

**T.C.**  
**KAFKAS ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ALAŞIMLARA UYGULANAN FARKLI METALİK PİGMENTLER İÇEREN**  
**KAPLAMALARIN KOROZYON DİREÇLERİNİN İNCELENMESİ**

**Ali AYDIN**  
**YÜKSEKLİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**  
**Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI**

**KASIM-2020**

**KARS**

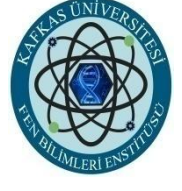


T.C.

KAFKAS ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ALAŞIMLARA UYGULANAN FARKLI METALİK PİGMENTLER İÇEREN  
KAPLAMALARIN KOROZYON DİREÇLERİNİN İNCELENMESİ

Ali AYDIN

YÜKSEKLİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI

KASIM-2020

KARS

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek lisans öğrencisi Ali AYDIN'ın Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI'nın danışmanlığında Yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "Alaşımlara Uygulanan Farklı Metalik Pigmentler İçeren Kaplamaların Korozyon Dirençlerinin İncelenmesi" adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy . . . . . ile kabul edilmiştir.

.. / .. / 20..

**Adı ve Soyadı**

**İmza**

**Başkan** :

**Üye** :

**Üye** :

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .. / .. / 20. .günve . . . .  
.. / . . . . . sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Fikret AKDENİZ

**Enstitü Müdürü**

## ETİK BEYAN

Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

**İmza**

**Ali AYDIN**

**04.11.2020**

## ÖZET

(Yükseklisans Tezi)

### ALAŞIMLARA UYGULANAN FARKLI METALİK PİGMENTLER İÇEREN KAPLAMALARIN KOROZYON DİREÇLERİNİN İNCELENMESİ

Ali AYDIN

Kafkas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI**

Bu çalışmada yüksek dayanımlı alüminyum 6061-T6 alaşımın kaplamalı ve kaplamasız halinin deniz suyu içerisindeki korozyon dayanımına bakılmıştır. Aynı zamanda bu kaplamaların ve kaplamasız yüzeylerin korozyon davranışları incelenmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon tekniği kullanılmıştır. Kaplama olarak altın rengi ve gümüş rengi metalik pigmentlerden içeren hızlı kuruyan boyalar kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en fazla korozyon dayanımı gösteren Ecor- 0,66244 ve Rp 31372,55 ohm değerleri ile Al 6061-T6 altın rengi boya kaplamalı yüzeye sahip numune olmuştur. Kaplamalı ve kaplamasız yüzeyler karşılaştırıldığında kaplamalı yüzeylerin daha dayanıklı olduğu ve kaplamalı yüzeler kendi arasında değerlendirildiğinde ise altın rengi

pigment içeren kaplamanın korozyona daha dayanıklı olduğu görölmüştür. Tüm darbeli yüzeylerin korozyon dayanımlarının orijinal yüzeylerden daha düşük olduğu görölmüştür

**Anahtar kelimeler:** Kaplama, Korozyon, Deniz Suyu, Gümüş Pigment, Altın Pigment

**2020, 81 Sayfa**

## **ABSTRACT**

(Master Thesis)

An Investigation On Corrosion Resistance Of Coatings Containing Different Metallic Pigments On Alloys

Ali AYDIN

Kafkas University

Graduate School of Applied and Natural Sciences

Mechanical Engineering Department

**Supervisor: Asts. Prof. Benek HAMAMCI**

In this study, the corrosion resistance of coated and uncoated form of high-strength aluminum 6061-T6 alloy in seawater was examined. The corrosion behavior of these coatings and uncoated damaged surfaces was also investigated. Potentiodynamic polarization technique was used. Fast drying paints containing gold and silver metallic pigments were used for coatings. As a result of the study, the sample Al 6061-T6 with surface coated in gold color was the most corrosion resistant with Ecor- 0,66244 and Rp 31372,55 ohm values. When the coated and uncoated surfaces were compared, the coated surfaces were found more durable, and when the coated surfaces were compared to each other, the coating containing gold pigments was more resistant to corrosion. It

has been observed that the corrosion resistance of all damaged surfaces is lower than the original surfaces.

**Keywords:** Coating, Corrosion, Seawater, Silver Pigment, Gold Pigment

**2020, 81 pages**



## ÖNSÖZ

Çalışmamın başlangıcından bitimine kadar, her konuda büyük yardımlarını, bilgisini, desteğini ve hoşgörüsünü esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI'ya en derin minnet ve şükranlarımı sunarım.

Yine bu çalışmanın her türlü aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve çok büyük emeği geçen Doç.Dr.Julide ERKMEN'e, laboratuvarını ve analiz cihazlarını bizden esirgemeyen Prof.Dr. Ramazan SOLMAZ'a, deney analizlerinde desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Ece ALTUNBAŞ ŞAHİN, Öğr. Gör. İbrahim ŞAHİN'e ve bu süreç boyunca yardımlarından dolayı ablam Öğr.Gör. Dr. Zehra AYDIN'a ve Mimar Diğdem ŞEKER'e Teşekkürü bir borç bilirim.

Yine bu çalışma süresince desteklerini bir nebze esirgemeyen başta annem Sevgison AYDIN'a ve babam Mehmet Rüştü AYDIN'a çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	V
ÖNSÖZ .....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ .....	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XV
1.GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Korozyonun Tanımı ve Çeşitleri .....	2
1.3. Korozyon Reaksiyonları .....	2
1.4. Korozyon Türleri .....	3
1.4.1. Homojen Korozyon.....	3
1.4.2. Galvanik Korozyon.....	4
1.4.3. Taneler Arası Korozyon.....	5
1.4.4. Seçimli Korozyon .....	5
1.4.5. Erozyon Korozyonu .....	6
1.4.6. Çukurcuk Korozyonu.....	7
1.4.7. Gerilmeli Korozyon .....	7
1.4.8. Biyolojik Korozyon .....	8
1.5. Metallerin Standart Elektrot Potansiyelleri .....	8
1.6. Alüminyum'un Korozyon Oluşma Mekanizması .....	9
1.7. Korozyondan Korunma Yöntemleri .....	10
1.7.1. Katodik Koruma .....	10
1.7.2. Anodik Koruma .....	11
1.7.3. İnhibitör Kullanılması.....	11
1.7.4. Yüzey Kaplamaları ile Koruma .....	12
1.7.5. Uygun Malzeme Seçimi (Saf Metal veya Alaşım Kullanımı).....	13
1.7.6. Uygun Tasarım .....	13
1.7.7. Pasivasyon .....	14
1.7.8. Isıl İşlem Uygulama.....	14
1.8. Korozyona Etki Eden Parametreler .....	15

1.8.1. Ortam etkisi.....	15
1.8.2. Sıcaklık Etkisi.....	15
1.8.3. Malzeme Etkisi .....	15
1.8.4. Taneler Arası Özellik Farkları .....	15
1.8.5. Sistem Dizaynı.....	15
1.8.6. Ortamın Oksijen Konsantrasyonu.....	16
1.8.7. Elektriksel Özgül Direnç .....	16
1.9.Korozyon Hızının İncelenmesi ve Ölçüm Yöntemleri.....	16
1.9.1. Galvanostatik Yöntem .....	16
1.9.2. Potansiyostatik Yöntem .....	16
1.9.2.1. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi.....	17
1.9.2.2. Korozyon Potansiyeline Katodik Polarizasyon Eğrisinin Ekstrapolasyonu Yöntemi.....	18
1.9.2.3. Polarizasyon Direnci Yöntemi .....	19
1.9.2.4. Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi .....	20
1.10. Literatür Araştırması .....	20
2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	23
2.1.Materyal.....	23
2.1.1. Numunelerin Hazırlanması .....	23
2.2. Yöntem .....	28
2.2.1. Boyanın yapılışı .....	28
2.2.2. Çözeltilerin Hazırlanması .....	28
2.2.3. Çalışma Elektrotlarının Hazırlanması.....	28
2.2.4. Elektrokimyasal Ölçümler .....	31
2.2.5. Elektrot Yüzeylerinin Karakterizasyonu .....	32
3. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	33
3.1. Tafel Eğrileri Akım Potansiyel Diyagramları .....	33
3.2. Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi Sonuçları (1400 Sn Nyquist Eğrileri) .....	39
3.3. EDX spektrumları.....	44
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	56
5. KAYNAKLAR .....	59

ÖZGEÇMİŞ .....	65
----------------	----

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Homojen korozyona maruz kalan çapa (URL-1 2016) .....	4
Şekil 1.2. Galvanik korozyon (Özbilen, 1995) .....	4
Şekil 1.3. Taneler arası korozyona uğramış yüzey alanı (URL-3 2016) .....	5
Şekil 1.4. Seçimli korozyona uğramış bakır-aluminyum alaşımında aluminyumun ayrılması (URL-4 2016).....	6
Şekil 1.5. Erozyon korozyonu (Özbilen 1995). .....	6
Şekil 1.6. Çukurcuk korozyonu (Younis, 2012) .....	7
Şekil 1.7. Gerilme korozyonu (Eker 2009).....	8
Şekil 1.8. Biyolojik korozyona uğramış su deposu (URL-7 2017).....	8
Şekil 1.9. Tafel Korozyon hızının Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile ortaya konulması.	18
Şekil 1.10: Akım potansiyel eğrisi. (Gürten, 2014).....	20
Şekil 2.1. Parlatma cihazı. ....	25
Şekil 2.2. Elektrokimyasal ölçümlerde kullanılan Potansiyostat-Galvanostat (CHI 6096E).....	25
Şekil 2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-Işını spektroskopisi (EDX) (JEOL 6510).....	26
Şekil 2.4. Deney düzeneğinin bulunduğu su banyosu ortamı .....	27
Şekil 2.5. Deniz suyunun süzülmesi .....	28
Şekil 2.6. Bakır tel geçirilmiş Al elektrotlar. ....	29
Şekil 2.7. Numunelerin yan alanlarının polimer kaplanması.....	29
Şekil 2.8. Boyalı yüzeyler.....	30
Şekil 2.9. Boyanmış darbeli yüzey. ....	30
Şekil 2.10. Numunelerden bazı örnekler.....	31
Şekil 3.1. Çıplak AA6061-T6' nın katodik akım potansiyel eğrisi .....	33
Şekil 3.2. Çıplak AA6061-T6'nın anodik akım potansiyel eğrisi .....	34
Şekil 3.3. Gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6'nın katodik akım potansiyel eğrisi .....	34
Şekil 3.4. Gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6'nın anodik akım potansiyel eğrisi.....	34
Şekil 3.5. Gümüş rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın katodik akım potansiyel eğrisi .....	35
Şekil 3.6. Gümüş rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın anodik akım potansiyel eğrisi. ....	35

