım kaynağı olmakla ve demiri katot haline geçirerek demirin korozyona uğraması önlenmektedir.



Şekil 3.8. Galvanik anotlu katodik koruma sistemi [39].

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemine ihtiyaç kalmayan, nispeten daha az aktif alana sahip (akım ihtiyacı düşük) ve zemin rezistivite değerleri çok yüksek olmayan bölgelerde, galvanik anotlu katodik koruma sistemi tercih edilmektedir. Galvanik anotlu katodik koruma sisteminde en önemli unsur ise anot seçimidir.

3.7.1.3. Anodik Koruma

Anodik koruma, metalleri korozyondan korumak için uygulanan ilginç bir elektrokimyasal yöntemdir. Bu yöntemde, metale anodik yönde bir dış akım uygulanarak, metalin pasiflik potansiyeline gelmesi sağlanmaktadır. Anodik koruma

esas olarak bir pasifleştirme işlemi olarak kabul edilebilir. Bu nedenle, yöntem ancak pasifleşme özelliği olan metallere uygulanabilmektedir. Anodik koruma yapılarak, metal sürekli olarak pasif halde tutulmaktadır. Pasif hal, korozyon akımının en düşük olduğu bir durumdur. Ancak, en düşük korozyon akımı her zaman yeterli derecede düşük olmayabilir ve bu nedenle de bazı çözeltiler için bu yöntem, uygun çözüm olmamaktadır. Bununla birlikte, anodik korumada, potansiyel ve akım kontrolünün çok iyi yapılması gereklidir. Eğer sistemde bir arıza meydana geldiğinde, korunan metal kısa sürede korozyona uğrayabilir. Bu nedenle, anodik koruma genellikle, şiddetli korozyon olayının söz konusu olduğu ortamlarda, korozyon hızını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır [39].

3.8. KİMYASAL YÖNTEMLER

3.8.1. İnhibitörle Koruma

Ortama az miktarda ilave edildiğinde korozyon hızını azaltan maddelere, korozyon inhibitörü denir. Korozyona karşı dayanıklı, fakat pahalı olan bir malzeme kullanmak yerine bazı halde ortama inhibitör ilave edilerek, daha ucuz malzemelerin kullanılması tercih edilmektedir. İnhibitör kullanımı, çukur korozyonuna karşı, en ekonomik çözümdür. İnhibitörlerin korozyon hızını azaltıcı etkileri, çeşitli şekillerde gerçekleşmektedir. Bazı inhibitörler metal yüzeyinde ince bir film oluşturarak, metal ile çevresi arasındaki reaksiyon hızını yavaşlatmaktadır. Ayrıca, ortamda bulunan korozyon yapıcı bileşen kullanılarak (örneğin çözünmüş oksijenin inhibitör tarafından kimyasal olarak bağlanması ile), korozyon önlenmektedir. İnhibitörler, anodik inhibitör ve katodik inhibitör olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.8.2. Uygun Metal Seçimi

Metal seçimi aşamasında, gerçek ortamlara uygunluk sağlaması için yeraltı ve sualtı yapılarında, özel alaşımların kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu yolla korozyondan korunmak her zaman mümkün değildir. Örneğin, yer altı suyu temini için açılan sondaj kuyularında kullanılan filtre boruları değişik zemin, sıcaklık ve kimyasal

içeriği, değişik su katmanlarını kestikleri için korozyona uğrama ihtimallerini de artırmaktadır.

3.8.3. Koruyucu Kaplamalar

Korozyondan korunmak için metal koruyucu kaplanarak, çevre-yapı arasında az veya çok yalıtkan bir engel oluşturmak daha ekonomik bir yöntemdir. Kaplamaların kalitesi, elektriksel dirençleri ile ilgilidir ve 10000 ohm/mm² den büyük dirençli kaplamalar, korozyon açısından uygundur [39].

3.8.3.1. Boya İle Koruma

Boyalar, metal yüzeyini çevreden yalıtarak, su ve oksijenin metal yüzeyine ulaşmasını önleyen ve genellikle organik malzemelerden üretilmektedir. Boyaların bileşiminde, korozyonu önleyici çeşitli pigmentler kullanılmaktadır. Boyalar, uygulama kolaylığı ve düşük maliyetleri nedeniyle, yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla, çok sayıda boya türü geliştirilmiştir. Bunların kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı olmakla birlikte, hepsinde ortak olan nokta sağlam ve geçirimsiz bir kabuk oluşturarak, metalin çevresi ile temasını önlemesidir. Boyalar korozyonu önleme görevini üç şekilde yerine getirmektedir.

Birincisi bütün boyalar metal yüzeyi ile çevre arasında geçirimsiz bir tabaka oluşturarak, metalin çevre ile reaksiyona girmesini önlemektedir. İkincisi, bazı boyalar içinde inhibitör etkisi yapan pigmentler bulunmaktadır. Bunlar, metal yüzeyinin pasifleşmesine neden olmaktadır. Üçüncüsü ise, bazı boyalar içinde dolgu maddesi olarak, çinko tozu ilave edilmektedir. Çinko galvanik etki yaparak, metali katodik olarak korumaktadır.

3.8.3.2. Metalik Kaplamayla Koruma

Metalik bir yüzeyi korumak amacı ile üzerine kaplanan metal, bu metale göre korozyon ortamına daha dayanıklı inört bir metaldir veya bu metali korumak için kendisi tercihli olarak çözünerek kapladığı metalin çözünmesine engel olmaktadır. Yani daha

aktiftir. Birinci tip yani inört metal kaplamalarına örnek olarak, bakır üzerine altın veya gümüş ve çelik üzerine kalay kurşun veya krom kaplama verilebilir. İkinci tip, yani aktif kaplama metallerine ise, çelik üzerine çinko, kadmiyum, alüminyum kaplama örnek gösterilebilir. İnört metaller ile yapılan kaplamalarda meydana gelen hatalar, devamsızlıklar (çizikler, gözenekler, kesik-çentik kenarlar) altından açığa çıkan alt metal inört metale göre anot olmaktadır. Bu bölgelerde büyük katot-küçük anot etkisi ile şiddetli korozyon olayı meydana gelmektedir. Bu nedenle bu tip kaplamalarda, kaplama hataları çok tehlikeli sonuçlara sebep olmaktadır. Aktif kaplamalarda, metallerindeki küçük devamsızlıklar altından açığa çıkan alt metal korozyona uğramamaktadır. Çünkü aktif metal kendisi harcayarak, bir çeşit katodik koruma ile alt metali korumaktadır. Aktif metaller ile kaplamada ilginç bir yöntem de, aktif metal yüzeylerinin kromat veya fosfat tabakası ile kaplanmasıdır. Bu durumda, aktif metalin çözünmesi büyük ölçüde azalmaktadır. Metalik kaplama ile metaller sadece korozyondan korunmakla kalmaz, aynı zamanda dekoratif çekicilik ve işlevsel özellikler de kazanmaktadırlar. Hem korozyondan korumak, hem de dekoratif özellik vermek için çok katlı tabakalar da uygulanabilmektedir. Metalik kaplamaların bileşimleri, yapıları ve içerdikleri safsızlıklar, korozyon dirençlerine de etkilemektedir. Metal kaplamaların seçiminde ortam, metal kaplanmış parçanın kabul edilebilir ömrü, dekoratif etki, metalin türü, parçanın şekli ve boyutu, daha sonra uygulanacak imalat yöntemleri ve mekanik etkenler, önemli rol oynamaktadır. Metalik kaplamalarda ise, sağlanmak istenen korozyon direncinin uygun değer olması için, metalik malzemenin kullanıldığı ortam, üzerine kaplama yapılan alt metal cinsi, kaplamanın türü, uygulama şekli, kaplamanın alt veya üstünde başka kaplama bulunup bulunmadığı gibi faktörler göz önünde bulundurulmaktadır [39].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. DENEYSEL MALZEMELER

Deneysel çalışmalarda, matris malzemesi olarak gaz atomize yöntemi ile üretilen AA7075 alaşımı tozlar ($< 100 \mu\text{m}$ küresel) kullanılmıştır. Külçe halinde ACA METAL/firmasından temin edilen AA7075 alüminyum alaşımı, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme ve Metalurji Mühendisliği bölümünde bulunan gaz atomizasyona ünitesinde toz haline getirilmiştir. Gaz atomizasyonu ile üretilen AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Toz üretiminde kullanılan AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi.

Element	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Zr	Cr	Mn	Al
%Ağırlık	5,48	2,58	1,568	0,549	0,403	0,0305	0,0125	0,014	Kalan

Gaz atomize AA7075 alüminyum alaşımına farklı miktarlarda (%2-6)Ti ve (%3-9) B₄C ilave edilerek 4 farklı grup malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.2 de deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

4.2. TOZLARIN HAZIRLANMASI

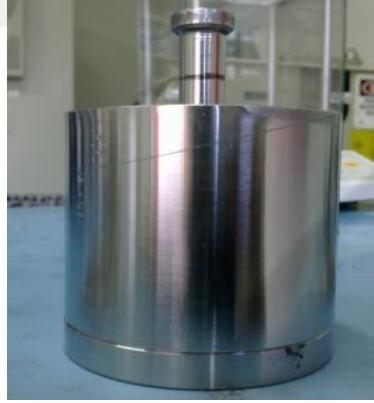
Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan AA7075 içerisine farklı miktarlarda Ti (% 2,4 ve 6) ve B₄C (% 3,6 ve 9) ilave edilmiştir. Dört farklı grup için her bir bileşimin toplam ağırlığı 100 g olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan tozlar, Şekil 4,1'de görülen Turbula® Shaker Mixer (Model T2F Glenn Mills) karıştırıcıda 67 dv/dk. ile 45 dakika karıştırılmıştır.



Şekil 4.1. Elementel tozların karıştırılmasında kullanılan Turbula® Shaker Mixer (Model T2F Glenn Mills) tipi karıştırıcı.

4.3. SOĞUK PRESLEME İŞLEMİ

Soğuk presle işleminde, tek eksenli 50 ton sıkıştırma kapasiteli "HİDROLİK SAN" marka pres kullanılmıştır. Turbula mikser de karıştırılan tozlar, 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek, Ø12x7 mm silindirik parçalar üretilmiştir. Alaşım ve kompozit tozların soğuk preslenmesinde kullanılan kalıbın görüntüsü ise, Şekil 4.2 de verilmiştir.



Şekil 4.2. Numulerin şekillendirilmesinde kullanılan metal kalıp.

Numuneler "HİDROLİK SAN" model 50 ton baskı kapasiteli hidrolik preste 600 MPa basınç uygulanarak yapılmıştır (Şekil 4.2). Şekil 4.3'de, deneysel çalışmada kullanılan pres'in görüntüsü verilmiştir. Ø12 mm'lik kalıba göre baskı kuvveti hesabı yapılmıştır (Eşitlik 4.1).

Baskı kuvveti:

$$F = P \times A \quad (4.1)$$

$F = 600 \text{ MPa} \times 113 \text{ mm}^2 / 9,81 \text{ N/kg} = 6900 \text{ kg}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.3. Deney numunelerinin preslendiği "HİDROLİK SAN" marka pres.

4.4. SİNERLEME

Sinterleme işlemleri, yüksek saflıkta argon gazı altında 580 °C'de atmosfer kontrollü (argon) ortamda yapılmıştır. Sinterleme işleminde numuneler 10 °C/dakika ısıtma hızı ile 580 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra, argon ortamında 4 saat bekletilerek, fırın ortamında soğutulmuştur.

4.5. METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA

Mikroyapı incelemeleri için standart metalografik işlemler kullanılarak, numuneler hazırlanmıştır. Zımparalama ve parlatma işlemi Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan PRESİ marka MECAPOL P 262 model polisaj cihazı kullanılmıştır. Zımparalama işleminden sonra numuneler 3 µm elmas pasta ile parlatılarak hazırlanan 95 ml saf su, 2,5 ml HNO₃, 1,5 ml HCl, 1

ml HF (Keller's) dağlayıcı ile 15-20 saniye dağlanmıştır. şekil 4,4'de PRESİ marka Mecapol P262 model cihazının görüntüsü verilmiştir. Sinterlenen numuneler, korozyon ve elektrik iletkenliği incelemesi için hazırlanmıştır.



şekil 4.4. PRESİ marka Mecapol P 262 model cihazının görüntüsü.

4.6. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ

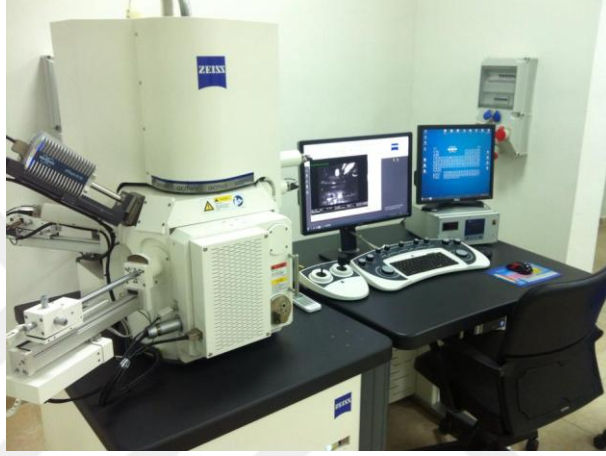
Sinterlenen numunelerin yoğunluk lmleri PRECISA XB200 h marka maksimum 220 g 0.01g 1/10000 gr hassasiyetli yoğunluk ölçüm cihazında, Arşimet prensibine göre yapılmıştır (şekil 4.5).



şekil 4.5. PRESİ Precisa XB200h marka hassas terazi ve yoğunluk cihazının görüntüsü.