<b>Şekil 3.7.</b> Altın rengi boya kaplı AA6061-T6'nın katodik akım potansiyel eğrisi.....	35
<b>Şekil 3.8.</b> Altın rengi boya kaplı AA6061-T6'nın anodik akım potansiyel eğrisi.....	36
<b>Şekil 3.9.</b> Altın rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın katodik akım potansiyel eğrisi .....	36
<b>Şekil 3.10.</b> Altın rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın anodik akım potansiyel eğrisi .....	36
<b>Şekil 3.11.</b> Çıplak AA6061-T6'nın 1400 sn' lik akım zaman grafiği .....	37
<b>Şekil 3.12.</b> Gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6'nin 800 sn'lik akım zaman grafiği ...	38
<b>Şekil 3.13.</b> Gümüş rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın 800 sn' lik akım zaman grafiği.....	38
<b>Şekil 3.14.</b> Altın rengi boya kaplı AA6061-T6'nın 1400 sn' lik akım zaman grafiği....	38
<b>Şekil 3.15.</b> Altın rengi boya kaplı ve darbeli AA6061-T6'nın 400 sn' lik akım zaman grafiği .....	39
<b>Şekil 3.16.</b> Çıplak AA6061-T6' nın 1400 sn'lik Nyquist eğrisi.....	40
<b>Şekil 3.17.</b> Gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6'nın 1400 sn'lik Nyquist eğrisi .....	40
<b>Şekil 3.18:</b> Gümüş rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın 1400 sn'lik Nyquist eğrisi .....	41
<b>Şekil 3.19.</b> Altın rengi boya kaplı AA6061-T6' nın 1400 sn'lik Nyquist eğrisi .....	41
<b>Şekil 3.20.</b> Altın rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın 1400 sn'lik Nyquist eğrisi .....	42
<b>Şekil 3.21.</b> AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0) .....	44
<b>Şekil 3.22.</b> Deniz suyunda korozyona uğramış AA6061-T6'nının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0).....	45
<b>Şekil 3.23.</b> İşlem görmemiş gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6'nın SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0).....	46
<b>Şekil 3.24.</b> Deniz suyu içerisinde korozyona uğramış gümüş renkli boya kaplı AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları ( kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0). .....	47
<b>Şekil 3.25.</b> İşlem görmemiş gümüş rengi boya kaplı darbeli AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0) .....	48

<b>Şekil 3.26.</b> Deniz suyu içerisinde korozyona uğramış gümüş rengi boya kaplı darbeli AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kv 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0).....	49
<b>Şekil 3.27.</b> İşlem görmemiş altın rengi boya kaplı AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0).....	50
<b>Şekil 3.28.</b> Deniz suyu içerisinde korozyona uğramış altın rengi boya kaplı AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0) .....	51
<b>Şekil 3.29.</b> İşlem görmemiş altın rengi boya kaplı ve darbeli AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0) .....	52
<b>Şekil 3.30.</b> Deniz suyu içerisinde korozyona uğramış altın rengi boya kaplı darbeli AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0).....	53
<b>Şekil 3.31.</b> İşlem görmemiş gümüş rengi boya kaplı darbesiz ve darbeli AA6061-T6 Al alaşımının elektron mikroskop görüntüleri .....	54
<b>Şekil 3.32.</b> İşlem görmemiş altın rengi boya kaplı darbesiz ve darbeli AA6061-T6 Al alaşımının elektron mikroskop görüntüleri. ....	54
<b>Şekil 3.33.</b> Boya uygulanmış AA6061 TA Al alaşımının boya kalınlığının mikroskop görünümü .....	55

## TABLÖLAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.1.</b> Metallerin standart elektrot potansiyeli (Skoog ve ark., 1998).....	9
<b>Tablo 2.1.</b> Al6061-T6 Kimyasal Bileşimi .....	23
<b>Tablo 2.2.</b> Al6061-T6 alaşımının mekanik özellikleri verilmiştir.....	23
<b>Tablo 2.3:</b> Korozif ortam olarak kullanılan boyaların içeriği .....	24
<b>Tablo 3.1.</b> AA6061-T6 Al alaşımının çıplak, boyalı ve boyalı darbeli hallerinin Ekor değerleri.....	37



## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ikor	:	Korozyon akım yoğunluğunu
A	:	Alan
AgCl	:	Gümüş klorür
D	:	Yoğunluk
EDX	:	Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
EIS	:	elektrokimyasal impedans spektroskopisi
Eocp-t	:	Açık devre potansiyelinin saniye boyunca değişimi
EW	:	Ekivalent ağırlık
fi	:	Her bir elementin oranı
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	:	Sülfürik asit
HNO <sub>2</sub>	:	Nitrik asit
K	:	Sabit katsayı
KCl	:	Potasyum klorür
M	:	Her bir elementin atom ağırlığı
ni	:	Her bir elementin valans değeri
Pt	:	Platin
Rkor	:	Korozyon hızı
Rp	:	Polarizasyon direnci
SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu
LPR	:	Lineer polarizasyon direnci
Cd	:	Metal çift katmanlı kapasite
Cp	:	Boya filmi kapasitesi
Re	:	Referans elektrot ve çalışma elektrotu arasındaki elektrot direnci
Ri	:	İyonik boya film direnci
Rt	:	Gözeneklerin ve kaplama deliklerinin tabanında metal yükü transfer reaksiyon direnci
Zw	:	Warburg difüzyon impedans vektörüdür.

## 1.GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Günümüzde teknoloji ve bilimin gelişmesi ile endüstriyel alanda alüminyum, çelik, demir, çinko ve kurşun gibi birçok farklı elementler kullanılmaktadır. Özellikle yoğunluğunun çok düşük olması nedeniyle bu elementler arasında gıda, ambalaj, havacılık, gemi ve tank, otomotiv sanayisi vb. birçok farklı alanda kullanılabilen alüminyum ve alaşımları tercih edilmektedir. (Kaftan 2006, Çatal 2007, Gümüş 2007, Palmanak 2009, Alp 2014, Koyun ve Güven 2017).

Endüstriyel alanda alüminyum ve benzeri alaşımların kullanılması birçok avantaj sağlasa da bu elementlerin kullanımı kısıtlayan birçok sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Karşılaşılan bu sorunlardan biriside korozyondur. Korozyon günümüzün en kötü teknik sorunlarından biri olarak kabul edilmektedir (Corrosionbehaviour of 6063 aluminium alloy in acidicand in alkaline media). Bu sebepten korozyon önleme ile ilgili çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır (Stansbury ve Buchanan, 2000). Alüminyumun korozyona karşı dayanıklı bir elementtir. Hava ile temas etmesi sonrası alüminyum yüzeyini oksit tabaka kaplar ve bu tabaka sayesinde korozyona karşı dayanıklı bir hal alır (Kaftan 2006, Çatal 2007, Gümüş 2007, Palmanak 2009, Alp 2014).

Korozyonu önlemek için birçok farklı yöntem mevcuttur. Bunlardan biri boya ile kaplama yöntemidir. Boya ile yüzeyleri kaplanan metaller korozyona karşı dayanıklı hale gelirler. Birçok farklı boyama tekniği bulunmaktadır. Hangi boyama tekniğinin kullanılacağına ise korozyona karşı korunacak metalin özellikleri ve bulunduğu ortamın özellikleri göz önüne alınarak işlem uygulanmaktadır (Kaftan 2006, Çatal 2007, Gümüş 2007, Palmanak 2009, Alp 2014).

Korozyon yüksek elektrokimyasal reaksiyonlara eğilimlerinden dolayı metallerde daha çok görülmektedir. Metallerin korozyona uğrama sebepleri oksijene olan ilgilerinden kaynaklanmaktadır. Serbest halde kararlı halde olan metallerin korozyon dayanımları yüksek fakat oksijen ilgisi nispeten daha fazla olan (demir vb) metaller daha kolay oksitlenme eğiliminde olduklarından korozyon dayanımları düşüktür.

Sadece oksijen ilgileri metallerin korozyona uğramaları için bir kriter değildir. Başka kriterlerde korozyona sebep olabilmektedir. Alüminyum örnek verme gerekirse alüminyumun oksijen ilgisinin çok iyi olduğu bilinmektedir bunun yanı sıra korozyon dirençlerinin de yüksek olduğu bilinir. Bunu şöyle açıklayabiliriz alüminyumun dış yüzeyi çok hızlı oksitlenir ve yüzey tamamen oksitlendikten sonra oksitlenme durur ve daha alt yüzeylerin oksitlenmesi engellenir (Küstü, 2008).

Korozyon malzeme yüzeyi nemden ve oksijen temasından kesilirse önlenmektedir. Korozyonu önlemenin birçok yöntemi vardır. Bunlardan birde boyama yöntemidir. Bu eski ve çok kullanılan bir yöntemdir.

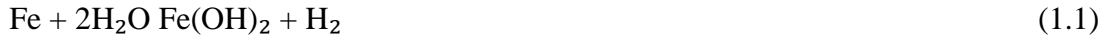
Tez çalışmasında, yoğunluğu düşük, kolay şekil alabilen, yüksek ısı iletkenliği, yüksek mekanik özellikleri ve yüksek korozyon direncine sahip, otomotiv, havacılık, savunma gibi birçok sektörde kullanılan alüminyum 6061-T6 alaşım yüzeylerine gümüş ve altın rengi püskürtme boya ile kaplama yapılmış ve kaplamalı ve kaplama yapılmamış alüminyum yüzeylerin Potansiyodinamik polarizasyon tekniği kullanılarak deniz suyunda korozyon dirençlerinin tespiti yapılmıştır.

## **1.2. Korozyonun Tanımı ve Çeşitleri**

Metalik yapıya sahip olan materyallerin çevreleri ile olan etkileşimleri sonucu elektrokimyasal olarak yükseltgenmeleri korozyon olarak adlandırılmaktadır. Maddeler maksimum düzeyde entropi ve minimum düzeyde enerjili olmak isterler yani kararlı olmak isterler (Solmaz, 2011). Korozyonun ekonomik açıdan birçok zararı vardır. Korozyon sonucunda madde kaybı bunun yanı sıra su ve çevre kirlilikleri meydana gelmektedir. (Çelik, 2015).

## **1.3. Korozyon Reaksiyonları**

Materyal olarak demir kullanılan malzemelerde korozyon sulu çözelti ortamında aşağıda verilen mekanizma ile yürür. Denklem 2.1 ve 2.2’de verildiği gibi metalin su ile etkileşmesi sonucu iyon oluşur. Bu basamakta sağlanan koşullara uygun olarak katodik tepkime oksijen ya da hidrojen indirgenmesidir. Korozyon sonucunda oluşan ürünler ise demir oksit ve hidroksitlerinin yanı sıra ortamda yer alan kirleticilerde korozyon ürünlerini oluştururlar (Erbil, 2012).