4.7. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) ve EDS İNCELEMESİ

Standart metalografik işlemlerle hazırlanan numunelerin mikro yapı incelemelerinde Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü AR-GE Laboratuar'ında bulunan Zeiss-Ultra/Plus (FEG) model tarama elektron mikroskop (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca korozyon testleri yapılan numunelerin, korozyon testlerinden sonra yüzeyleri SEM ile incelenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Zeiss-Ultra/Plus (FEG) model tarama elektron mikroskop cihazının görüntüsü.

4.8. X-IŞINI KIRINIMI (XRD) İNCELEMESİ

Yapıda oluşan fazların belirlenmesi amacıyla, X-ışını kırınımı (XRD) Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Laboratuar'ında bulunan Rigaku D-MAX IN-2200 serisi cihazla yapılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Rigaku D-MAX IN-2200 serisi cihazının görüntüsü

4.9. KOROZYON VE EMPEDANS ÖLÇÜMLERİ

Hazırlanan kompozit malzemelere 10 cm uzunluğunda bakır tel gümüş elektrot ile lehimlenerek (oksijen kaynağı) korozyon testleri için hazırlanmıştır. 100 ml'lik üç boyunlu balon kullanılarak platin, referans ve çalışma elektrotları 0,1 M H₂SO₄ içerisine daldırılarak, Compactstat Electrochemical İnterface analiz cihazında Tafel ve empedans eğrileri elde edilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Compactstat Electrochemical İnterface cihazının görüntüsü.

4.10. ELEKTRİK İLETKENLİK DENEYLERİ

İletkenliğin tam anlamıyla sağlayabilmesi için numunenin altına bakır bir malzeme konularak KEİTHLEY 617 Programmable Electrometer cihazında mV cinsinden iletkenlik değerleri (%IACS) hesaplanmıştır (Şekil 4.9). Analizi yapılan sonuçların ASTM(B193-02) (Standard Test Method for Resistivity of Electrical Conductor Materials) standartına göre hesaplanmıştır. Burada hacim direnci genel olarak birim uzunluk ve enine kesit alanı içeren bir teorik iletken için ohm (Ω) olarak ifade edilmektedir. %IACS değerlerinin hesaplanmasında Eşitlik 4.2 de kullanılmıştır.

$$\rho_v = (A/L) * R \quad (4.2)$$

Burada;

ρ_v =Hacim direnci $\Omega * \text{mm}^2/\text{m}$

A=Kesit Alanı mm^2

L=Belirlemek için kullanılan ölçüm uzunluğunda, fit veya m

R=Ölçülen Direnç Ω



Şekil 4.9. KEİTHLEY 617 Programmable Electrometercihazının görüntüsü.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, AA7075 alaşımına Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen in-situ, ex-situ ve hibrit alüminyum kompozit malzemelerin (AKM) mikro yapısal özellikleri, korozyon davranışları ve elektrik iletkenlikleri incelenmiştir. Mikro yapısal özelliklerin belirlenmesi için yapılan karakterizasyon çalışmalarında, taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılım spektroskopisi (EDS), X-ışını kırınımı (XRD), yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. T/M ile üretilen AMK'lerin Compactstat Electrochemical İnterface analiz cihazında (Tafel ve empedans eğrileri belirlenerek) elektro korozyon davranışları incelenmiştir. Ayrıca KEİTHLEY 617 Programmable Electrometer cihazı ile elektrik iletkenlikleri (%IACS) ölçülmüştür.

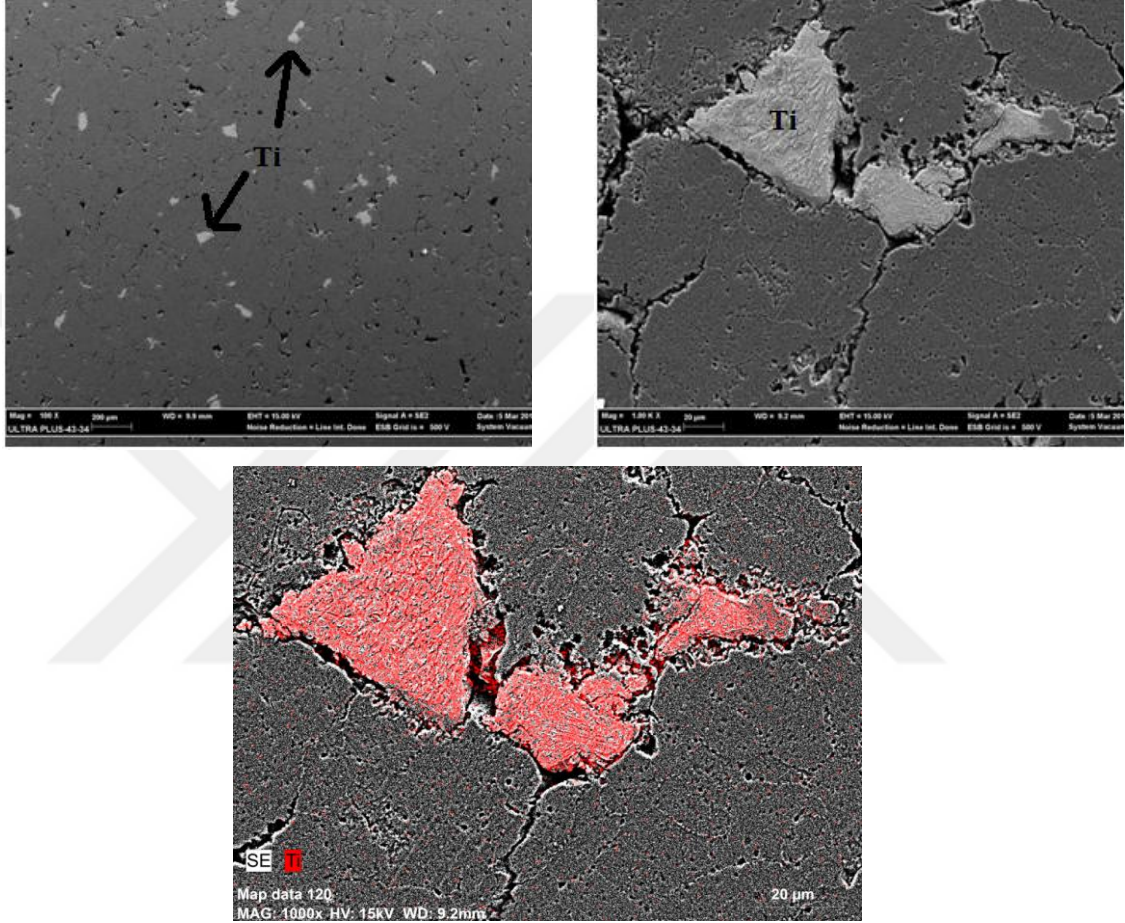
5.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

5.1.1. İn-Situ Ve Ex-Situ Kompozitlerin SEM Ve EDS (Mapping) İncelemeleri

Gaz atomizasyonu (GA) yöntemiyle üretilen AA7075 tozlarına farklı miktarlarda B₄C (%3, %6, %9) ve Ti (%2, %4, %6) ilave edilerek üretilen in-situ ve ex-situ kompozit tozlar 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek, Ø12mm x 7mm boyutlarında ön şekillendirilmiş parçalar üretilmiştir. Kompozitler soğuk presleme işlemi ile şekillendirilmesinden sonra, 580°C da dört saat atmosfer kontrollü (argon) ortamda sinterlenerek, fırın ortamında oda sıcaklığına soğutulmuştur. Şekil 5.1'de in-situ (%6 Ti) ve Şekil 5.3'de ex-situ olarak üretilen (%6 B₄C) kompozitlerin SEM görüntüleri ve EDS (mapping) sonuçları verilmektedir.

5.1.1.1. İn-situ Kompozitlerin SEM Ve EDS (Mapping) Analizi Sonuçları

Şekil 5.1’de in-situ kompozit Ti 'nin SEM görüntüleri ve EDS (mapping) sonuçları verilmektedir.



Şekil 5.1. AA7075 alaşımına %6 Ti ilave edilerek üretilen in-situ kompozitlerin mikroyapı SEM görüntüleri ve EDS (mapping) sonuçları.

Şekil 5.1’de verilen SEM görüntüleri ve EDS (mapping) sonuçlarından da anlaşıldığı gibi, matris alüminyumdur (AA7075). Bu alaşıma in-situ çökeltiler oluşturmak amacıyla ilave edilen Ti 'un bir kısmının, matris içerisinde çözünmeden (bölgesel olarak) bulunduğu da gözlenmektedir.

Alaşıma ilave edilen Ti 'un sinterleme işlemi sırasında Al ile reaksiyona girmesi sonucu yapıda in-situ olarak oluşan $TiAl_3$ fazının net görülebilmesi için yüksek magnifikasyonda alınan SEM görüntüsü Şekil 5.2’de verilmektedir.

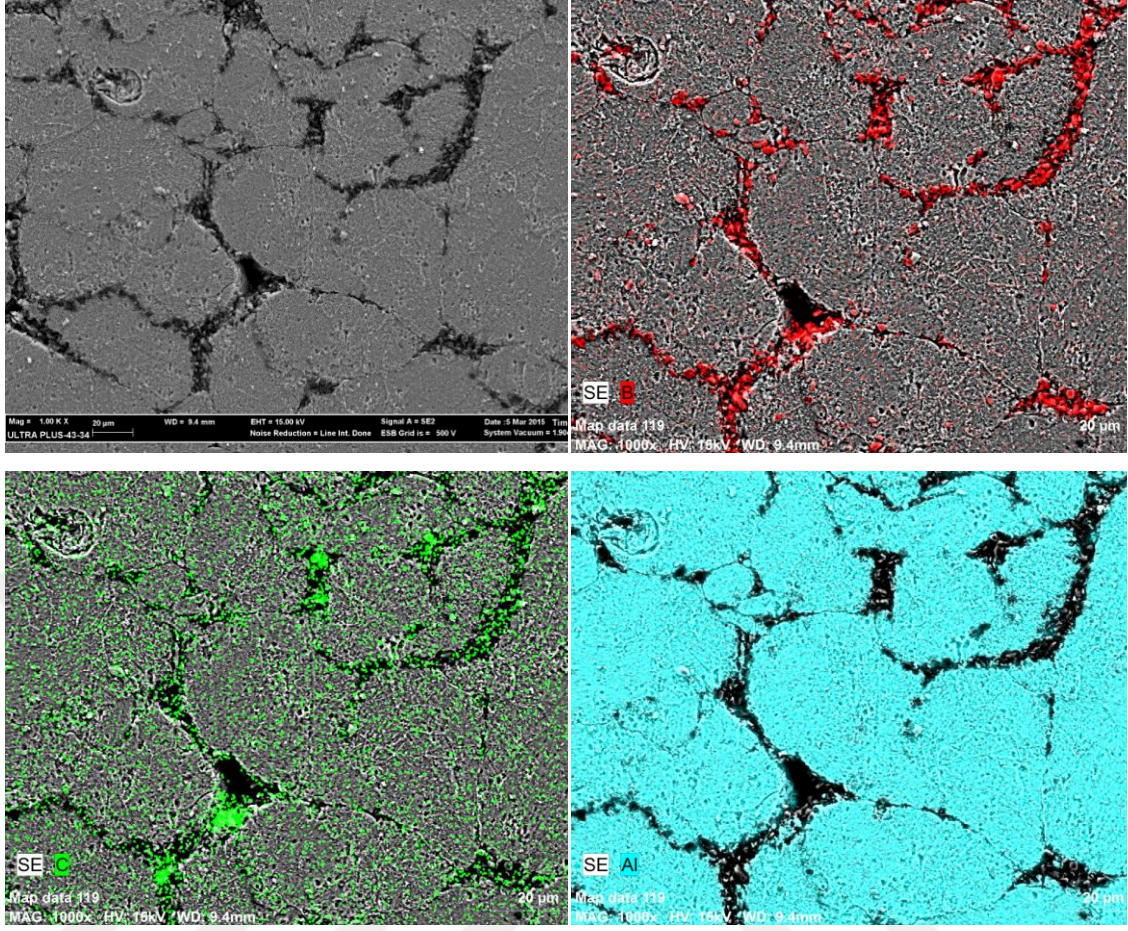


Şekil 5.2. Ti ilave edilen AA7075 alaşımında in-situ oluşan $TiAl_3$ fazının SEM görüntüsü.

Yapıda in-situ olarak üretilen $TiAl_3$ parçacıklarının oluşması, Al-Ti diyagramındaki α -Al ve $TiAl_3$ yapısal dönüşümler ile açıklanabilir. Al-Ti faz diyagramından, $TiAl_3$ intermetalik fazı ve alüminyum arasında oluşan bir peritektik reaksiyon meydana gelmektedir. Titanyum, Al/ $TiAl_3$ sınırlarına difüze ederek bu bölgelerde güçlü mekanik bağ oluşturmaktadır [42].

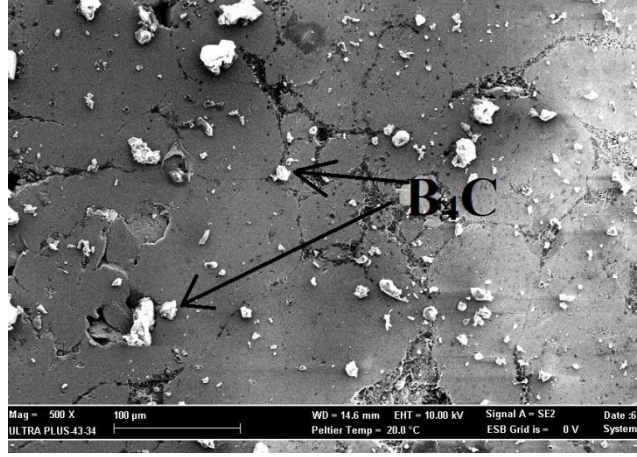
5.1.1.2. Ex-Situ Kompozitlerin SEM Ve EDS (Mapping) Analizi Sonuçları

AA7075 alaşımına farklı oranlarda B_4C ilave edilerek üretilen ex-situ kompozitlerin SEM görüntüleri ve EDS (mapping) sonuçları Şekil 5.3'de verilmektedir.



Şekil 5.3. AA7075 alaşımına %6 B₄C ilave edilerek üretilen ex-situ kompozitlerin mikroyapı SEM görüntüleri ve EDS (mapping) sonuçları.

Şekil 5.3’de verilen SEM görüntüleri ve EDS Mapping analizlerinde de görüldüğü gibi, AA7075 alaşımına ilave edilen B₄C takviye elemanı yapıda homojen bir dağılım sergilemektedir. Ayrıca EDS analizinde bor ve karbonun yapıda, özellikle de tane sınırlarında kısmen yoğunlaşmaktadır.

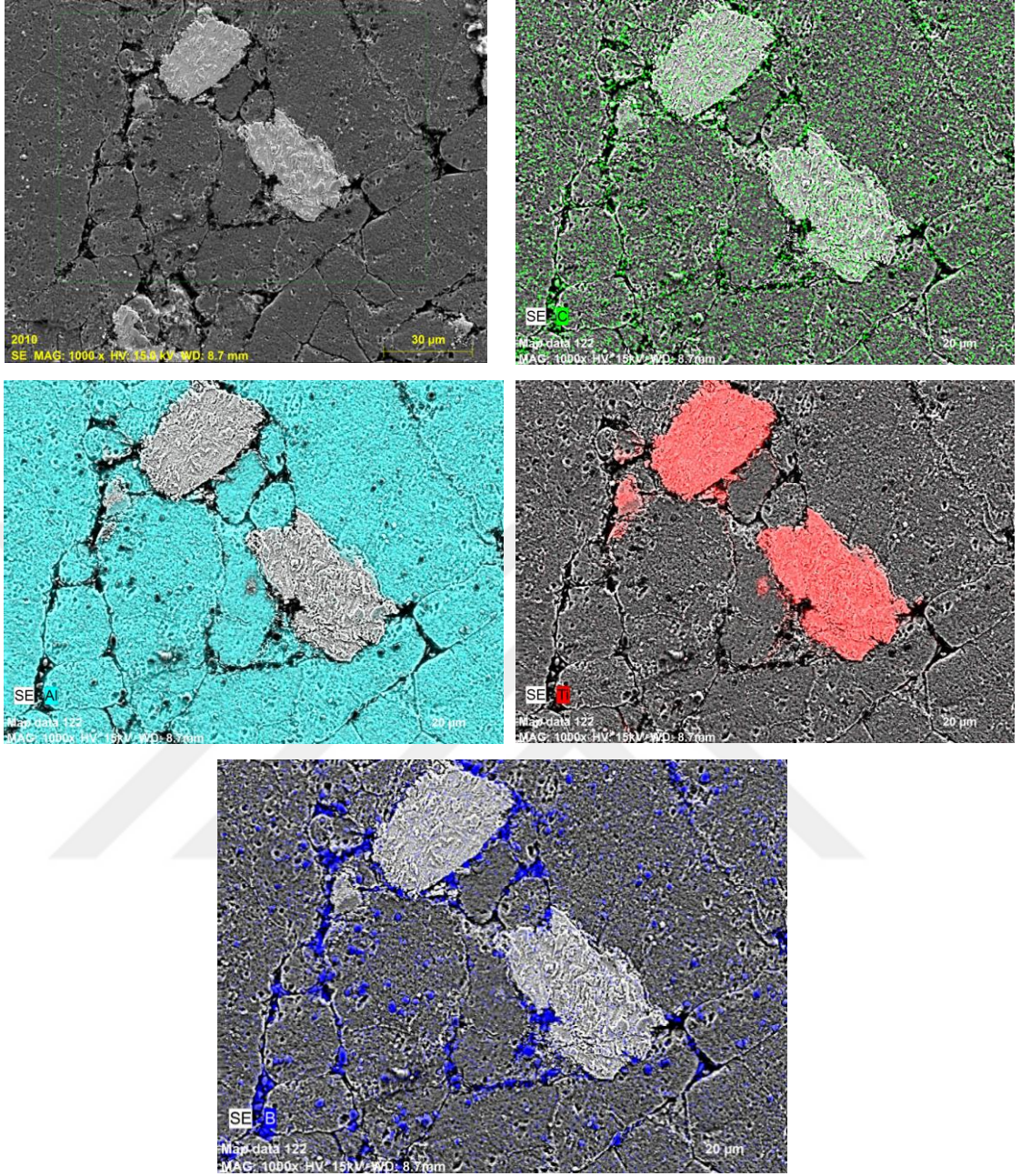


Şekil 5.4. B₄C ilave edilen AA7075 alaşımının(ex-situ) mikroyapı SEM görüntüsü.

Şekil 5.4’de verilen SEM görüntüleri sonuçlarından da anlaşıldığı gibi matris alüminyumdur (AA7075). Üretilen ex-situ kompozit malzemedeki takviye elemanı olarak kullanılan B₄C bileşimine sahip kompozitin SEM görüntüsünde ise, B₄C’ün bölgesel olarak yoğunlaşmaktadır. Yapılan çalışmada, Al-Ti-B₄C kompozitler T/M yöntemiyle üretildiği için de, mikro yapı SEM görüntülerinde mikro gözenekler olduğu ve bu gözeneklerin, tane sınırlarında arttığı görülmektedir.

5.1.2. Hibrit Kompozitlerin SEM Ve EDS (Mapping) Analizi Sonuçları

AA7075 Al alaşımına % 4 Ti sabit tutularak üç farklı oranda (% 3-6-9) B₄C ilave edilen hibrit kompozitin mikroyapı SEM görüntüsü ve EDS (mapping) sonuçları, Şekil 5.5’de verilmektedir.



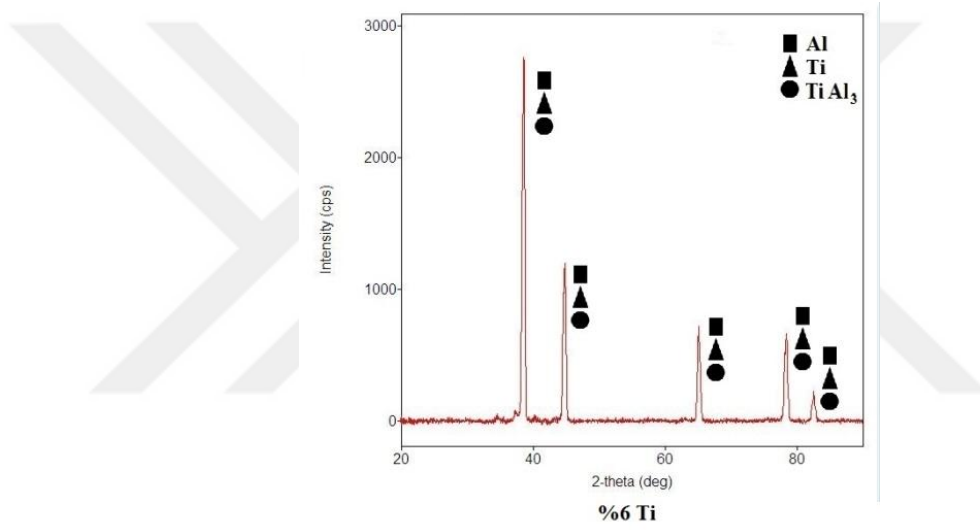
Şekil 5.5. AA7075 alaşımlarına %4 Ti + %3 B₄C ilave edilerek üretilen hibrit kompozitlerin mikroyapı SEM görüntüleri ve EDS (mapping) sonuçları.

Şekil 5.5 ' de verilen mikroyapı SEM görüntüleri ve EDS (Mapping) incelendiğinde T/M yöntemi ile üretilen hibrit kompozitlerde matrisin ve takviye fazı olarak kullanılan B₄C'ün, yapıda özellikle tane sınırlarında arttığı Ti'un bir kısmının ise belirli bölgelerde bulunduğu lokalize olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, toz metalürjisi yöntemi ile hem ex-situ, hem de in-situ kompozitlerin üretiminde toz metalürjisi yönteminin güvenilir olduğunun da bir göstergesidir. AA7075 matris

ilave edilen B_4C miktarı arttıkça, yapıda lokal olarak yoğunlaşmaktadır. Alaşıma ex-situ takviye elemanı olarak ilave edilen B_4C toz boyutu $10 \mu m$ ve daha küçük olduğunda, tozların polarize olması (aglomerasyon) nedeniyle takviye fazı lokalize olabilmektedir.

5.1.3. İn-Situ Ve Ex-Situ Kompozitlerin XRD Sonuçları

AA7075 tozlarına farklı oranlarda Ti ve B_4C ilave edilerek üretilen kompozitlerin XRD sonuçları ($580^\circ C$ 'de 4 saat sinterleme sonrasında), Şekil 5.6 'da verilmektedir.

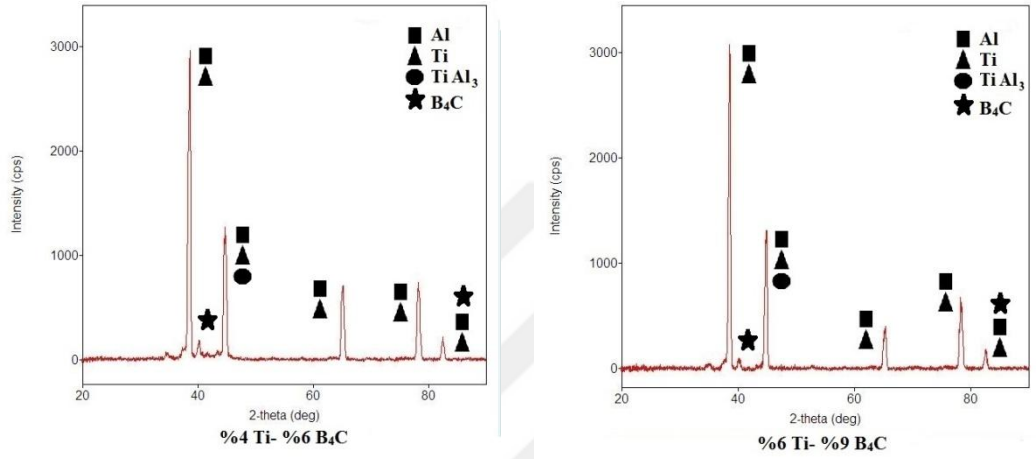


Şekil 5.6. AA7075 alaşımına %6 Ti ilave edilerek üretilen in-situ kompozitlerin XRD sonucu.

İn-situ $TiAl_3$ parçacık takviyeli AA7075 kompozitlerde in-situ çökeltiler yapıda başarılı bir şekilde üretilmiştir. Bu durum Şekil 5.6 de verilen XRD sonuçlarında da görülebilmektedir. Üretilen in-situ kompozitlerin XRD paternlerinden de anlaşıldığı gibi yapıda Al, Ti ve $TiAl_3$ fazlarının olduğu görülmektedir. Chianeh ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, $500-600^\circ C$ 'de sinterlendiğinde $TiAl_3$ intermetalik fazının elde edildiği belirtilmektedir.

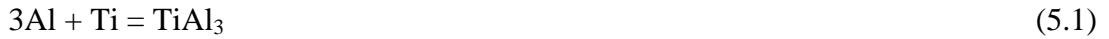
5.1.4. Hibrit Kompozitlerin XRD Sonuçları

Bu deneysel çalışmada, AA7075 alaşımına ilave edilen (%4) Ti oranı sabit tutularak, % 3, 6 ve 9 oranında B₄C ve (%9) B₄C sabit tutularak % 2, 4 ve 6 Ti ilave edilerek hibrit kompozitler üretilmiştir. Üretilen bu kompozitlerin XRD sonuçları, Şekil 5.7’de verilmektedir.



Şekil 5.7. AA7075 alaşımına %4 Ti - %6 B₄C ve %6 Ti - %9 B₄C ilave edilerek üretilen hibrit kompozitlerin XRD sonuçları.

Şekil 5.7 de verilen XRD sonuçları incelendiğinde, AA7075 alaşımına Ti ve B₄C ilave edilen kompozitlerde sinterleme sırasında matris ile ilave edilen Ti ve B₄C arasında bazı reaksiyonların olduğu ve bunun sonucunda, yapıda in-situ olarak şekillenen yeni bir fazın olduğu belirlenmiştir. Yapıda in-situ olarak oluşan bu yeni faz reaksiyon;



şeklinde olmaktadır.