#### **1.4. Korozyon Türleri**

Metalik yapıya sahip olan malzemenin sahip olduğu metalik özelliğın kaybolması korozyon olarak adlandırılmaktadır. Korozyonu önlemek için korozyona sebep olan etmenlerin ortaya konulması gerekmektedir. Korozyonu sınıflandırmak korozyonun oluşumuna sebep olan etmenlerin kontrol altına alınması bakımından önemlidir (Erbil, 2012). Korozyon türlerinden en çok bilinenleri aşağıda verilmiştir.

##### **1.4.1. Homojen Korozyon**

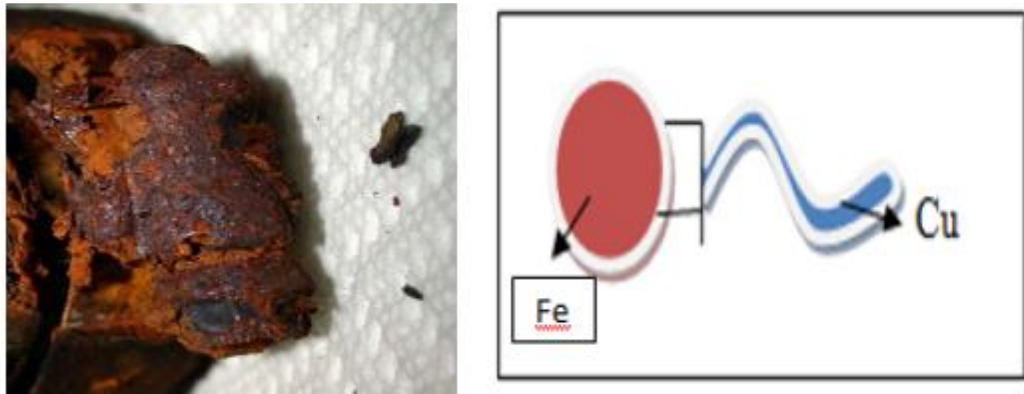
Metaller üzerinde meydana gelen en yaygın korozyon türüdür. Bu korozyon türünde meydana gelen korozyon tepkimelerinin metalin tüm bölümlerinde aynı hızda olduğu varsayılmaktadır. Homojen korozyon (Şekil 1.1) oluşumunun en temel nedeni metal yüzeyinde anodik ve katodik kısımların yer değişimidir. Metal yüzeyinin temas halinde bulunan kısmı sürekli değiştiğinden metalin tüm bölümlerinin kullanılamayacak hale gelmesi engellenmiş olur. Bu korozyon türleri için korozyon hızının tespiti kolay olduğundan korozyon hızı bu tür için anlamlıdır. Diğer türler ile karşılaştırıldığında kolay bir şekilde önlenabilir (Doruk, 2014; Çelik, 2015).



**Şekil 1.1.** Homojen korozyona maruz kalan çapa (URL-1 2016)

#### 1.4.2. Galvanik Korozyon

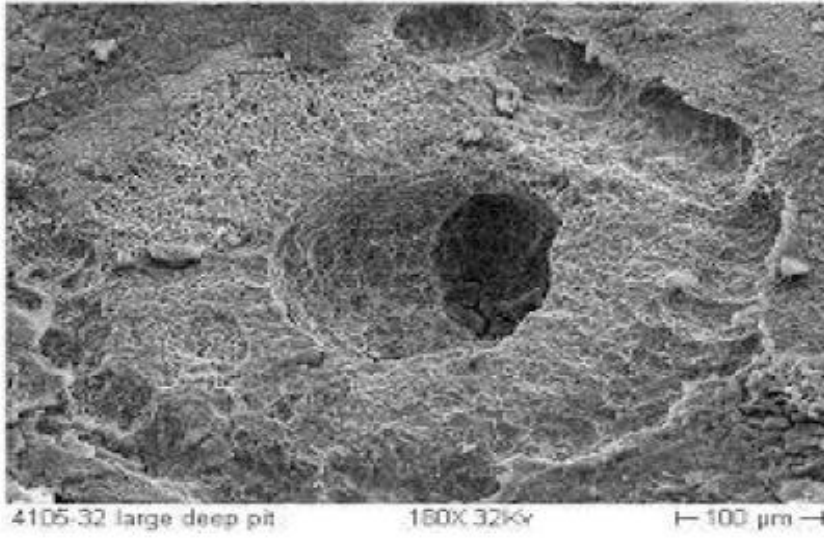
İki farklı metalin sulu ya da iletken ortamda birbirleri ile etkileşimleri sonucunda meydana gelir. Materyaller arasında potansiyel fark ve korozyon oluşur (Eker, 2009). Galvanik korozyon anodun küçük katodun büyük olduğu bağlantılarda tehlikeli olmaktadır. Galvanik korozyonun (Şekil 1.2) meydana gelmesini engellemek için potansiyel farkın az olduğu metallerin eşleşmesi gerekmektedir (Konuklu, 2007).



**Şekil 1.2.** Galvanik korozyon (Özbilen, 1995)

### 1.4.3. Taneler Arası Korozyon

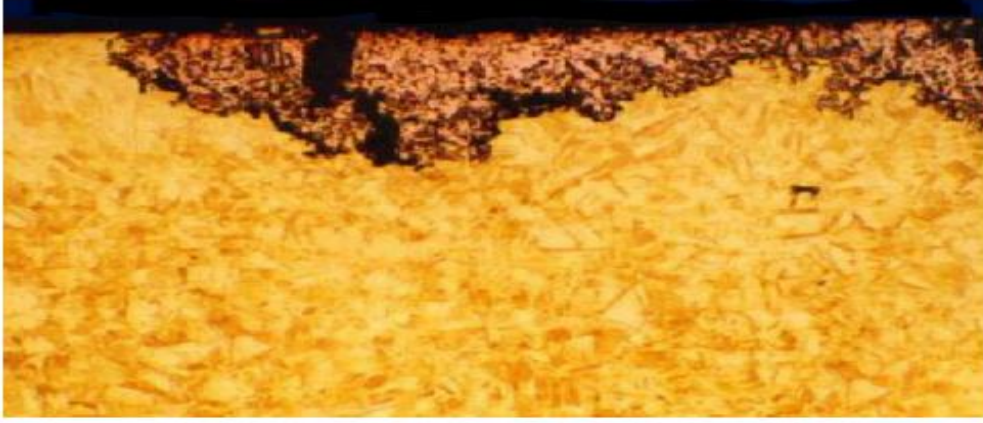
Metal ve alaşımlarda meydana gelen korozyon metal yüzeyinin tüm kısımlarında aynı şekildedir. Ortam farklı olduğunda ara yüzeyin tepkime vermesi basit bir şekilde olur ve böylelikle korozyon oluşur. Bu tür korozyonlarda tahribat büyük olduğundan alaşımın parçalanması kolay olur. Bu tür korozyonlarda kütle kaybı azdır ancak korozyon hızlı ve alaşımın her yerinde oluşur. Dışarıdan bakıldığında aşınma gözükmemektedir (Üneri, 1998). Taneler arası korozyona uğramış yüzey alanı Şekil 1.3'te gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Taneler arası korozyona uğramış yüzey alanı (URL-3 2016)

### 1.4.4. Seçimli Korozyon

Alaşımı meydana getiren metal karışımlardan birinin diğerinden önce aşınması olayıdır. Pirinç alaşımında çinkonun seçimli korozyona (Şekil 1.4) maruz kalması bu korozyon türüne verilecek en iyi örnektir. Bu tip korozyonlardan korunma katodik koruma ile ya da korozif ortama inhibitör eklenmesi ile meydana gelir. (Üneri, 1998).



**Şekil 1.4.** Seçimli korozyona uğramış bakır-aluminyum alaşımında aluminyumun ayrılması (URL-4 2016)

#### **1.4.5. Erozyon Korozyonu**

Metal ve koroziv ortam arasında bağıl hareket dolayısıyla metaldeki aşınma hızının artması olayıdır. (Hasanov, 2002). Sıvı akışının olması korozyon ürünlerinin yıpranmasına sebep olur bu sebeple aktif olan yüzeyde görülür ve akış hızı korozyon hızını belirlemek için kullanılır. Katı parçacıkların bulunması oksit tabakalarının uzaklaştırılması için kolaylık sağlar. (Erbil, 1985). Erozyon olmuş bir örnek Şekil 1.5'te verilmiştir.



**Şekil 1.5.** Erozyon korozyonu (Özbilen 1995).

#### 1.4.6. Çukurcuk Korozyonu

Metal yüzeyinin bazı kısımlarında çukur oluşumu ile korozyon meydana getirmektedir. Anot ve katot bu tip korozyonlarda birbirinden ayrı durumdadır. Anot bölgesi çukur içindeki dar alan katot ise çukur dışında geniş bir alandır. Korozyonun meydana gelmesi ile çukur büyüyerek delinme meydana gelir ve bu sebeple tehlikelidir. ukurcuklar yakın olduğunda przly görüntü oluştururlar (şekil 1.6) (neri, 1998).

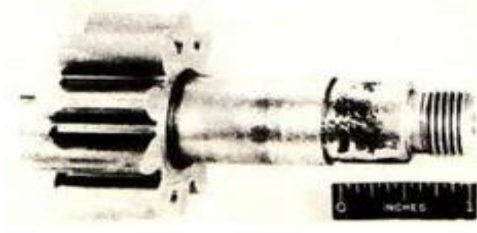


şekil 1.6. Çukurcuk korozyonu (Younis, 2012)

#### 1.4.7. Gerilmeli Korozyon

Gerilmeli korozyon türünde çatlak oluşumu malzemelerin dayanma gücünü azaltır. Bozunma yüzey üzerinde bulunan çatlaklarda başlar. Gerilmeli korozyonda göze çarpan özellik kimyasal ve mekanik etkilerin birbirine destek sağlanmasıdır. Gerilmeli korozyonda meydana gelen çatlaklar gerilme ve korozyonun etkisi ile malzemenin iç kısmına doğru ilerler (şekil 1.7) (Doğru, 2007).





**Şekil 1.7.** Gerilme korozyonu (Eker 2009).

#### **1.4.8 Biyolojik Korozyon**

Biyolojik korozyona anaerobik bakteriler sebep olmaktadır bu işlemi sülfat redükleyici olarak yapmaktadırlar. Bazı bakteriler metallerin yüzeyinde korozif madde oluştururlar. Metal yüzeyinde nemlilik bıraktıkları için korozyon meydana gelmektedir. Biyolojik korozyon (Şekil 2.8) kaplama yapılması ile veya bakterilerin etkisinin azaltılması ile engellenebilir. (Erbil, 2012).



**Şekil 1.8.** Biyolojik korozyona uğramış su deposu (URL-7 2017)

#### **1.5. Metallerin Standart Elektrot Potansiyelleri**

Standart elektrot potansiyeli, metalin kendi iyonlarını bulandıran 1 molar çözeltisi içerisinde 25°C sıcaklıkta dengede olduğu anda belirlenen potansiyelidir. Standart elektrot potansiyeli belirlemede referans olarak hidrojen elektrot kullanılır. Hidrojen elektrotun potansiyeli sıfır olarak kabul edilip bazı metallerin Tablo 1.1'de standart

elektrot potansiyelleri belirtilmiştir (Skoog ve ark., 1998). Standart elektrot potansiyeli küçük olan metal kendinden daha büyük standart potansiyele sahip metalin anodu olmaktadır. Örneğin daha yukarıda bulunan bir metal, kendisinden daha aşağıdaki metalin anodu olur. Örneğin, bakırdan daha yukarıda bulunan magnezyum, alüminyum ve krom metalleri bakırı katodik olarak korumak üzere anot olarak kullanılabilir. Katot/anot oranı ne kadar küçük olursa korunan metal o kadar yavaş korozyona uğramaktadır.

**Tablo 1.1.** Metallerin standart elektrot potansiyeli (Skoog ve ark., 1998).

Element	Standart Elektrot Potansiyeli (V)
Lityum	- 3,03
Potasyum	- 2,925
Sodyum	- 2,713
Magnezyum	- 2,371
Alüminyum	- 1,66
Çinko	- 0,763
Krom	- 0,74
Demir	- 0,44
Kadmiyum	- 0,402
Nikel	- 0,23
Kalay	- 0,14
Kurşun	- 0,126
Hidrojen	0,00
Bakır	+ 0,33
Cıva	+ 0,792
Gümüş	+ 0,799
Platin	+ 1,2
Altın	+ 1,45

### 1.6. Alüminyum'un Korozyon Oluşma Mekanizması

Alüminyum, diğer metallere göre benzersiz bir elektromekanik özelliğe sahip reaktif bir metaldir. İlk aşamada alüminyum oksijen ve su ile etkileşime girerek yüzeysel bir oksit tabaka oluşturmaktadır. İlk bakıldığı zaman bunu bir korozyon olarak tanımlamak mümkünken aslında bu katman alüminyumun korozyona maruz

kalmasını önleyen koruyucu bir tabakadır (Çatal, 2007; Doğru 2007; Alp 2014; Koyun ve Güven 2017).

## **1.7. Korozyondan Korunma Yöntemleri**

Korozyondan korunma yöntemlerinin temelinde hangi koruma yönteminin seçilerek uygulanacağı yatmaktadır. Uygun koruyucu yöntemi seçerken korozyon türüne ve koşullarına göre seçilerek uygulanmaktadır.

### **1.7.1. Katodik Koruma**

Katodik koruma, korozyona karşı koruma yöntemleri arasında en güçlü olanıdır. Zemine gömülü ve yüzlerce kilometreyi bulan nakil hatları olmak üzere endüstrinin hemen hemen her alanında kullanılmaktadır. Elektrokimyasal korozyon teorisini temel alan Katodik koruma yöntemi ilk uygulamaları boru hatlarında olmuştur. Katodik koruma metallerin korozyona göre daha negatif bir potansiyelde tutulmaları ile sağlanmaktadır. Potansiyelin negatifte tutulması ise anodik akımın en aza indirilmesi veya ortadan kaldırılmasıyla sağlanabilmektedir. Böylece katot bölgesinde korozyon önlenmiş olur (Erbil 2012; Gürten 2014).

Katodik koruma, temelde bir metalin korozyona uğramış kısmı ile aktif olan kurban metalin elektriksel birleştirilmesi sonucu sağlanır. Katodik korumada, korozyondan korunmak istenen metal, katot yapılarak galvanik bir pil oluşturulur. Bu tür korumayı sağlamak için kurban anot olarak genelde çinko, çinko alaşımları, alüminyum ve magnezyum kullanılır. Bazı durumlarda ise katodik koruma kurban anot yerine dış gerilim kaynağı ile korunacak malzemeye akım verilerek sağlanır. Bu durumda anot malzemesi karbon, platin veya grafit olabilir. Bu uygulama ile yeraltında korunan binlerce kablo, boru, iskele, gemi ve tank vardır. Boruların koruna bilmesi için anotlar borudan 2,4-3,0 m uzağa gömülür. Anot olarak seçilen metal veya alaşım bir kablo kullanılarak boru hattına bağlanır (Yanardağ, 2011). Katodik koruma ile bakır gövdeli savaş gemilerinin çinko anotlarla korunabileceği 1824'de ilk olarak Sir Humprey Davy tarafından açıklanmıştır. İngiltere ve ABD'de 1910-1912 yılları arasında ilk uygulamaları yapılmış gemilerin dümen veya pervane bölgesine çinko ve magnezyum anotlar bağlanarak katodik koruma sağlanmıştır bu tarihten itibaren katodik koruma dünya çapında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Magnezyum anotlar, endüstriyel su ısıtıcılarında, su tanklarında katodik koruma sırasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Yanardağ, 2011).

### **1.7.2. Anodik Koruma**

Anodik koruma genellikle korozyonun şiddetli olduğu durumlarda korozyon şiddetini azaltmak için kullanılmaktadır. Anodik korumanın temeli metalin potansiyelinin korozyonunkine göre daha anodik değerlerde tutulmasıyla sağlanmaktadır. Bu teknik genellikle pasifleşmiş metal ve /veya alaşımlarına uygulanan bir koruma yöntemidir. Anodik koruma kontrollerinin çok iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir yoksa metal çok kısa sürede korozyona maruz kalabilir. Anodik koruma yönteminin uygulanabilmesi potansiyostat kullanımı ile mümkündür (Çatal, 2007; Palmanak 2009; Alp 2014).

### **1.7.3. İnhibitör Kullanılması**

Korozyon inhibitörü katıldığı ortama etki ederek korozyon hızını azaltan maddelerdir. Korozyon inhibitörü metal yüzeyinde koruyucu tabaka oluşturarak korozyonu önler. Genellikle korozyona karşı pahalı bir malzeme kullanmak yerine korozyon inhibitörleri katılarak daha ucuza korozyondan korunması sağlanmaktadır. Korozyon türleri içinde de en çok çukur korozyonu önlemek için kullanılmaktadır (Düdükçü, 2004). İnhibitörler (yavaşlatıcılar) korozyon hızını az miktarda ortama eklendiğinde azaltır ya da ihmal edilebilecek düzeye kadar düşürürler. İnhibitör korozyon hızını düşüren ucuz bir yöntemdir. Korozyon hızını inhibitör farklı şekillerde azaltırlar. İnhibitörler, anodik ve katodik inhibitör olarak ikiye ayrılır (Derin, 2016). Bazı inhibitörler metal yüzeyini ince bir film ile kaplayarak çevresi ile tepkimeyi engelleyerek korozyon hızını azaltırlar. Bazendi, çözünmüş oksijenin inhibitör tarafından kimyasal olarak bağlanması ile korozyon hızı düşürülerek gerçekleştirilir. Ortamların değişimi ile çok inhibitörün türü de değişmektedir (Küstü, 2008). İnhibitörler organik veya inorganik yapıda olabilmektedir (Küçüköğlü, 2010).

#### 1.7.4. Yüzey Kaplamaları ile Koruma

Yüzey kaplamalar iki çeşittir; metal ve metal olmayan kaplamalar. Metal olmayan kaplamalar yöntemlerinden biriside boyamadır. Boyama işlemi ile boyanın yapısında bulunan pigmentler sayesinde metalin oksijen ve / veya su ile temasını önleyerek korozyona karşı metali korur. Boyama işlemi düşük maliyet ve uygulanmasının kolay olmasından dolayı diğer yöntemlere göre daha yaygın kullanılan bir yöntemdir. Boyama işlemi yaygın kullanılmasına rağmen kullanılan boyanın da birtakım özelliklere sahip olması gerekiyor. Öncelikle dayanıklı, geçirgenliği az ve yüzeyini tamimiyle kaplamalıdır. Su bazlı boyalarda çözücü olarak su kullanılmaktadır ancak kuruduktan sonra suya dayanıklı hale gelmektedir. Su bazlı boyaların içerisinde pigment, mikro plastik bağlayıcılar ve dolgu maddesi bulunur. Su bazlı boyalar çabuk kurumakla beraber daha esnek bir yapıya sahiptirler. Solvent bazlı boyalar diğer boyalardan farkı çözücü olarak kendi çözücülerini kullanmalarıdır. Ayrıca solvent bazlı boyalar önemli miktarda uçucu organik içermektedir. Sprey şeklinde uygulanan bir boyama türüdür. Toz boyaların içeriğinde pigment, katalizörler, katkı maddeleri, reçine ve akış kontrol ajanları gibi maddeler bulunmaktadır. Bu boyama türünün de, elektrostatik püskürtme tekniği ile akışkan yatak tekniği uygulanarak boyama işlemi gerçekleştirilmektedir (Çatal, 2007; Gümüş, 2007; Palmanak, 2009).

Metal kaplamalar sıcak daldırma, püskürtme, akımsız kaplama, difüzyon ve mekanik kaplama (duble etme) elektrolitik kaplama gibi yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir (Tuna, 2013). Korozyona karşı en tercih edilen yöntem çinko ve alüminyum kaplamadır. Erimiş metale sıcak daldırma yöntemiyle, çeliğin kalay, çinko alüminyum, kadmiyum veya kurşun ile kaplanma korozyona karşı kullanılan yüzey kaplama yöntemlerinde tercih edilirler (Yanardağ, 2011). Örneğin Galvanizleme yani çinko kaplama, çelik malzemelere uygulanan bir yöntemdir. Çinko anodik, çelik ise katodik davranması sağlanarak farklı ortamlarda korozyona karşı korunması sağlanabilir. Korozyon çinko kaplamada, anot/katot oranının çok büyük olmasından dolayı hızı yavaştır (Tuna, 2013). Çeliğin ısıya ve korozyona direncini artırmak için alüminyum ile kaplanır. Metal, kendisinden daha soy karakterli (nikel ve krom gibi) bir metal ile kaplanabilmektedir. Krom kaplama, çeşitli aletlerin veya bazı makine parçalarının korozyon ve aşınma dirençlerini artırmak ve görünümünü iyileştirmek için yapılır. Krom kaplama daha çok su tesisatlarına, metal eşyalara, otomobil

parçalarına ve çeşitli aletlere uygulanır. Nikel kaplamalar ise esas olarak gümüş, altın krom ve rodyum kaplamaların altında bir tabaka oluşturmak için kullanılır. Nikel korozyona karşı dayanıklı olmasına karşın zamanla atmosferden etkilenerek matlaşır. Bakır kaplama ise özellikle çinko esaslı dökümlerde, krom ve nikel kaplamaların altına taban oluşturma amacıyla kullanılır (Yanardağ, 2011). Organik madde ve boya içeren metal olmayan kaplamalar, özellikle parça yüzeylerinin korunması ve görünümlerinin iyileştirilmesi için kullanılır. Boya, malzeme yüzeyinde koruyucu bir film oluşturur ve bu oluşan film çatlamadığı veya soyulmadığı sürece metal malzemeyi korozyondan korur. Ayrıca metalik malzemelerin içerisinde buldukları korozif ortamla reaksiyona girmeleri sonucunda yüzeylerinde oksit filmleri oluşur. Kimyasal dönüşüm kaplamaları ile elde edilen bu tür filmler de korozyondan korunma amaçlı kullanılır (Yanardağ, 2011).