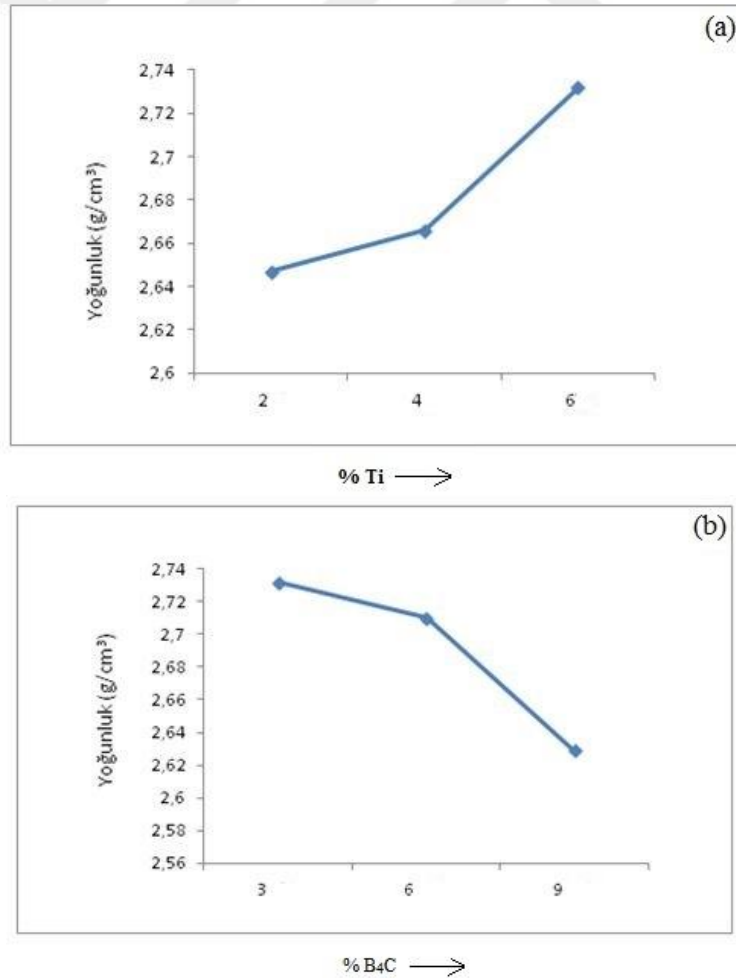
AA7075 alaşımına ilave edilen, yüksek ergime sıcaklığına (2723°C) sahip olan B₄C yapısal olarak kararlı bir malzemedir. XRD sonuçlarına göre yapı içinde farklı 2θ açılarında B₄C fazları görülmektedir. Yapıda in-situ olarak oluşan takviye fazları kompozitin dayanımının artırılmasında önemli roller olmaktadır. B₄C ilave edilerek

üretileen ex-situ kompozitlerin sinterlenmesi sırasında, in-situ takviye fazlarının oluşması kompozitlerin özelliklerini ve bu kompozitlerden beklenen yüksek dayanım faktörünü de olumlu olarak arttırmaktadır. Uzun süreli sinterleme aşamalarında görülen hem ex-situ, hem de in-situ takviye elemanları hibrit kompozitler olarak ta tanımlanmaktadır. Ayrıca yapıda in-situ olarak oluşan fazların en olumlu katkısı, ex-situ kompozitlerde olduğu gibi matris takviye fazı ara yüzeyinin oluşmamasıdır.

5.2. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ

5.2.1. İn-Situ Ve Ex-Situ Kompozitlerde Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Şekil 5.8 da in-situ ve ex-situ alüminyum kompozitlerin yoğunluk değişimleri verilmektedir.

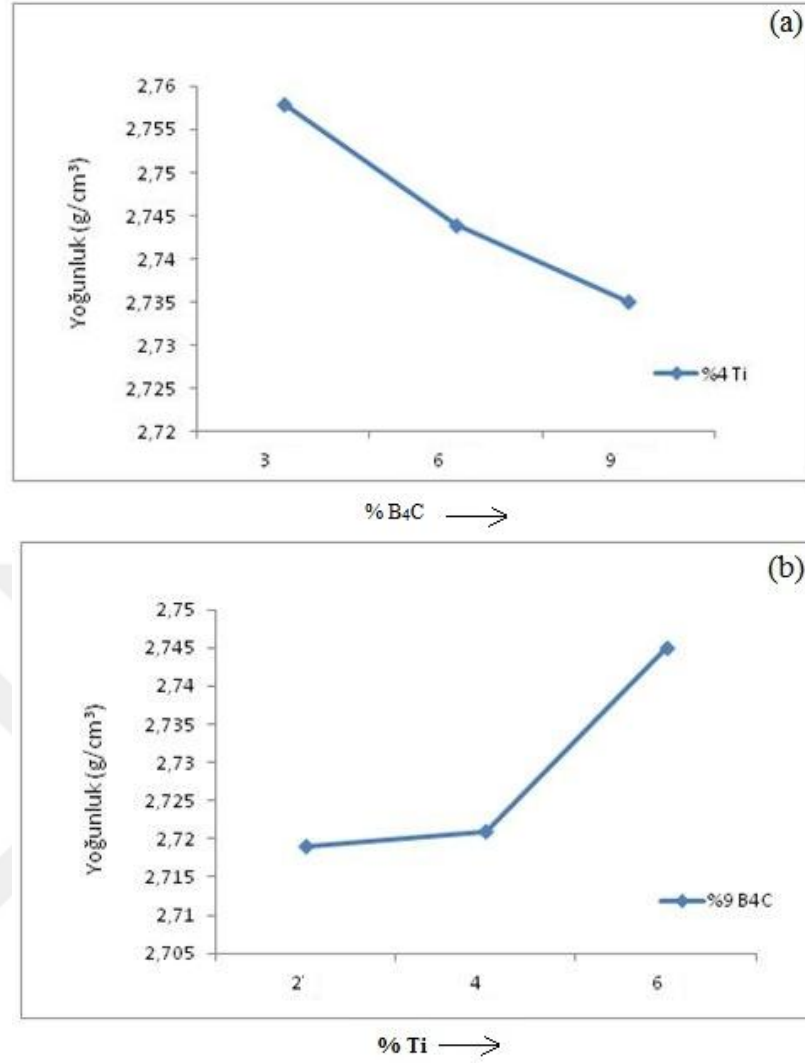


Şekil 5.8. İn-situ a) ve ex-situ b) kompozitlerin yoğunluk değişimleri.

Şekil 5.8 (a) da verilen in-situ kompozitlerin yoğunluk değişimlerinden de anlaşıldığı gibi, in-situ kompozitlerin yoğunluğu (%2 Ti) $2,647 \text{ g/cm}^3$, $2,666 \text{ g/cm}^3$ (%4 Ti) ve $2,732 \text{ g/cm}^3$ (%6 Ti) olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, alaşıma ilave edilen titanyum miktarı arttıkça in-situ kompozitlerin yoğunlukları da artmaktadır. Bunun nedeni, AA7075 alaşımının yoğunluğunun $2,74 \text{ g/cm}^3$, ilave edilen titanyumun yoğunluğunun ise $4,52 \text{ g/cm}^3$ olmasıdır. Alaşıma ilave edilen Ti miktarı arttıkça da üretilen kompozitin yoğunluğu da artmaktadır. Şekil 5.8' (b) de ex-situ kompozitlerin yoğunluk değişimleri verilmektedir. Yoğunluk değişimi sonucundan da anlaşıldığı gibi, AA7075 alaşımına ilave edilen B_4C miktarı arttıkça, üretilen ex-situ kompozitlerin yoğunlukları azalma eğilimindedir. Bu durum, B_4C 'ün yoğunluğunun ($2,52 \text{ g/cm}^3$) AA7075 alaşımından daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yoğunluk farkı nedeniyle, alaşıma ilave edilen takviye elemanı miktarı arttıkça kompozitlerin yoğunluğu azalmaktadır. Alüminyumun ($2,74 \text{ g/cm}^3$) yoğunluğundan düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Üretilen ex-situ kompozit malzemelerin B_4C miktarı arttıkça sırasıyla %3 B_4C ilave edilen kompozitin yoğunluğu $2,730 \text{ g/cm}^3$, %6 B_4C ilave edilen kompozitin yoğunluğu $2,710 \text{ g/cm}^3$ ve %9 B_4C ilave edilen kompozitlerin yoğunluğu ise $2,629 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür.

5.2.2. Hibrit Kompozitlerde Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Şekil 5.9'da AA7075 alaşımına (%2-%4-%6) Ti ve (%3-%6-%9) B_4C ilave edilerek üretilen hibrit kompozit malzemenin yoğunluk ölçüm sonuçları verilmektedir.



Şekil 5.9. % AA7075 alaşımına ilave edilen sabit %4Ti- %3-6-9 B₄C a) ve %9 B₄Csabit %2-4-6 Ti b) için yoğunluk ölçüm sonuçları.

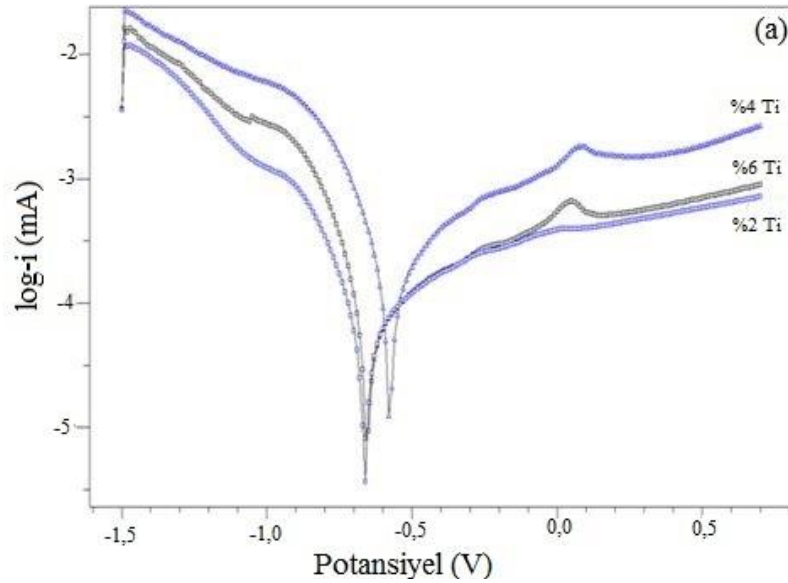
AA 7075 alaşımına %4 Ti (sabit) ve %3, 6 ve 9 B₄C, %9 B₄C (sabit) %2, 4 ve 6 Ti ilave edildiğinde, Şekil 5.9 da verilen sonuçlara benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir. Hibrit kompozitlerde in-situ ve ex-situ kompozitlerde olduğu gibi, ilave edilen takviye fazları arasındaki yoğunluk farkından dolayı (takviye elemanı türüne bağlı olarak), kompozitlerin yoğunluklarında artışların ve azalmaların meydana geldiği görülmektedir. AA7075 alaşımına %4 Ti (sabit) ilave edilen in-situ kompozitlere %3 B₄C ilave edildiğinde kompozitlerin yoğunlukları 2,758g/cm³, %6 B₄C ilave edildiğinde 2,744 g/cm³ ve %9 B₄C ilave edildiğinde 2,735g/cm³ olarak ölçülmüştür. Hibrit, in-situ ve ex-situ kompozitlerde meydana gelen bu yoğunluk değişimi farklılığının nedeni olarak iki temel faktör gösterilebilir. Bunlardan

birincisi, kompozitlerin üretimi sırasında yapıda oluşması muhtemel gözeneklerdir. İkincisi ise takviye elemanı olarak AA7075 alaşımına ilave edilen Ti ($4,52 \text{ g/cm}^3$) ve B_4C 'ün ($2,52 \text{ g/cm}^3$) yoğunluklarının farklı olmasıdır.

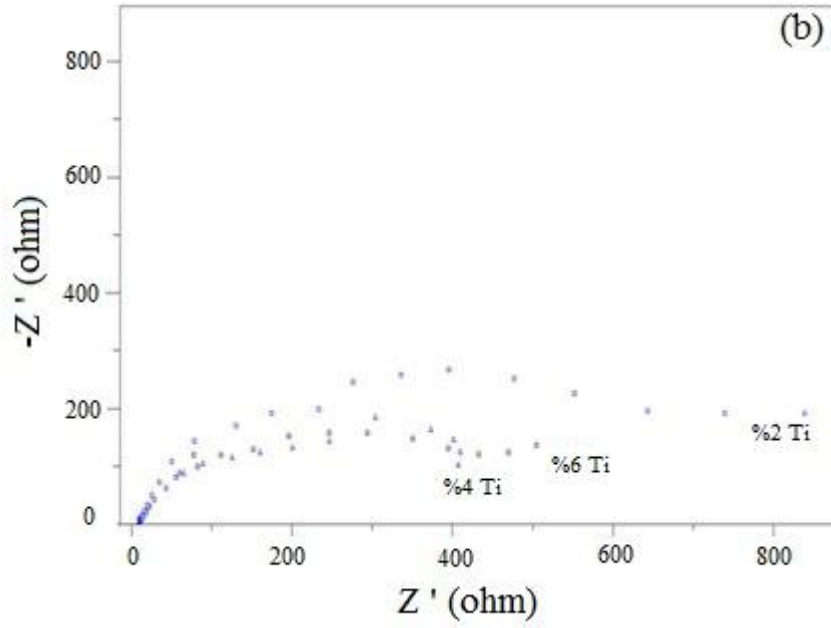
5.3. KOROZYON VE EMPEDANS İNCELEMELERİ

5.3.1. İn-Situ Ve Ex-Situ Kompozitlerde Korozyon Ve Empedans Ölçüm Sonuçları

AA7075 Alüminyum alaşımına ilave edilen Ti ve B_4C miktarlarının, kompozitlerin korozyon davranışı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla korozif ortamda akım-potansiyel ölçümleri (Tafel eğrileri) yapılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen Tafel eğrilerinden korozyon potansiyeli (E_{kor}), anodik ve katodik Tafel eğimleri (β_a ve β_c), korozyon direnci (R_p) ve korozyon hızı değerleri elde edilmiştir. Bu değerler 0,1 M H_2SO_4 çözelti ortamı için ayrı ayrı belirtilmiştir. AA7075 alaşımına farklı miktarlarda Ti ilave edilerek üretilen in-situ kompozitlerin Tafel eğrileri ve empedans analizleri ölçüm sonuçları, Şekil 5.10'de verilmiştir. Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri ise Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3' de verilmiştir.



Şekil 5.10. AA7075 alaşımına farklı miktarlarda Ti ilave edilerek üretilen in-situ kompozitlerin a) Tafel polarizasyon eğrisi ve b) empedans ölçüm sonuçları.



Şekil 5.10. (devam ediyor).

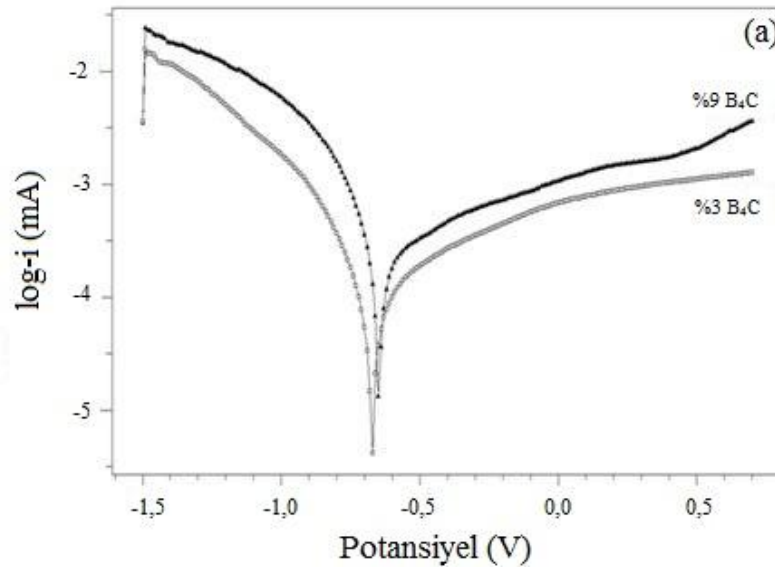
Şekil 5.10(a)'da AA7075 alaşımına farklı miktarlarda Ti ilave edilen kompozitlerin Tafel eğrisinden de görüldüğü gibi, in-situ kompozitlerde korozyon hızı sırasıyla 0,556 mm/yıl (%2 Ti), 1,26 mm/yıl (%4 Ti) ve 0,600 mm/yıl (%6 Ti) olarak ölçülmüştür. Alüminyumun birçok ortama karşı gösterdiği korozif direnç, mevcut şartlara bağlı olarak yüzeyinde oluşan amorf veya kristalin alüminyum oksit tabakasından kaynaklanmaktadır [43]. Alüminyumun saflık derecesi azaldıkça, korozyon direnci azalmaktadır. Malzemenin yapısında bulunan safsızlıkların miktarlarının artması, korozyon direncinin azaltmasındaki en önemli faktördür [43]. Bunun nedeni, hem alüminyumun hem de titanyumun yüzeylerinde oksit filmi oluşturarak kararlı hale gelmesi ve birbirlerine galvanik etki oluşturmamasıdır (iki potansiyel arasındaki fark). Özellikle anodik ve katodik akımlarının birbirine yakın olması, kompozitlerin farklı korozyon davranışları sergilemediğini ortaya koymaktadır. Özellikle %4 Ti ilave edilen in-situ kompozit malzemenin diğer üretilen kompozitlere göre iki kat fazla korozyona uğraması, Al alaşımlarında Ti 'nin etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Karışık kristal ne kadar safa yakın ise, malzemenin korozyon direnci o kadar yüksektir. Yapıda mevcut olan intermetalik fazlar ise, malzemelerin korozyon direncini azaltmaktadır. Bu fazlar karışık kristalden daha düşük bir potansiyel farkına sahip ise ve fazlar birbirine bağlı değilse çözünmektedir. Diğer bir ifade ile korozyon meydana gelmektedir. Eğer

bu fazların potansiyel farkı matristen daha yüksek ise, karışık kristal yani matris çözünmektedir [43]. Empedans ölçümlerinde (Polarizasyon direnci) ise (Tafel eğrilerinde olduğu gibi), %4 Ti içeren in-situ kompozitin korozyon davranışı desteklenmektedir. Çizelge.5.2'de tafel ölçümlerinden elde edilen korozyon parametreleri verilmektedir.

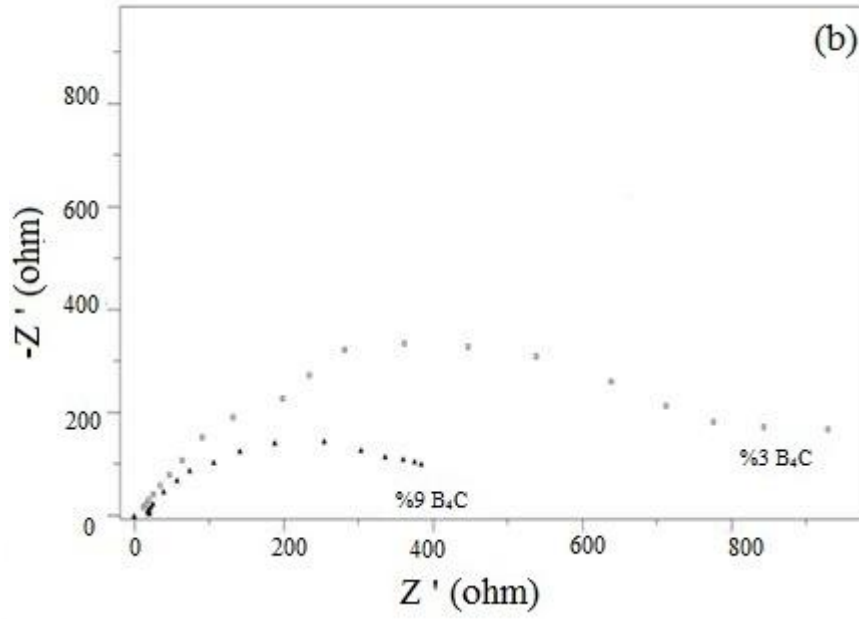
Çizelge 5.2. %94 AA7075 - %6 Ti, %96 AA7075 - %4 Ti ve %98 AA7075 - %2 Ti çalışma elektrotları 0,1 M H₂SO₄ çözeltisindeki Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri.

Elektrot Türü	-E _{kor} (mV)	R _p (Ω)	-β _a (mV)	-β _c (mV)	Kor. oranı (μm/yıl)
%98 AA7075 - %2 Ti	0,6969	869,2	0,601	0,142	0,5563
%96 AA7075 - %4 Ti	0,6139	363,1	0,515	0,127	1,26
%94 AA7075 - %6 Ti	0,6660	513,0	0,527	0,081	0,600

Şekil 5.11 de ex-situ kompozitlerde takviye elemanı olarak ilave edilen B₄C miktarının (%3 ve %9), kompozitlerin korozyon davranışı üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla Tafel polarizasyon metoduyla korozyon hızları ve empedans ölçümleri ile yük transfer dirençleri belirlenmiştir.



Şekil 5.11. B₄C'nin AA 7075'in Korozyonuna etkisinin Tafel polarizasyon eğrisi ve polarizasyon direnci görüntüleri.



Şekil 5.11. (devam ediyor).

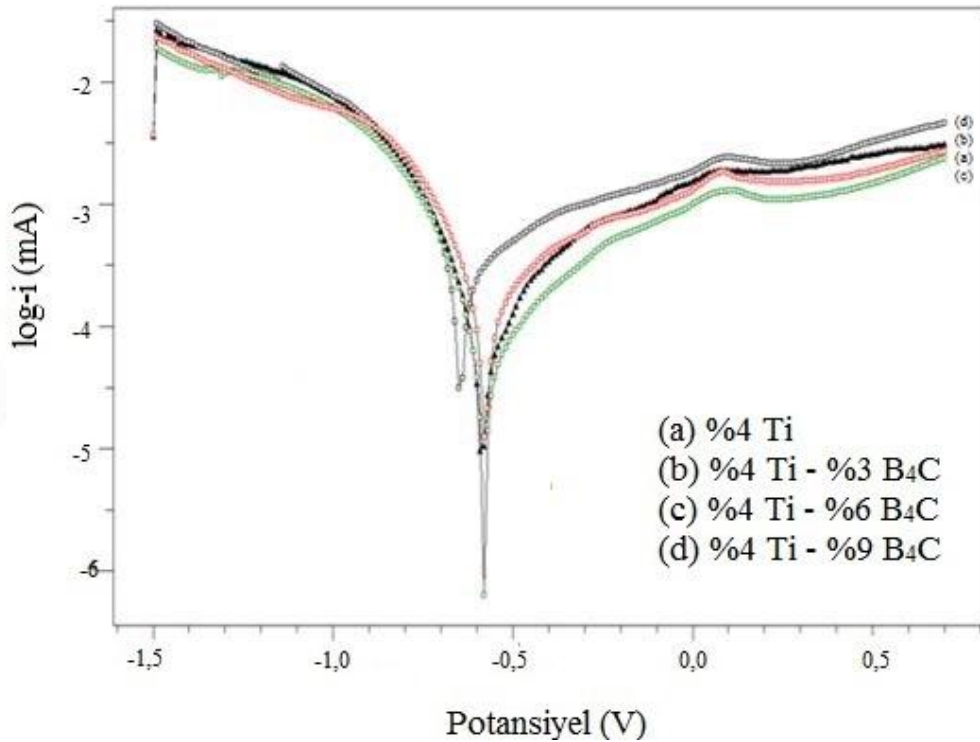
Şekil 5.11. (a) da verilen Tafel polarizasyon eğrisinde görüldüğü gibi, %9 B₄C ilave edilen ex-situ kompozitlerde %3 oranında ilave edilen ex-situ kompozite göre, hem anodik hem de katodik akım daha büyüktür. Korozyon potansiyelinde ise önemli bir farklılığın olmadığı anlaşılmaktadır. %3 B₄C ilave edilerek üretilen ex-situ kompozitlerde korozyon hızı 1,107 ölçülürken, %9 oranında B₄C ilave edilen ex-situ kompozitlerde ise 2,690 mm/yıl olarak ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlara göre, B₄C oranının artıkça korozyon hızının (akım yoğunluğu oluşması) arttığını (yaklaşık iki kat) göstermektedir. B₄C oranı artıkça kompozitlerin yüzeyinde oluşan oksit tabakasının kırıldığı ve bu nedenle de korozyon hızının ve korozyon akımlarının daha fazla arttığı düşünülmektedir. Çizelge.5.3de tafel ölçümlerinden elde edilen korozyon parametreleri verilmektedir. Ölçüm sonuçlarında elde edilen polarizasyon dirençleri, empedans ölçümlerinde elde edilen yük transfer dirençleri ile uyumludur.

Çizelge 5.3. %91 AA7075 - %9 B₄C ve %97 AA7075 - %3 B₄C çalışma elektrotları 0,1 M H₂SO₄ çözeltisindeki Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri.

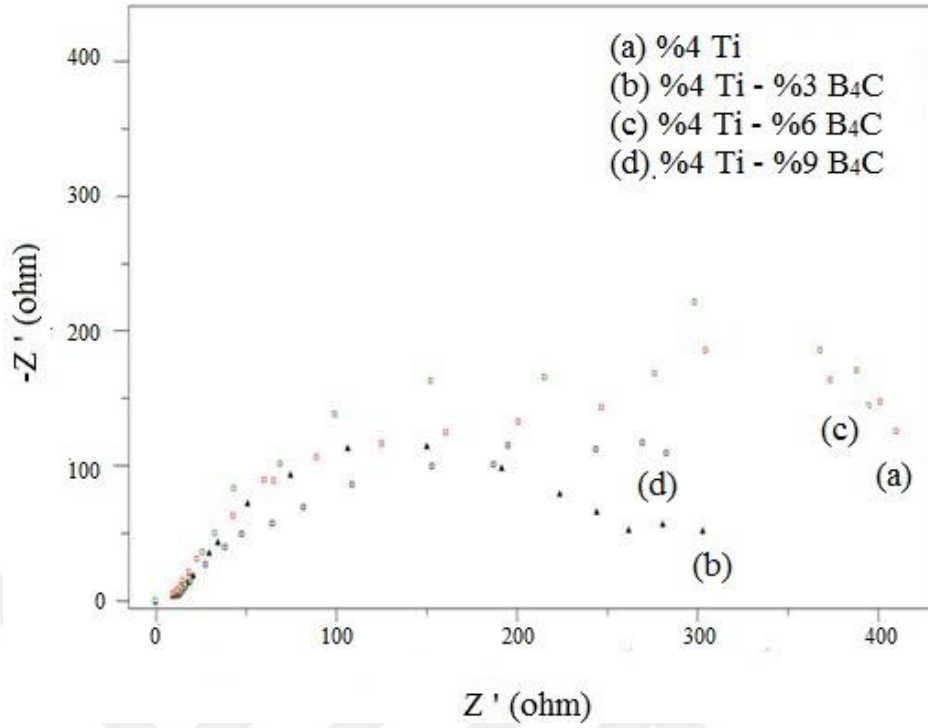
Elektrot Türü	-E _{kor} (mV)	R _p (Ω)	-β _a (mV)	-β _c (mV)	Kor. oranı (μm/yıl)
%97 AA7075 - %3 B ₄ C	0,7069	540,9	0,873	0,168	1,107
%91 AA7075 - %9 B ₄ C	0,6550	209,3	0,826	0,147	2,690

5.3.2. Hibrit Kompozitlerde Korozyon Ve Empedans Ölçüm Sonuçları

AA7075 alaşımında in-situ TiAl₃ fazının oluşturulması için Ti ve B₄C (ex-situ) ilave edilerek üretilen hibrit kompozitlerde, in-situ ve ex-situ takviye fazlarının, kompozitlerin korozyon davranışı üzerindeki etkisinin belirlenmesi için korozyon hızları, Tafel polarizasyon metodu ile belirlenmiştir. Şekil 5.12 de %4 Ti ve %3-9 B₄C ilave edilen hibrit kompozitlerin Tafel polarizasyon eğrisi ve polarizasyon dirençleri verilmektedir.