#### **1.7.5. Uygun Malzeme Seçimi (Saf Metal veya Alaşım Kullanımı)**

Malzemenin zarar görmemesi bakımından çalışılan ortama dayanıklı olması önemli bir faktördür (Uyanık, 2012). Saf metaller korozyon konusunda daha dirençli malzemelerdir. Bunun sebebi malzeme yüzeyinin homojenitesinin artırılıp potansiyel fark oluşmayacağından korozyon önlenmektedir. Metallerin korozyon dirençleri birbirinden farklılık göstermektedir. Bazı metaller korozyona karşı dirençleri düşük olduğundan korozyon dirençlerini arttırmak için metallere alaşım elementleri katılır. Örneğin; bakıra, mangan ve alüminyum, paslanmaz çeliğe, molibden ve alüminyuma ise magnezyum eklenmesinin malzemelerin korozyon dirençlerini artırdığı açıktır (Yanardağ, 2011).

#### **1.7.6. Uygun Tasarım**

Uygun tasarım Malzemenin korozyon eğilimini azaltabilmektedir. Galvanik dizide birbirleriyle temas halindeki metallerin çok uzak olmaması gerekir. Teması zorunlu malzemelerin elektrik kontağı olmayacak hassasiyette yalıtılması gerekir, metal malzemelerin birbiriyle teması farklı conta kullanılarak korozyon eğilimi önlenmelidir(Yanardağ, 2011).

### 1.7.7. Pasivasyon

Pasivasyon; işlenen, soğuk şekil verilen krom parçaların paslanmaya karşı pasive edilmesidir. Demirin nötrleme işlemi yapılabilmesi için asidik ve alkali ürünler ile temasını keserek paslanmayı önlemek için uygulanan bir yöntemdir. Pasivasyon genellikle pH=2 değerinde tutulan lityum kromat banyosuna daldırma şeklinde gerçekleştirilir. Çinko kromat tabakası çinkonun anodik çözünmesi ve ardından çinko ve kromat iyonlarının reaksiyonu ile oluşan çinko kromat ile meydana gelir (Tuna, 2013).

Kaplama sonrası mat ve hoş olmayan görüntüdedir bu sebepten 5-8 ml/l HNO<sub>3</sub> (%68'lik) içeren renk açma banyosunda parlaklaştırılır. Durulama sonrası korozyon direncinin artırılması için pasivasyon yapılır ve sonra durulanıp kurutulur. Pasivasyon, genel olarak çinko, kadmiyum ve çinko alaşım kaplamalardan sonra yapılır. Ayrıca pasivasyon tabakasına şeffaf ya da renkli koruma tabakası uygulanarak korozyon mukavemeti biraz daha arttırılabilir. Pasivasyon içeriği krom veya fosfor içeren özel kimyasallardan oluşur ve işletmeden işletmeye değişir. 6 ay ile 1 yıl arasında malzemeyi beyaz pasa karşı koruyabilir. Pasivasyon parmak izini önlemek, dekoratif bir görünüm kazandırmak ve kaplamanın korozyon dayanımını arttırmak amaçlı kullanılır. Korozyon koruması, oksijenin anyon okside dönüşerek elektrokimyasal reaksiyonların engellenmesi ile sağlanır (Yaluk, 2009).

### 1.7.8. Isıl İşlem Uygulama

Segregasyon döküm parçalarında sıklıkla görülen bir sorundur. Bu sorun homojenizasyon, çözündürme veya stabilizasyon gibi ısıl işlemlerle malzeme iç yapıları homojen hale getirilerek korozyon dirençleri artırılır. Gerilmeli korozyona duyarlı olan metal ve alaşımların korozyon dirençlerini arttırmak için de soğuk şekillendirmeden sonra gerilim giderme tavlama da korozyon direncini arttırmaktadır (Yanardağ, 2011).

## **1.8. Korozyona Etki Eden Parametreler**

### **1.8.1. Ortam etkisi**

Korozyona uğrama hızı malzemelerin bulunduğu ortamdaki büyük oranda etkilenmektedir. Örneğin ortamın nem miktarı, ortamın asit, baz durumu, oksijeninin veya suyun ortam tarafından geçirilebilme durumu, kaçak akımlar, bazı bakteriler korozyonu başlatıcı ve hızlandırıcı olabilmektedir.

### **1.8.2. Sıcaklık Etkisi**

İyon hareketi ortam sıcaklığının artmasıyla artacağından bu durum korozyon hızını artırır. Oksijen konsantrasyonu sıcaklığın artmasıyla azalır dolayısıyla korozyon hızı da oksijen konsantrasyonunun düşmesiyle düşer.

### **1.8.3. Malzeme Etkisi**

Potansiyel farkı bulunan metallerin bir arada kullanılması korozyona sebep olan özelliklerden biridir. Korozyonu başlatıcı ve hızlandırıcı bir etkisinin olduğu bilinmektedir.

### **1.8.4. Taneler Arası Özellik Farkları**

Metallerin tane boyutları farklılığı ve tane konsantrasyon farkları sonucunda iki tanenin sınırı arttırdığından korozyon başlangıcı oluşumunu etkilemektedir.

### **1.8.5. Sistem Dizaynı**

Metallerin bulunduğu sistemlerde korozyon ortama oluşturmayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. İstifleme sırasında sıvı birikimini engelleyecek şekilde aralıklı tasarımı yapılmalıdır.



### **1.8.6. Ortamın Oksijen Konsantrasyonu**

Hava her yerde aynı konsantrasyonda olmayabilir. Yan yana duran malzemeler bir bölgede anot iken diğer bir bölgede katot görevi görerek elektrokimyasal korozyona sebep olabilir.

### **1.8.7. Elektriksel Özgül Direnç**

Elektriksel özgül direnci düşük ortamlarda iletkenliğin yüksektir. Bu sebepten dolayı aktif iyonik ortam oluşmaktadır. Aktif iyonik ortam korozyon mekanizmasını hızlandırmaktadır (Küstü, 2008).

## **1.9.Korozyon Hızının İncelenmesi ve Ölçüm Yöntemleri**

Farklı tekniklerin kullanılması ile izlenebilen korozyon hızı ilk kez ağırlık kaybının hesaplanması ile ortaya konulmuştur. Korozyon hızını belirlemede kullanılacak metal, korozyonun meydana geleceği şartlarda bekletilmesinin ardından oluşacak ağırlık kaybı hesaplanır (Saklakoğlu, 2009). Korozyon hızının incelenmesinde ağırlık kaybı yönteminin yanı sıra, Galvanostatik, Potansiyostatik ve Potansiyodinamik yöntemlerde kullanılmaktadır (Kılınç, 2001).

### **1.9.1. Galvanostatik Yöntem**

Galvanostatik yöntem 2 ve 3 elektrotlu uygulamaya sahiptir. Bunlardan 2 elektrotlu uygulamada çalışma elektrotu olarak 2 tane çalışma elektrotu kullanılırken, 3 elektrotlu yöntemde ise çalışma yardımcı ve referans olmak üzere 3 tane çalışma elektrotu kullanılır. Ölçümün yapılacağı elektroda inert bir elektrot yardımıyla anodik ya da katodik yönde dış akımın uygulanması yapılır ve elektrotun potansiyeli bir süre akım altında bekletilerek referans elektroda karşı ölçüldü. Ardından akım yoğunluğunun değiştirilmesi ile elektrot potansiyeli ölçülür (Cardinale, 2017).

### **1.9.2. Potansiyostatik Yöntem**

Polarizasyon eğrilerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. Potansiyostat yardımıyla elektrot potansiyeli belirli bir değerde tutularak akım

ölçülür. Kullanılan elektrot ve yardımcı elektrot arasındaki akım ölçümü yapılır. Potansiyostat akım verip metal potansiyelini sabit tutar. Akım yönü ve miktar ölçümü yapılarak polarizasyon eğrileri oluşur ve anodik ve katodik olarak elektrot incelenerek korozyon hız ölçümü yapılır. Potansiyostatik uygulama 3 şekilde yapılır (Kılınç, 2001).

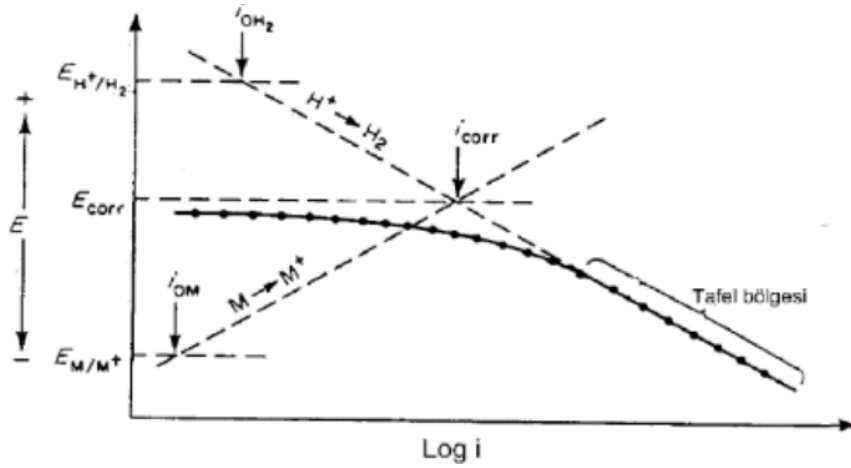
- 1) Hızlı bir şekilde tarama yapıldığından potansiyel eğri elde edilirken elektrokimyasal denge kurulumu gerçekleştirilemez.
- 2) Potansiyel basamaklarında az bir süre beklenir ve elektrokimyasal denge belirli bir yere kadar kurulur.
- 3) Akım sabit oluncaya kadar beklenir. Uygulama yapılan potansiyelde gerekli bekleme yapıldığından elektrokimyasal denge tam anlamıyla kurulmuş olur.