Şekil 5.12. %4 Ti ve %3-9 B₄C ilave edilen hibrit kompozitlerin Tafel polarizasyon eğrisi ve polarizasyon dirençleri.



Şekil 5.12. (devam ediyor).

Farklı miktarlarda %4 Ti (sabit) ve B₄C (%3-9) ilave edilerek üretilen hibrit kompozitlerin korozyon hızları sırasıyla 1,26 µm/yıl, 0,6756 µm/yıl, 0,617 µm/yıl ve 2,38 µm/yıl olarak ölçülmüştür. %9 B₄C ilave edilerek üretilen hibrit kompozitin korozyon potansiyelinde hızlı bir artış olduğu anlaşılmaktadır. %4 Ti ve %3 B₄C ilave edilerek üretilen hibrit kompozit ile %3 B₄C ilave edilerek üretilen ex-situ kompozitlerin korozyon potansiyelleri karşılaştırıldığında, hibrit kompozitlerde daha düşük korozyon potansiyeli ölçüldüğü görülebilmektedir. Korozyon akımları da buna paralel olarak azalmaktadır. %3 ve %6 B₄C ilave edilen hibrit kompozitler B₄C korozyon hızı azalırken, %9 B₄C ilave edilen hibrit kompozitlerde korozyon hızı artmaktadır. Bu sonuçlar göz önüne alındığında %6 B₄C miktarının kritik bir miktar olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumu, elde edilen (ölçülen) polarizasyon dirençleri de desteklemektedir. İn-situ (B₄C ilave edilmemiş) kompozitlerde polarizasyon direnci (R_p) 363,1 Ω olarak ölçülürken, %3 B₄C ilave edilen hibrit kompozitlerde 536,8 Ω, %6 B₄C ilave edilen kompozitlerde 579,3 Ω ve %9 B₄C ilave edilerek üretilen hibrit kompozitlerde ise 234,6 Ω olarak ölçülmüştür. Polarizasyon dirençleri, Empedans ölçümleri ile elde edilen yük transfer dirençleri ile de uyumludur. Yapılan bazı çalışmalarda uygulanan ve yöntem ve inhibitör seçimi korozyon davranışlarındaki

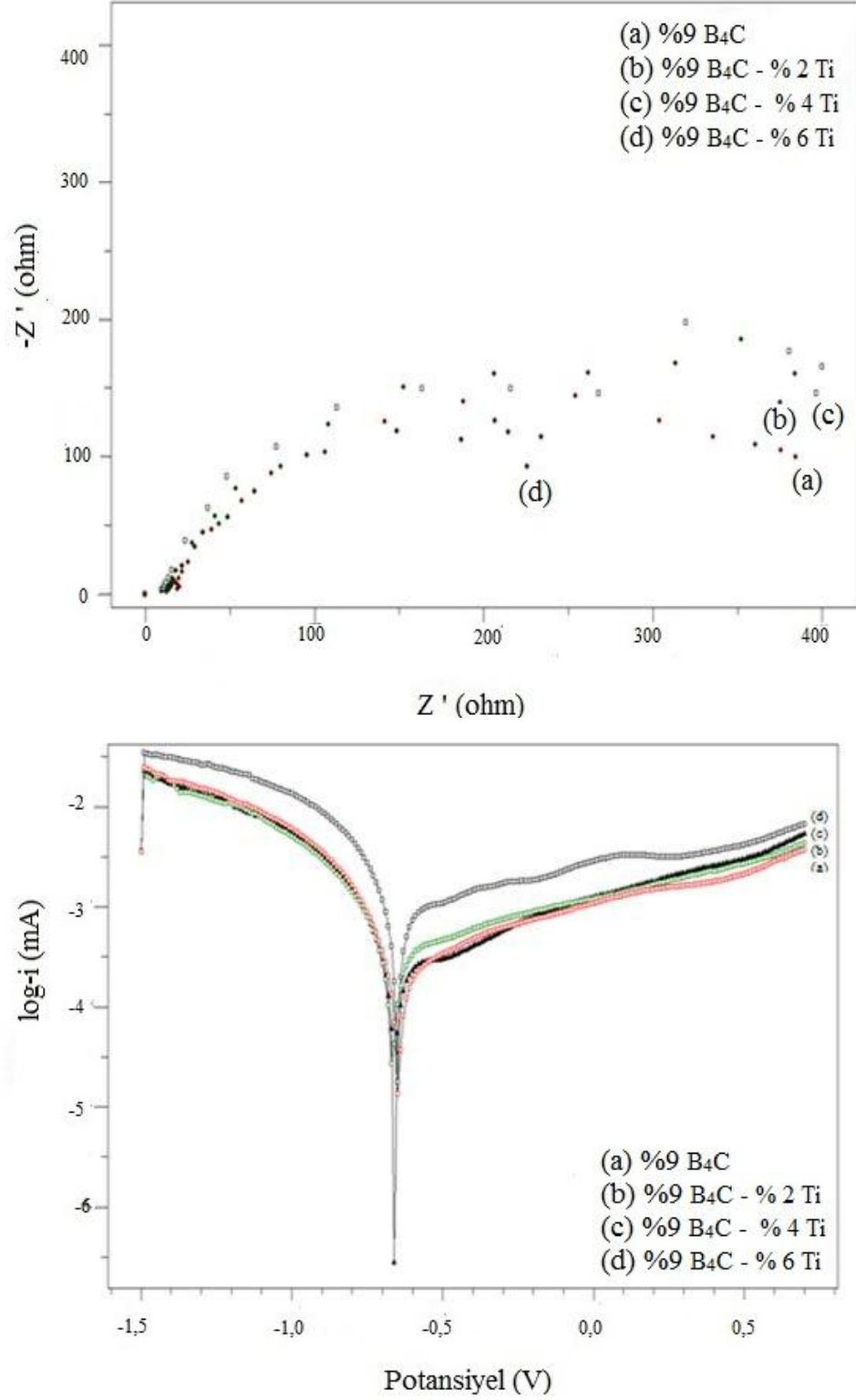
etkiyi göstermektedir [44]. Üretilen hibrit kompozitlerde ilave edilen takviye elemanı miktarı kritik bir miktarının üzerine arttırıldığında kompozitlerde korozyon miktarı da artmaktadır. Bu çalışmada, 0,1 M H₂SO₄ çözeltisindeki %9 B₄C ilave edilerek üretilen hibrit kompozitin korozyon oranının, diğer hibrit kompozitlere (B₄C miktarı daha az) göre üç kat fazla olduğu belirlenmiştir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda, klorür içeren çözeltilerin alüminyumun korozyon direncini azalttığı belirtilmektedir [44]. Klorür içeren korozif ortamlarda, metalik malzemelerin korozyonunun önlenmesi için inhibitör kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda azot, oksijen, kükürt, fosfor gibi hetero atom ve pi bağları içeren organik bileşiklerin inhibisyon etkisinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bileşikler, metal yüzeyine absorblanarak korozyon oluşumunu önlemektedir. İnhibitörlerin absorpsiyon işlemi, organik moleküllerin kimyasal yapısına, metalin yüzey yükü ve doğasına, moleküldeki yük dağılımına, korozif çözeltinin türüne, metal ve organik molekülün etkileşim türüne bağlı olarak değişmektedir [44].

Çizelge 5.4. Alüminyum matrisli hibrit kompozitlerin çalışma elektrotları ve 0,1 M H₂SO₄ çözeltisindeki Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri.

Elektrot Türü	-E _{kor} (mV)	R _p (Ω)	Ba (mV)	-βc (mV)	Kor. oranı (μm/yıl)
%96 AA7075 - %4 Ti	0,6139	363,1	0,515	0,127	1,26
%93 AA7075 - %4 Ti - %3 B ₄ C	0,5819	536,8	0,321	0,120	0,6756
%90 AA7075 - %4 Ti - %6 B ₄ C	0,5999	579,3	0,292	0,109	0,617
%87 AA7075 - %4Ti - %9 B ₄ C	0,6461	234,6	0,524	0,146	2,138

%9 B₄C (sabit) ve farklı miktarlarda Ti (%2, %4 ve %6 Ağ.) içeren hibrit kompozitlerde takviye fazlarının kompozitlerin korozyon davranışı üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için korozyon hızları, Tafel polarizasyon metodu ile

ölçülmüştür. Şekil 5.13. Alüminyum matrisli hibrit kompozitlerde Ti miktarının (%9 B₄C sabit) Tafel polarizasyon eğrisi ve polarizasyon direnci verilmektedir.



Şekil 5.13. Alüminyum matrisli hibrit kompozitlerde Ti miktarının (%9 B₄C sabit) Tafel polarizasyon eğrisi ve polarizasyon dirençleri.

Şekil 5.13. de verilen Tafel polarizasyon eğrisinde Ti ve B₄C ilave edilen hibrit kompozitlerde % Ti artıkça I_{cor} değerlerinin (β_a ve β_c) arttığı görülmektedir. Korozyon potansiyel (E_{kor}) değerlerinde meydana gelen değişimler, Çizelge 5.5 'de verilen analiz sonuçlarında da görülebilmektedir. Farklı miktarlarda (%2-6) Ti ilave edilerek (%9 B₄C sabit) üretilen hibrit kompozitlerde korozyon hızları sırasıyla 1,912 µm/yıl, 1,446 µm/yıl ve 7,147 µm/yıl olarak ölçülmüştür. En düşük korozyon hızı %4 Ti ilave edilen hibrit kompozitlerde elde edilirken, en yüksek korozyon hızı ise %6 oranında Ti ilave edilerek üretilen hibrit kompozitlerde elde edilmiştir. Tafel ölçümleri sonucunda elde edilen korozyon hızları göz önüne alındığında, alüminyum hibrit kompozitlere ilave edilen titanyum miktarının kritik sınır olduğu da anlaşılmaktadır. Korozyon akımları (β_a ve β_c) da buna paralel olarak azalmaktadır. Bu durum, elde edilen (ölçülen) polarizasyon dirençleri ile de desteklenmektedir. Ti ilave edilmeden üretilen ex-situ kompozitin polarizasyon direnci (R_p) 209,3 Ω ölçülürken, %2, %4 ve %6 Ti ilave edilerek üretilen hibrit kompozitin polarizasyon dirençleri sırasıyla 361,1 Ω, 306,2 Ω ve 92,87 olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen polarizasyon dirençleri, empedans yöntemi ile bulunan yük transfer dirençleri ile de uyumludur.

Tafel ve empedans ölçümleri sonucunda elde edilen korozyon dirençleri (R_p) birbirleriyle (in-situ, ex-situ ve hibrit kompozitler) karşılaştırıldığında ise, in-situ kompozitlerde elde edilen R_p değerinin hibrit kompozitlere göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 5.5). Bunun nedeni ex-situ kompozitlerde meydana gelen matris takviye elemanı arasındaki ara yüzey oluşumudur. Diğer bir ifade ile ex-situ kompozitlerde matris takviye fazı arasında ara yüzey oluşması, ex-situ kompozitlerin korozyona karşı hassas hale getirmektedir. Moda vd., alüminyum matris kompozitlerin korozyon davranışına matrisin etkisini incelemişler ve kompozitlerin korozyonun takviyesiz matristen daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [45]. Benzer şekilde, Chen ve Mansfeld tarafından yapılan bir çalışmada, SiC parçacık takviyeli 6092 Al matrisli kompozitin üretimi sırasında oluşan ara yüzeylerin, korozyon direncini azalttığını rapor etmektedir [46].

Matris takviye fazı ara yüzey oluşumları sadece kompozitlerin korozyon direncini değil, mekanik özelliklerine olumsuz etkilemektedir. Bazı çalışmalarda elde sonuçlar

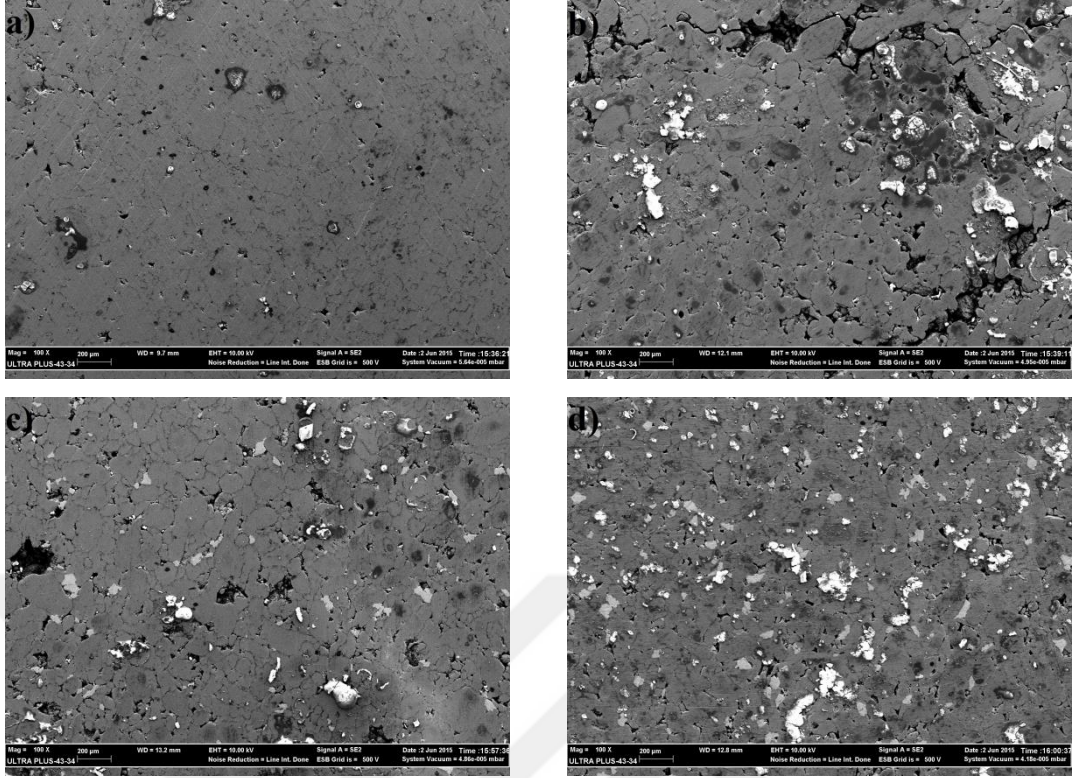
bu çalışmadaki sonuçları desteklemektedir. İntermetaliklerin ve elementlerinin, alüminyum alaşımlarında oyuklanma ve taneler arası şeklinde gerçekleşen korozyon mekanizmalarındaki etkisi hakkında birkaç çalışma yapılmıştır. İntermetalikler soy ve/veya aktif davranmak gibi karmaşık davranışlar sergilemektedir [47-48].