Korozyon hızının ortaya konulmasında potansiyel kuramı 4 yöntem kullanılarak oluşturulur (Kılınç, 2001).

- 1.) Tafelekstrapolasyon yöntemi
- 2.) Katodik polarizasyon eğrisinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu yöntemi
- 3.) Çizgisel polarizasyon yöntemi ya da polarizasyon direnci yöntemi
- 4.) Elektrokimyasal impedans spektroskopisi

#### **1.9.2.1. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi**

Korozyon akımının 10 katını aşan dış akımın uygulanması ile polarizasyon eğrilerinde kırılma oluşur ve böylelikle  $E - \log i$  arasında lineer bir alan meydana gelir. Bu bölge 'Tafel bölgesi' olarak adlandırılırken, doğrunun eğimi 'Tafel eğimi' olarak isimlendirilir. Bu lineer doğrunun kesim yaptığı yer korozyon akım yoğunluğunun olduğu kısmı gösterir. Tafel Korozyon hızının Tafelekstrapolasyon yöntemi ile ortaya konulması Şekil 2.9'da verilmiştir (ASM Metals Handbook, 2003).



**Şekil 1.9.** Tafel Korozyon hızının Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile ortaya konulması.

Korozyon akım yoğunluğu, hızı ve polarizasyon direncini ortaya konulmasında aşağıdaki denklemlerden yararlanır.  $i_{kor}$ : korozyon akım yoğunluğunu denklemler 1.1’de  $\beta_{anot}$  ve  $\beta_{katot}$ : Tafel katsayılarını,  $R_p$  polarizasyon direnci denklemler 1.2’de,  $R_{kor}$ : korozyon hızı denklemler 1.3’de, EW: ekvivalent ağırlık denklemler 1.4’de verilmiştir.

$$i_{kor} = \beta_a \cdot \beta_k / [2,303 \cdot (\beta_a + \beta_k) \cdot R_p] \quad (1.1)$$

$$R_p = E_{kor} / i \quad (1.2)$$

$$R_{kor} = [i_{kor} \cdot K \cdot E \cdot W] / d \text{ veya } R_{kor} = [I_{kor} \cdot K \cdot E \cdot W] / d \cdot A \quad (1.3)$$

$$EW = 1 / \sum[(f_i \cdot n_i) / M] \quad (1.4)$$

Burada;

d: yoğunluk, A: alan, K: sabit katsayı,  $f_i$ : her bir elementin oranı,  $n_i$ : her bir elementin valans değeri ve M: her bir elementin atom ağırlığı olarak isimlendirilir. (ASM Metals Handbook, 2003).

### 1.9.2.2. Korozyon Potansiyeline Katodik Polarizasyon Eğrisinin Ekstrapolasyonu Yöntemi

Katodik polarizasyon eğrisinin ekstrapolasyonu yönteminde katodik bölge için potansiyel eğri oluşur. Ölçüm daha kolay yapıldığından bu eğri tercih edilir. Korozyon hızının ölçülmesinde katodik polarizasyon eğrilerinden yararlanması

1955 yılında Stern tarafından önerilmiştir. Bu eğri yardımı ile korozyon hızı ölçülür (Küstü, 2008).

Potansiyostatik yöntem kullanılarak Pt gibi bir metal elektrot aracılığı ile deneyde kullanılacak olan elektroda akım verilir ve akım ampermetre kullanılarak ölçülür. Kullanılan karşılaştırma elektrotuna karşı metal örneğinin ölçüm yapılan potansiyeli korozyon potansiyeli E<sub>kor</sub> olarak tanımlanır. Gerçek uygulamalarda akım yoğunluğu katodik akıma yakındır. Korozyon potansiyelinden 50 mv aktif potansiyel sonrasında yarı logaritmik olan çizimlerde doğrusal olur (Küstü, 2008). Çok az miktardaki korozyon hızı ve sistemin hızı ortaya koyularak istenildiğinde denetleme yapılabilir. Sonuçlar kısa bir zaman içinde alınır ve duyarlılığı yüksektir ancak uygulanması konusunda kısıtlamalar vardır. Netlik kazanması bakımından Tafel bölgesi minimum 10 kat akım yoğunluğunun olduğu bölgeye uzanmalıdır (Küstü, 2008).

### 1.9.2.3. Polarizasyon Direnci Yöntemi

Bu uygulamadan yararlanıldığında metal yüzeyi oldukça zarar görmektedir ve bu sebeple büyük tesislerde kullanımı sakıncalıdır. Potansiyel eğriler çizilirken büyük bir akıma maruz kalacaktır. Korozyon akımı ile Korozyon potansiyelinin başlangıcı itibariyle ±10mV aralığın eğimi aşağıda verilmiştir.

Bağlantılarda verilen,  $\Delta E/\Delta i$ , bu doğrunun eğimi denklem 1.5'te, B anodik (ba) ve katodik (bc) Tafel sabitleri Rp 1.6'da, polarizasyon direnci (Rp) denklem 1.7'de gösterilmiştir.

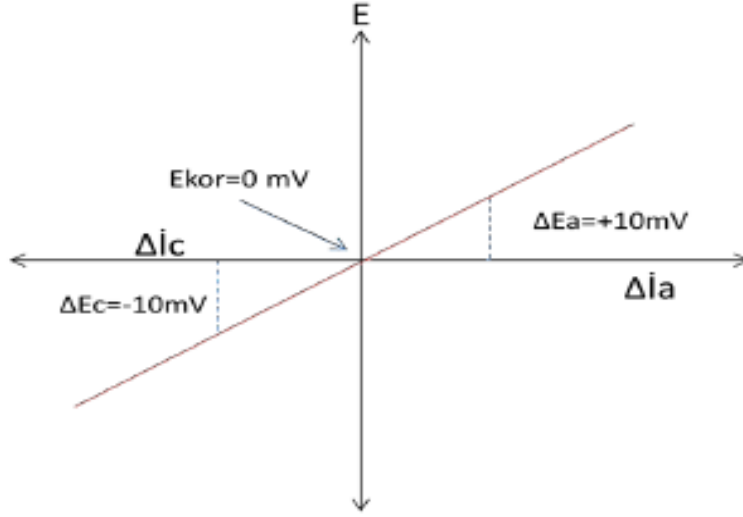
$$\frac{\Delta E}{\Delta i} = \frac{1}{i_{kor}} \frac{(ba \cdot bc)}{2,303(ba+bc)} \quad (1.5)$$

$$B = \left[ \frac{(ba \cdot bc)}{2,303(ba+bc)} \right] \quad (1.6)$$

$$Rp = \frac{1}{i_{kor}} B \quad (1.7)$$

$$i_{kor} = B \cdot Rp^{-1} \quad (1.8)$$

Burada,  $\Delta i$  veya  $\Delta E$  farkı, korozyon potansiyelinin ardından uygulanan akım ve potansiyel değişimleri olarak ifade edilir. (Erbil M (1985) Korozyon 1, Segem, Ankara, pp. 1-248), (Erbil M (2012). Korozyon potansiyeli yakınlarında polarizasyon direncini belirlemek için çizilen eğri Şekil 1.10'da verilmiştir.



**Şekil 1.10:** Akım potansiyel eğrisi. (Gürten, 2014).

Polarizasyon direnci ile ilgili ortaya konulan çalışmalar korozyon ile mücadelede diğer yöntemlerden daha avantajlı olduğunu ortaya koymakla beraber uygulama şeklinin kolay olması, uygun olması, çok az miktardaki korozyon hızını ölçebilmesi ve bunu kısa sürede gerçekleştirmesi diğer avantajları olarak sıralanabilir (Küstü, 2008).

#### 1.9.2.4. Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi

Elektrokimyasal impedans spektroskopisi koroz hızını ölçmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Temelde bu yöntem metal/ çözelti ara yüzeyinde meydana gelen çift tabakanın alternatif akım yardımıyla impedansının ölçülmesi esasına dayanır. Polarizasyon direnci ‘elektronik eşdeğer devre ‘oluşturularak polarizasyon direnci ortaya konulmak için çalışılmıştır. Polarizasyon direnci Stern-Geary eşitliği yardımıyla hesaplanır. Elektrolit/çözelti ara yüzeyi AC impedans diyagramı yardımı ile ortaya konulur (Önre ve Arık, 2015).

#### 1.10. Literatür Araştırması

Erbil, M., (1971); yaptığı çalışmada alüminyumdan üretilmiş kaplardan süt ve yoğurt saklanması sonucu bu ortamdaki korozyon esas alınmış ve sonraki gerçekleştirilecek çalışmalar için farklı derişimlerde laktik asit ile, içinde süt ve yoğurtta bulunan

iyonların belirli kısmını içeren iyon ortamları oluşturulmuş ve Alüminyum metalinin bu ortamlarda korozyon hızı tayin edilmiştir.

Erbil ve Üneri, (1974); yaptıkları çalışmada kütle kaybı ve lineer polarizasyon yöntemlerini kullanarak sodyum nitrat ve sodyum sitrat karışımında çeşitli pH'lar da laktik asit bulunduran çözeltilerde alüminyum levhalarının korozyon hızı tespit edilmiştir. Erbil, (1975a); Alüminyumun değişik çözeltilerdeki korozyonunu akım potansiyel eğrileri yardımı belirlenmiştir. Alüminyum metalinin yüzeyde oluşan oksidin  $H_2SO_4$  ile hazırlanan çözeltide kolaylıkla çözüldüğü tespit edilmiştir.

Erbil, (1975b); alüminyumun bazı besinlerin etkileşimi sonucu meydana gelen korozyonu tespit edebilmek için besinlerde bulunan ve korozyona neden olan ( $Cl^-$  gibi), kompleks yapma özelliğine sahip (sitrat, latat gibi) ve nötr ( $SO_4^{2-}$  gibi) iyonları bulunduran çözeltiler hazırlanarak akım-potansiyel eğrileri oluşturularak korozyon potansiyelinin zamanla değişimi incelenmiştir.

B.Davo' ve J.J. de Damborenea (2004), yaptıkları çalışmada Al-Li-Cu 8090T-8171 alaşımın %3,56 NaCl çözeltisi kullanılarak bölgesel korozyon oluşumunu  $CeCl_3$  ve  $LaCl_3$  inhibitörlerini kullanarak önlemişlerdir. Korozyon yavaşlama mekanizması ve kinetiği elektrokimyasal ve yüzey karakterizasyonu yöntemi ile araştırılmıştır. Bu iki inhibitörün korozyonu yavaşlatma özellikleri konsantrasyona bağlı araştırılmıştır.

Ashassi-Sorkhabi ve arkadaşları (2005), alüminyumun korozyon tepkimesinin aktivasyon ve termodinamik parametreleri ( $E_a$ ,  $\Delta H$  ve  $\Delta S$ ) inhibitörlü ve inhibitörsüz çözeltileri değişik derişimler için hesaplamışlardır. İnhibitörlü çözeltide korozyon tepkimesinin aktivasyon enerjisinin düşük olması adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon durumunda olduğu ortaya koymuştur. İnhibitörlerin Langmuir ve Frumkin eğrilerine uygunluk göstermiştir.

Wang ve Nie, (2006), Alüminyum alaşımlarında EPO oksit oluşumuna silisyumun yapmış olduğu etkiyi incelemişlerdir. Elektrolitik olarak plazma prosesi (EPP) ile temizleme, metal kaplama, karbonlama, nitrürleme ve oksit oluşturma işlemin kullanılarak alüminyum alaşımlarda kaplama yapılarak korozyon etkileri araştırılmıştır.

A. Jagminas ve ark., (2007), gerçekleştirdikleri çalışmada içeriğinde florür bulunan çözeltilerin alüminyum levhaların yüzeyinde yoğunluğu yüksek ve lifli yapıda anodik oksit filmleri ile kaplamışlardır. Kaplanan yüzeylerin dikey kesitleri taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) incelenmiştir.

Fares ve arkadaşları (2012) gerçekleştirdikleri çalışmada, asidik çözeltide alüminyum metaline uygulanan doğa ve evre dost olan pektin doğal polimeri korozyonu önlemek için kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada deney numunesi olarak 3mm çapında 70mm uzunluğa sahip örnekler kullanılmıştır. Numune malzemesi olarak AL6061-T6 alüminyum alaşım seçilmiştir. AL6061' e ait kimyasal bileşim Tablo 2.1'de ve Tablo 2.2'de mekanik özellikler verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Al6061-T6 Kimyasal Bileşimi

Al	Fe	Si	Cr	Mn	Mg	Zn	Cu	Ti	Diğer
Kalan	0,7	0,4-0,8	0,04-0,35	0,15	0,8-1,2	0,25	0,15-0,40	0,15	0,15

**Tablo 2.2.** Al6061-T6 alaşımının mekanik özellikleri verilmiştir.

Temper	Akma Mukavemeti (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik (Brinel) min-max
T6	240-270	260-310	20	95

Deneyle sırasında kullanılan malzemelerin temizlenmesinde teknik aseton ve etanol, elektrotların temizlenmesi için teknik etanol, HNO<sub>3</sub> Pt elektrotun kimyasal olarak temizlenmesinde ise HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O (1:1, v/v) kullanılmıştır. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ise Pt elektrotun elektrokimyasal olarak temizlendiğinin kontrol edilmesinde kullanılmıştır. Bu kimyasallar MERCK firmasından temin edilmiştir. Kullanılan tüm elektrotların ölçüm yapılmayan kısımlarının kaplanmasında polyester reçine kullanılmıştır ve TİLA KOMPOZİT firmasından temin edilmiştir. Elektrot ve diğer malzemelerin temizlenmesinde distile su, referans elektrotun iç çözeltisinin (3M KCl) hazırlanmasında çözücü olarak ultra saf su kullanılmıştır.



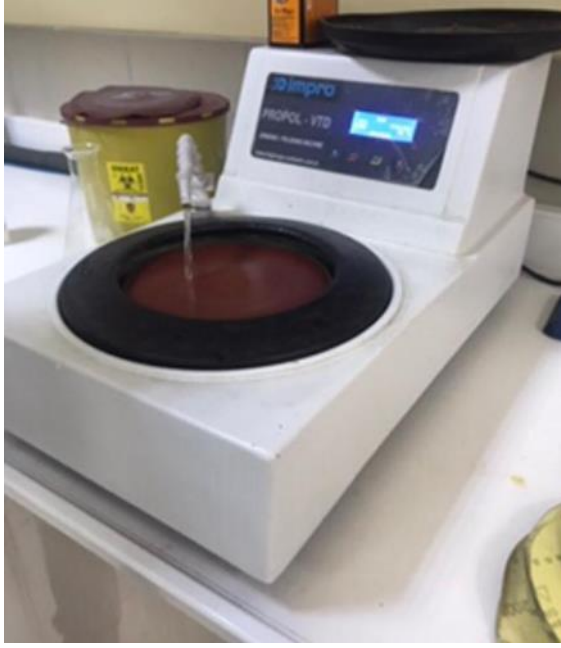
Deneyleerde Balıkesir Burhaniye' den alınan orijinal deniz suyu kullanılmıştır. Al'nin korozyon dayanımını test etmek için kaplama olarak kullanılan boyaların içeriği Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.3:** Korozif ortam olarak kullanılan boyaların içeriği

SIRA	HAMMADDE ADI	Altın rengi %	Gümüş rengi %
1	Strenly Alkyd 65%	70	70
2	Texhapour 0,2	0,2	0,2
3	Bentone % 33	0,2	0,2
4	Toluen 25	25,5	25
5	Au Color Nonlifing Paste	3,5	-
6	Al Color Nonlifing Pasta	-	4
7	Kurutucu KOBALT %6 NAF	0,4	0,4
8	Anti Kabuklanma MEKO	0,2	0,2

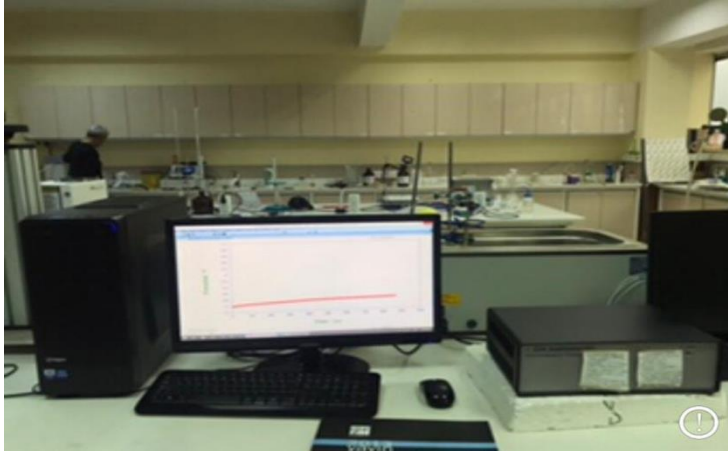
Gümüş/Gümüş Klorür Elektrot ( $Ag/AgCl$ , 3 M  $KCl$ ) elektrokimyasal ölçümlerde referans elektrot olarak kullanılmıştır. Platin Elektrot, 10mmx10mmx0,1mm boyutlarında platin levha karşıt elektrot olarak kullanılmıştır. Toplam yüzey alanı  $2cm^2$  dir. Platin levhanın sadece dışarıda kalacak şekilde bağlantı kablosu poliester ile kaplanmıştır. Al, Altın rengi boya kaplı Al, Gümüş rengi boya kaplı Al, Altın rengi boya darbeli Al, Gümüş rengi boya darbeli Al sadece test çözeltisi ile temas eden delinmemiş diğer ucu açıkta kalacak şekilde bütün yüzeyleri poliester ile kaplanmıştır. Al elektrotların yüzeylerinin kurutulmasında azot gazı kullanılmıştır.

Distile/ultra saf su üretmek amacı ile distile/ultra su cihazı (GFL 2004/Human PowerI) kullanılmışlardır. Çalışma elektrotlarının kurutulmasında etüv (nüve) ise kullanılmıştır. Elektrotların yüzeylerinin parlatılmasında Şekil 2.1'de görülen mekanik parlatıcı (Imro Propol-VTD) kullanılmıştır.



**Şekil 2.1.** Parlatma cihazı.

Al elektrotlar parlatıldıktan sonra yüzeyindeki zımpara ve metal parçacıkların uzaklaştırılması ve temizlenmesi için ultrasonik banyo (Elma S60H Elmasonic) kullanılmıştır. Elektrokimyasal ölçümlerde potansiyostat-galvanostat (CHI 6096E) kullanılmıştır (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2.** Elektrokimyasal ölçümlerde kullanılan Potansiyostat-Galvanostat (CHI 6096E).

Elektrotların yüzeylerinin incelenmesinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) (JEOL 6510) (Şekil 2.3) kullanılmıştır. Korozif ortam ile muamele edilmiş Al

elektrotların yüzeylerinin elementel analizlerinde enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi (EDX) (JEOL 6510) kullanılmıştır.



**Şekil 2.3.** Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-Işını spektroskopisi (EDX) (JEOL 6510)

Al elektrotların kesilmesi için metal testere kullanılmıştır. Al elektrotların yüzeylerinin parlatılmasında zımpara kâğıtları (320-1200) boyutlarda kullanılmıştır. Analiz 25°C’de gerçekleştirmek için su banyosu kullanılmıştır (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4.** Deney düzeneğinin bulunduğu su banyosu ortamı

Deneylerin tümünde korozyonu ölçülen malzeme olarak 6061 T6 ısıl işlem görmüş alüminyum alaşımı kullanılmıştır. AA6061-T6 Seykoç firmasından temin edilmiştir. Boya üretiminde kullanılan malzemeler Asil Kimya Ve Boya San. Ve Tic. A.Ş firmasından temin edilmiştir. Kullanılan metalik pigmentler tabaka oluşturan formundadır. Boya üretimin de karıştırma işlemi için MTOPS MS3040D mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Boya vizkozitesi VF 2020 TQC ASTM D 1200 ford cup ile ölçülmüştür

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Boyanın yapılışı

Korozyon önleyici olarak kullanılan, altın rengi ve gümüş rengi hızlı kuruyan boyalar laboratuvar ortamında Tablo 3.3'de gösterilen içerikte üretilmiştir. Kuruma süreleri ise  $35 \pm 5$  dakika olarak belirlenmiştir. Üretilen boyaların vizkozitesi  $75 \pm 5$ sn olarak belirlenmiştir.

### 2.2.2. Çözeltilerin Hazırlanması

Korozyon deneyleri deniz suyunda gerçekleştirilmiştir. Deniz suyu kullanılmadan önce basit süzgeç kâğıdından süzölmüş ve saflaştırılmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Deniz suyunun süzölməsi

### 2.2.3. Çalışma Elektrotlarının Hazırlanması

Tüm 6061-T6 Al numuneleri 7 mm çapında ve 5 cm boyunda çubuklar halinde şekil (Şekil 2.6) deki gibi hazırlanmıştır. Hazırlanan çubuklar öncelikle düzgün bir yüzey elde etmek için korozyona tabi tutulacak kısımları iyice zımparalanmıştır. Bir ucu delinerek elektrik iletimini sağlamak için bakır bir tel geçirilmiş ve sadece test çözeltisi ile temas eden delinmemiş diğer ucu açıkta kalacak şekilde diğer bütün yüzeyleri poliester ile kaplanmıştır (Şekil 3.6). Elektrokimyasal ölçümlerden önce elektrot yüzeyi zımpara kâğıtları kullanılarak (320-1200) mekanik parlatma cihazı ile parlatılmıştır. Parlatmadan sonra elektrotların parlak yüzeyi saf su ve arkasından

mutlak etanol ile yıkanmıştır. Bu şekilde parlatma esnasında yüzeyde kalmış metal tozların uzaklaşması sağlanmıştır (Şekil 2.7).