Çizelge 5.5. Alüminyum matrisli hibrit kompozitlerin çalışma elektrotları ve 0,1 M H₂SO₄ çözeltisindeki Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri.

Elektrot Türü	-E _{kor} (mV)	R _p (Ω)	β _a (mV)	-β _c (mV)	Kor. oranı (μm/yıl)
%91 AA7075 - %9 B ₄ C	0,6550	209,3	0,826	0,147	2,69
%89 AA7075 - %2 Ti - %9 B ₄ C	0,6895	361,1	0,776	0,162	1,912
%87 AA7075 - %4 Ti - %9 B ₄ C	0,6461	306,2	0,606	0,132	1,446
%85 AA7075 - %6 Ti - %9 B ₄ C	0,6660	92,87	1,063	0,182	7,147

5.4. KOROZYON YÜZEYLERİ

AA7075 Al alaşımına % 4 Ti (in-situ), %9 B₄C (ex-situ) ve %4 Ti sabit (%3-6-9) B₄C ile %9 B₄C sabit (%2-4-6)Ti ilave edilerek üretilen hibrit kompozitlerin korozyon yüzeyleri SEM görüntüsü Şekil 5.14'de verilmektedir.



Şekil 5.14. AA7075 alaşımlarına alaşımına (% 4 Ti) in-situ a), (%9 B₄C) ex-situ b) ve %9 B₄C sabit %4 Ti c) ile %4 Ti sabit %6 B₄C d) ilave edilerek üretilen hibrit kompozitlerin SEM görüntüleri.

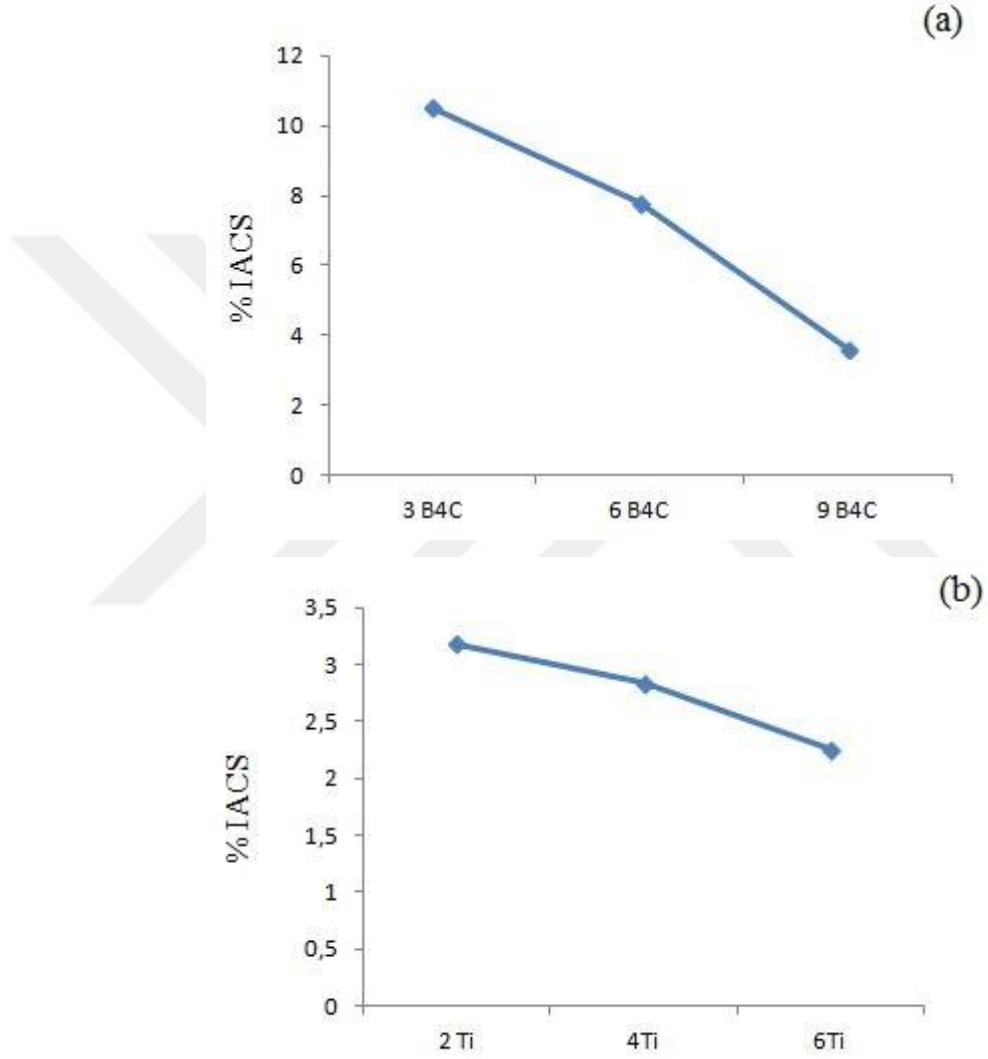
İn-situ, ex-situ ve hibrit olarak üretilen kompozitlerde korozyon hızları korozyon hızları deneysel olarak akım-potansiyel eğrileri elde edilerek belirlenmektedir. Korozyon direnci, üretilen kompozitlerin üzerinde oluşan oksit filminden kaynaklanmaktadır. Cl⁻ ve SO₄²⁻ iyonların alüminyum yüzeyindeki oksit filminin gelişimine etkisi yapılan bir çalışmada incelenmiş ve SO₄²⁻ iyonunun filmin büyümesine katkıda bulunduğu belirtilmiştir. H₂SO₄ içerisinde Al yüzeyindeki oksit filmin kalınlığı artarken Cl⁻ iyonunun etkisinden dolayı, HCl ortamında film gelişmediği ve Cl⁻ iyonlarının filmi çözerek çukur korozyonuna sebep olduğu ifade edilmiştir [38].

5.5. ELEKTRİK İLETKENLİK SONUÇLARI

T/M yöntemi ile üretilen in-situ, ex-situ ve hibrit kompozitlerin elektrik iletkenlikleri (%IACS) ASTM(B193-02) (Standard Test Method for Resistivity of Electrical Conductor Materials) standartına göre yapılmıştır.

5.5.1. İn-Situ Ve Ex-Situ Kompozitlerin İletkenlik Sonuçları Ve Değerlendirilmesi

Şekil 5.15'(a) ve Şekil 5.15'(b) de toz metalürjisi yöntemi ile üretilen in-situ ve ex-situ üretilen alüminyum kompozitlerin elektrik iletkenlik sonuçları (%IACS) verilmektedir.



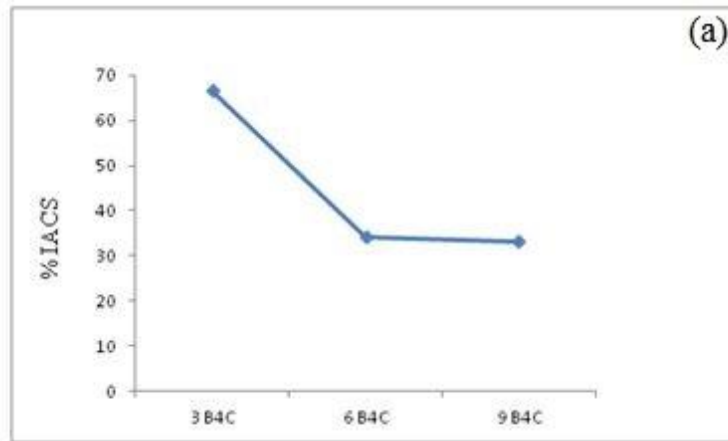
Şekil 5.15. Ex-situ a) ve in-situ b) olarak üretilen alüminyum kompozitlerin elektrik iletkenlikleri (%IACS).

Şekil 5.15'(a) da farklı miktarlarda (%3-9) B₄C ilave edilerek ex-situ olarak üretilen alüminyum kompozitlerde, takviye fazı miktarı arttıkça elektrik iletkenliğinin (%IACS) azaldığı görülmektedir. Şekil 5.15'(b) de ise, in-situ olarak üretilen alüminyum kompozitlerin %IACS değeri, kompozite ilave edilen Ti miktarı arttıkça

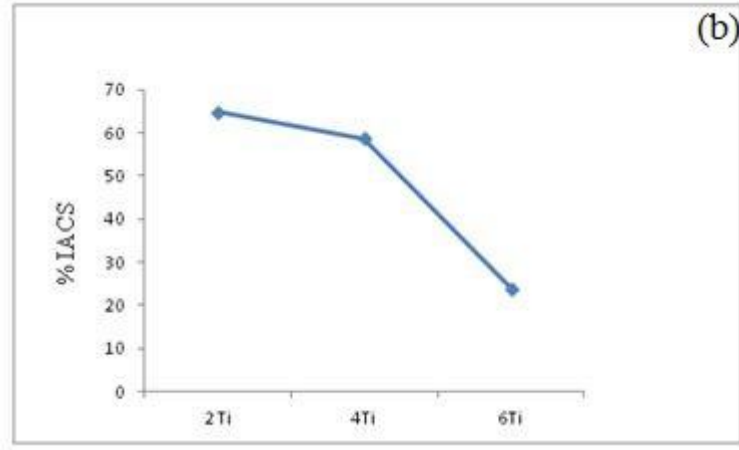
azalmaktadır. Bu sonuçlar iletkenlik testlerinde beklenen sonuçlardır. Metalik malzemelerin elektrik iletkenliği veya elektrik direnci birçok mikro yapısal faktörle ilişkilidir. Metalik malzemenin yapısında bulunan çökeltilerin boyutu ve hacim oranı, oluşan gözenekler ve kafes hataları, malzemelerin elektrik iletkenliğini etkilemektedir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen % IACS değerleri, mikro yapının homojenliği, ilave edilen takviye fazının miktarı ve boyutunun iletkenlik üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

5.5.2. Hibrit Kompozitlerin İletkenlik Sonuçları Ve Değerlendirilmesi

Şekil 5.16' da hibrit kompozitlerin % IACS değerleri verilmektedir. Farklı miktarlarda B₄C ilave edilen (%4 Ti sabit) kompozitlerin % IACS değerleri (Şekil 5.16.(a)), yapıdaki B₄C miktarı arttıkça azalmaktadır. Bu azalma %3 B₄C ve %6 B₄C ilave edilen kompozitlerde daha belirgin olarak görülmektedir. %6 B₄C ve %9 B₄C takviyeli kompozitlerin %IACS değerleri ise birbirine daha yakındır. Şekil 5.16.(b)'de ise farklı miktarlarda Ti ilave edilen (%9 B₄C sabit) hibrit kompozitlerin % IACS değerleri incelendiğinde, malzeme içerisindeki Ti miktarı arttıkça iletkenlik değerlerinin azaldığı görülebilmektedir. Bu azalma oranı % 2 Ti ile %4 Ti arasında daha az iken, %4 Ti ile %6 Ti arasında daha belirgindir.



Şekil 5.16. %4Ti sabit - %3-6-9 B₄C a) ve %9 B₄C sabit %2-4-6 Ti b) ilave edilerek üretilen alüminyum hibrit kompozitlerin elektrik iletkenlikleri (%IACS).



Şekil 5.16. (devam ediyot).

Şekil5.15.(a)'da ex-situ olarak üretilen kompozit malzeme ile Şekil 5.16 (a) daki hibrit kompozit malzemenin iletkenliği kıyaslandığında doğru yönde bir orantı olduğu görülmektedir. Şekil.5.15.(a)'daki ex-situ olarak üretilen kompozit malzeme %9B₄C ilave edildiğinde iletkenlik değeri en düşük değerde ölçülürken, hibrit kompozit malzemedede (Şekil.5.16.(a)'da) %9 B₄C ise iletkenliğinin yaklaşık 8 kat artırdığı görülmektedir.

Benzer olarak üretilen in-situ kompozit malzeme (Şekil.5.15.(b)'de) ile hibrit (Şekil.5.16.(b)'de) kompozit malzemelerin % iletkenlikleri kıyaslandığında, benzer bir yapının ortaya çıktığı görülmektedir. Şekil.5.15.(b)' de en düşük iletkenlik değeri %6 Ti 'de ölçülürken, üretilen hibrit kompozit malzemedede de en düşük iletkenlik %6 Ti ilave edilen hibrit kompozitte olduğu görülmektedir. Bu sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada gaz atomizasyonu ile üretilen AA7075 alüminyum tozuna, farklı miktarlarda Ti ve B₄C ilave edilerek elde edilen kompozit tozlar, 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek, alüminyum kompozitler üretilmiştir. Atmosfer kontrollü (argon) ortamda 580 °C'de 4 saat sinterlenen kompozitler, SEM, EDS, XRD, Korozyon ve Elektrik iletkenliği yapılarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Gaz atomize AA7075 tozlarına farklı miktarlarda Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen kompozitlerin mikro yapı incelemelerinde, takviye fazlarının yapıda homojen bir dağılım sergilediği belirlenmiştir.
2. Farklı miktarlarda (%ağ.) ilave edilerek üretilen kompozit alaşımında in-situ çökeltiler oluşturmak amacıyla ilave edilen Ti'nin bir kısmının matris içerisinde çözünmeden (bölgesel olarak) bulunduğu da gözlenmektedir.
3. Ex-situ kompozit malzemelerin EDS analizinde bor ve karbonun yapıda, özellikle de tane sınırlarında yoğunlaşmaktadır.
4. Al-Ti-B₄C kompozitler T/M yöntemiyle üretildiği için, mikro yapı SEM görüntülerinde mikro gözenekler olduğu ve bu gözeneklerin, tane sınırlarında yoğunlaştığı belirlenmiştir.
5. Üretilen hibrit kompozitlerde B₄C toz boyutu 10 µm ve daha küçük olduğu için tozların polarize olduğu (aglomerasyon) gözlenmiştir.
6. XRD incelemelerinde farklı oranlarda Ti ilave edilerek üretilen in-situ kompozitlerde, yapıda TiAl₃ fazının oluştuğu belirlenmiştir.
7. Aynı durum hibrit Al-Ti(sabit)-B₄C, Al-Ti-B₄C(sabit) ve Al-B₄C kompozitlerde de gözlenmiştir

8. Yoğunluk farkı nedeniyle alaşıma ilave edilen takviye elemanı miktarı arttıkça in-situ kompozitlerin yoğunlukları da artmaktadır. Söz konusu bu durum, ex-situ kompozitlerde ise yoğunluğu azalmaktadır.
9. Hibrit kompozitlerde ise in-situ ve ex-situ kompozitlerde olduğu gibi, ilave edilen takviye fazları arasındaki yoğunluk farkından dolayı (takviye elemanı türüne bağlı olarak), kompozitlerin yoğunluklarında artışların ve azalmaların meydana geldiği görülmektedir.
10. İn-situ olarak üretilen kompozitlerin korozyon incelemelerinde anodik ve katodik akımlarının birbirine yakın olması, kompozitlerin farklı korozyon davranışları sergilemediğini ortaya koymaktadır.
11. B₄C ilave edilen ex-situ kompozitlerde ise B₄C oranının artıkça korozyon hızının (akım yoğunluğu oluşması) arttığını göstermektedir.
12. Hibrit kompozitler ile ex-situ kompozitlerin korozyon potansiyelleri karşılaştırıldığında, hibrit kompozitlerde daha düşük korozyon potansiyeli ölçüldüğü görülebilmektedir.
13. Ex-situ kompozitlerde matris takviye fazı arasında ara yüzey oluşması, ex-situ kompozitlerin korozyona karşı hassas hale getirmektedir.

6.2. ÖNERİLER

1. AA7075 alaşımına farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek kompozit malzemeler üretilebilir.
2. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen AA7075 alaşımına farklı sinterleme sıcaklıkları ve sinterleme süreleri artırılarak üretilmeleri denenebilir.
3. AA7075 alaşımına farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen kompozit malzemeler korozyon deneyine tabi tutulabilir.
4. Korozyon deneyi yapılırken farklı derişim ve farklı süreler denenebilir.

KAYNAKLAR

1. Özyürek, D., Yılmaz, R. ve Kibar, E., “The effect of retrogression parameters in RRA treatment on tensile of 7075 aluminium alloys”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (1): 193-203 (2012).
2. Yılmaz, R., Özyürek, D. ve Kibar, E., “The effect of retrogression parameters on hardness and wear behaviours of 7075 aluminium alloys”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (2): 429-438 (2012).
3. Il, K. M., and Lee, K. S., "Development of nanocrystalline Al-Ti alloy powders by reactive ball milling", *Journal of Alloys and Compounds*, 264: 258- 266 (1998).
4. Zhao, H., Wang, J., Song, Y. and Guan, S., “Microstructure and synthesis mechanism of Al-Ti-C-Sr master alloy”, *Transactions of Non ferrous Metals society of China, Trans, Nonferrous Met. Soc.*, 20: 751-756 (2010).
5. Rao, R. N. and Das, S., “Effect of matrix alloy and influence of SiC particle on the sliding wear characteristics of aluminium alloy composites”, *Materials and Design* 31 (3) : 1200–1207 (2010).
6. Al-Qutub, A. M., Allam, I. M. and Samad, M. A. A., “Wear and friction of Al–Al₂O₃ composites at various sliding speeds”, *Journal of Material Science*, 43: (17): 5797–5803 (2008).
7. Seah, K. H. W., Hemanth, J. and Sharma, S. C., “Mechanical properties of aluminum quartz particulate composites cast using metallic and non-metallic chills”, *Mater Des*, 24: 87–93 (2003).
8. Ramesh, C. S. and Keshavamurthy, R., “Slurry erosive wear behavior of Ni–P coated Si₃N₄ reinforced Al 6061 composites.” *Mater Des*, 32: 1833–43 (2011).
9. Ashok Kumar, B. and Murugan, N., “Metallurgical and mechanical characterization of stir cast AA 6061-T6–AlNp composite.”, *Mater Des*, 40: 52–8 (2012).
10. Dinaharan, I. and Murugan, N., “Drysliding wear behavior of AA 6061/ZrB₂ in-situ composite, transactions of nonferrous” *Metals Society of China*, 22 (4): 810–818 (2012).
11. Kumar, S., Chakraborty, M., Sarma, V. S. and Murty, B. S., “Tensile and wear behaviour of insitu Al–7Si/TiB₂ particulate composites”, *Wear*, 265 (1–2): 134–142 (2008).

12. Tag, F., Wu, X., Ge, S., Ye, J., Zhu, H., Hagiwara, M. and Schoenung, J. M., "Dry sliding friction and wear properties of B₄C particulate-reinforced Al-5083 matrix composites," *Wear*, 264 (7–8): 555–561 (2008).
13. Gopalakrishnan, S. and Murugan, N., "Production and wear characterisation of AA 6061 matrix titanium carbide particulate reinforced composite by enhanced stir casting method," *Composites, Part B*, 43 (2): 302–308 (2012).
14. Smith, W. F., ve Kımkoğlu, N. G., "Malzeme Bilimi ve Mühendisliği 3. Baskıdan Çeviri", *Mart Matbaacılık*, İstanbul, 20-22 (2001).
15. Uenishi, K., Matsubara, T., Kambara, M., and Kobayashi, K. F., "Nanostructured titanium- Aluminides and their composites formed by combustion synthesis of mechanically alloyed powders", *Scripta Materialia*, 44: 2093-266 (2001).
16. Moon, K., and Lee, K. S., "Compressive deformation behaviour of nanocrystalline Al-5at %Ti alloys prepared by leactive ball millinh in H₂ and ultia- high-pressure hot pressing", *Journal of Alloys and Compounds*, 333: 249- 259 (2002).
17. Modi, O. P., Prasad, B. K., Yegnewaran, A. H., and Vaidya, M. L., "Dry sliding wear behavior of squeeze cast aluminium alloy – silicon carbide composites." *Mater Sci Eng A*;151: 235–44 (1992).
18. Zhang, Z., Zhang, J. and Mai, Y., "Wear behavior of SiCp/Al–Si composites." *Wear*, 176: 231–7 (1994).
19. İnternet: Vural, M., "Polimerler Ve Kompozit Malzemeler", <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fakademi.itu.edu.tr%2Fvuralmu%2FDosyaGetir%2F65047%2Fch08-Polimer-Kompozit.pdf+&date=> (2014).
20. İnternet: Dokuz Eylül Üniversitesi, "Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Ansys 10P rogramı İle Isıl Gerilme Analizi", <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.deu.edu.tr%2Fansys%2Fsayac2.php%3Fid%3D60&date=> (2014).
21. İnternet: Cam Elyaf Sanayii A.Ş., "Cam Elyaf (CTP) Teknolojisi. <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.camelyaf.com.tr%2Fimages%2Fpdf%2FCTPcamelyaf.pdf+&date=> (2016).
22. Arıcasoy, O., "Kompozit Sektör Raporu", İTO-0017049, *İstanbul Ticaret Odası Yayınları*, 25-29 76 (2006).
23. Deng, C. F., Wang, D. Z., Zhang, X. X. and Li, A. B., "Processing and properties of carbon nanotubes reinforced aluminum composites," *Materials Science and Engineering A*, 444: 138–145 (2007).

24. Çalın, R., “Magnezya parçacık takviyeli Al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi,” Y.Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enst.*, Ankara (2006).
25. Buytoz, S. ve Eren, H., “Al metal matris kompozitlerin abrasiv aşınma performansına takviye elemanlarının etkisi”, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 19 (2): 209-216 (2007).
26. Bostan, B., “Mekanik alaşımlama ve ekstrüzyon sonrası Al4C3 oluşumunun incelenmesi”, *Gazi Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 23 (2): 343-348 (2008).
27. Arık, H. ve Özkök, Ö., “Si3N4 takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, *4th International Powder Metallurgy Conference*, Sakarya, 761-773 (2005).
28. Atmaca, A., “Çelik fiber takviyeli alüminyum metal matrisli kompozit plakaların elasto-plastik gerilme analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6-27 (2006).
29. Wu, G. Q., Huang, Z. and Ruan, Z. J., "In situ hot-stage observations of structural transformation in a laser surface-melted TiAl intermetallic alloy", *Materials Characterization*, 52: 81-849 (2004).
30. Güngör, Y., “Malzeme Bilgisi” , *Beta Yayıncılık*, İstanbul, 111: (2001).
31. Er, Ö., “Bor katkılı 316L paslanmaz çeliklerin korozyon davranışlarının elektrokimyasal yöntemle incelenmesi”, Y. Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 5-6 (2012).
32. Yazan, A., “Pirinç alaşımlarının çinkosuzlaşma korozyonuna alüminyum, kalay ve nikel alaşım elementlerinin etkileri” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16-17 (2014).
33. Hoşhan, P., “Petrol ve gaz üretim sistemlerinde korozyon ve malzeme seçimi”, Editör G. Bereket, *XII Uluslar Arası Korozyon Sempozyumu*, 20 (2010).
34. Akyıl, C., “İkiz merdane ve direk soğutma döküm yöntemleri ile üretilmiş AA5754 alüminyum alaşımlarının korozyon özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 8 (2010).
35. İnternet: Eker, A. A., “Demirdışı Metal Ve Alaşımlarının Korozyonu”, http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/korozyonvekoruma/Demirdisi_Metal_Alasimlarinin_Korozyonu.pdf (2009).
36. Yazıcıoğlu, M., “Tetrazol bileşiklerinin inhibitör etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 8-10 (2015).
37. Üneri, S., “Korozyon ve Önlenmesi” *Korozyon Derneği Yayınları*, 145 (2011).

38. Topaktaş Konaş, M., “Alüminyum-bakır-silisyum alaşımlarının sulu ortamlardaki korozyonuna lantanitlerin etkisi” *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 7-9 (2005).
39. Aksoy, D., Aras, D. ve Batar, B., “Korozyon”, *Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 29-35 (2010).
40. Alet, E., “Piperidin karboksilikasitin asidik ortamda bakırın korozyon davranışlarına etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 19 (2012).
41. Akkum, V., “Galvanik anotla yapılan katodik koruma uygulamalarında anot verimliliğinin belirlenmesi ve ölçülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana 8 (2006).
42. Özyürek, D., Tuncay, T., Evlen, H., ve Çiftçi, İ., “Synthesis characterization and dry sliding wear behavior of in-situ formed TiAl₃ precipitate reinforced A356 alloy produced by mechanical alloying method.” *Metaterials Research*, 18 (4): 813-820 (2015).
43. Erdoğan, M., Tekin, R. ve Kaya, M., “Mikrodalga fırında suni yaşlandırılan 6013 alüminyum alaşımın korozyon davranışının incelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 20 (1): 25-30 (2014).
44. Zor, S. ve Yıldız, E., “Klorürlü çözeltilerde sülfatiazolün alüminyum korozyonuna etkisi”, *BAÜ Fen Bilimleri Enst. Dergisi*, 14 (2): 93-101 (2012).
45. Saxena, M., Modi, O. P., Prasad, B. K. and Jha, A. K., “Erosion corrosion characteristic of aluminium alloy-alumina fiber composites”, *Wear*, 169: 119-124 (1993).
46. Chen, C. and Mansfeld, F., “Corrosion protection of an Al 6092/SiCp metalmatrix composite”, *Corrosion Science*, 39 (6): 1075-1082 (1997).
47. Bhattamishra, A. K. ve Lal, K. “Microstructural studies on the effect of Si and Cr on the intergranular corrosion in Al-Mg-Si alloys, ” *Materials Desing*, 18: 25-28 (1997).
48. Huang, T. and Frankel, G. S., “Influence of grain structure on anisotropic localised corrosion kinetics of AA7xxx-T6 alloys”, *Corrosion Engineering Science and Technology*, 41: 155-159 (2005).

ÖZGEÇMİŞ

Halit Burak EREK 1986 yılında Malatya' da doğdu. İlk ve orta öğrenimi Malatya' da tamamladı. 2004 yılında girdiği İnönü Üniversitesi Malatya Meslek Yüksek Okulu Endüstriyel Elektronik Bölümü' nü 2007 yılında tamamladı. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitim Bölümü Döküm Öğretmenliğini kazanmış ve 2013 yılında lisans eğitimini başarıyla tamamlamıştır. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim dalında başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Atatürk Mah. Hasan Polatkan Cad. Güneş Han No:3 KARABÜK/
Safranbolu

Tel : 0 (530) 065 20 44

E-posta: halitburakerek@gmail.com