**Şekil 2.6.** Bakır tel geçirilmiş Al elektrotlar.



**Şekil 2.7.** Numunelerin yan alanlarının polimer kaplanması

Bu işlemler hazırlanan Al, Altın boya kaplı Al, Gümüş boya kaplı Al, Altın boya darbeli Al, Gümüş boya darbeli Al olmak üzere tüm çalışma elektroları için yapılmıştır. Şekil 2.8’de görülen polyester reçine kaplı numuneler sınıflandırılarak boyama işlemine tabii tutulmuştur. Boya korozyona uğrayacak yüzeye püskürtme usulü ile “25 cm mesafeden püskürtülmüştür. Çok hızlı kuruyan bir reçine olan strenize alkyd ile yapılan boya yaklaşık 30 dakika içinde tam kuruması gerçekleştiği için kullanılabilir hale gelmiştir. Fakat kurumadan kaynaklı herhangi bir sorun oluşmaması için tüm uygulamalardan bir gün sonra numuneler kullanılmıştır. Boya

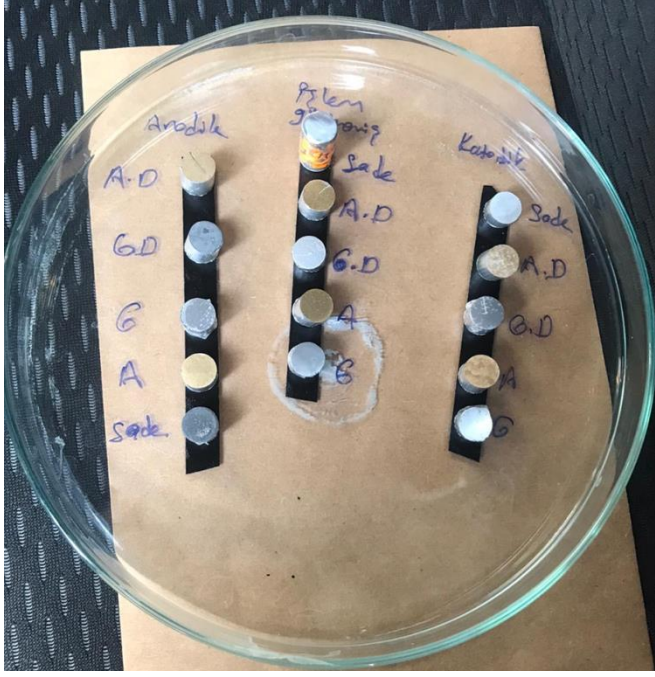
uygulanmış yüzeyler Şekil 2.8’de görülmektedir. Numuneler altın rengi boya, gümüş rengi boyalı yüzey ve boyasız temiz yüzey olmak üzere üç türlü hazırlanmıştır. Boyalı yüzeyler ise yüzeylerine Şekil 2.9’da gösterildiği gibi küçük çizikler atılarak darbeli ve darbesiz olmak üzere iki şekilde çalışılmıştır. Darbeli yüzeylerin yapılmasının nedeni su altında darbe alan boyalı yüzeylerin korozyonunu seyrini izleyebilmektir.



**Şekil 2.8.** Boyalı yüzeyler



**Şekil 2.9.** Boyanmış darbeli yüzey.



**Şekil 2.10.** Numunelerden bazı örnekler.

#### 2.2.4. Elektrokimyasal Ölçümler

Bütün korozyon deneyleri elektrokimyasal olarak 3 elektrot tekniği ile yapılmıştır. Bu amaçla Al, Al-gümüş boya, Al-altın boya, Al gümüş boya darbeli, Al altın boya darbeli çalışma elektrotları, Pt karşı elektrot ve Ag/AgCl, 3M KCl referans elektrot olarak kullanılmıştır. Ölçümler bilgisayar kontrollü CHI 660D Galvanostat cihazı ile yapılmıştır. Ölçümler atmosfere açık koşullarda yapılmış ve çözelti sıcaklığı yaklaşık 25°C' de sabit tutulmuştur.

Çalışma elektrotları çalışma test çözeltilerine daldırılmış ve açık devre potansiyelinin 1400 saniye boyunca değişimi ( $E_{ocp-t}$ ) grafiksel olarak kaydedilmiştir. Elde edilen değişimlerden korozyonun başlaması ve ilerlemesi ayrıca boyayı anodik veya katodik reaksiyonlardan hangilerini nasıl etkilediği hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır.

Açık devre potansiyeli 1400 saniyede dengeye geldikten sonra elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) ölçümleri 100 kHz ile 0.003 Hz frekans aralığında 5mV genlik uygulanarak yapılmıştır.



Lineer polarizasyon direnci (LPR) belirleme ölçümleri açık devre potansiyelinden itibaren  $\pm 10$  mV' da potansiyodinamik olarak yapılmıştır. Bu ölçümlerde tarama hızı  $1 \text{ mV s}^{-1}$ 'dir. Grafikselsel olarak elde edilen akım-potansiyel eğrilerin eğiminden polarizasyon dirençleri hesaplanmıştır. Tafelde açık devre potansiyelinden anodik ve katodik potansiyellere  $+1,8$   $-1,8$  şeklinde yapılmıştır.

### **2.2.5. Elektrot Yüzeylerinin Karakterizasyonu**

Al elektrotların deniz suyunda bekledikten sonra yüzeylerinin yapısı SEM ile incelenmiştir. Metalin yüzey bileşimi SEM cihazı ile kombine EDX cihazı ile belirlenmiştir. Elektrokimyasal ölçümlerden sonra 1 cm uzunluğunda hazırlanan elektrot kesilerek jeol marka SEM cihazının numune kısmına yerleştirilerek görüntüleri 100X, 500X, 1000X,2000X büyütme yapılarak yüzey karakterizasyonlarının belirlenebilmesi için SEM görüntüleri her numune için 3 farklı bölgeden alınmıştır.

SEM görüntüleri alınan numuneler 1000X büyütmede EDX görüntüleri her numune için 3 farklı bölgeden yüzeydeki elementlerin dağılımı ölçülmüştür.

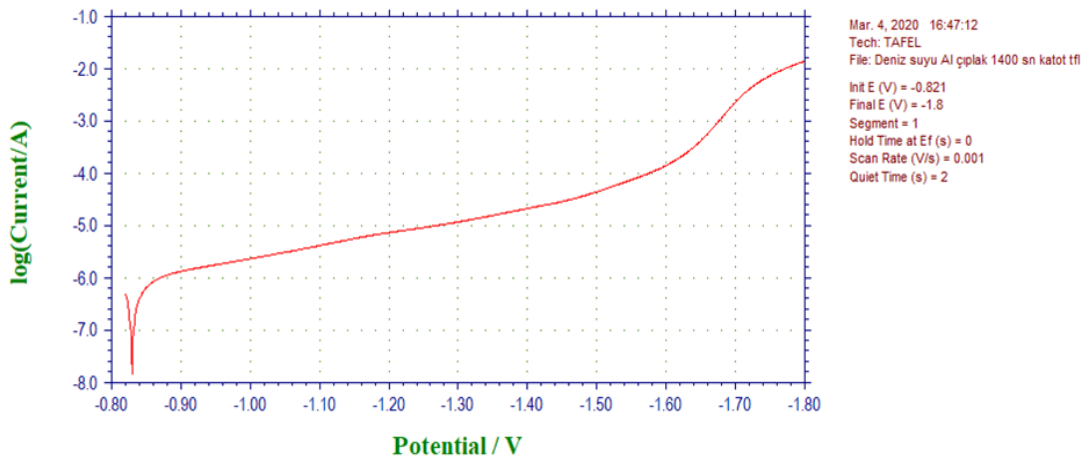
Elektrotlar SEM cihazına yatay bir şekilde yerleştirilerek boyama yapılan elektrotların tabaka kalınlıkları belirlenmiştir.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

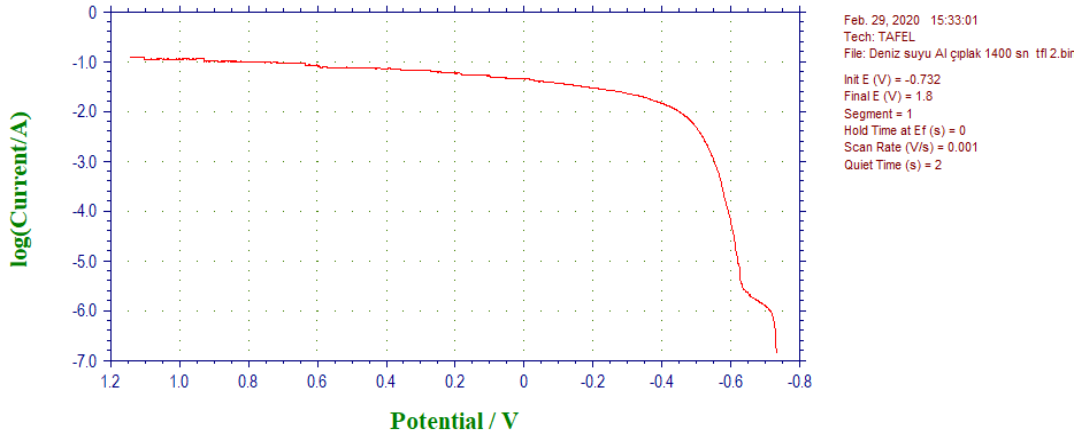
#### 3.1. Tafel Eğrileri Akım Potansiyel Diyagramları

Uygulanan dış akım, korozyon akımının yaklaşık olarak on katını aştığında polarizasyon eğrileri bir kırılma gösterir. Bu kırılma noktasından sonra polarizasyon eğrisinde lineer bir bölge başlar. Bu bölgeye “Tafel bölgesi” ve bu doğrunun eğimine de “Tafel eğimi” denir. Çalışma elektrotunun potansiyeli, çevrenin oksitleyici (yükseltgeyici) gücünü yansıtırken, akım yoğunluğuda, korozyon hızının ölçüsünü verir. Korozyon direncini doğrulamak için impedans ölçümleri kullanılmaktadır. Akım potansiyel eğrilerinden elde edilen  $I_{kor}$  ve  $E_{kor}$  yüzeyin korozyonu için gerekli olan akım ve potansiyeli göstermektedir.

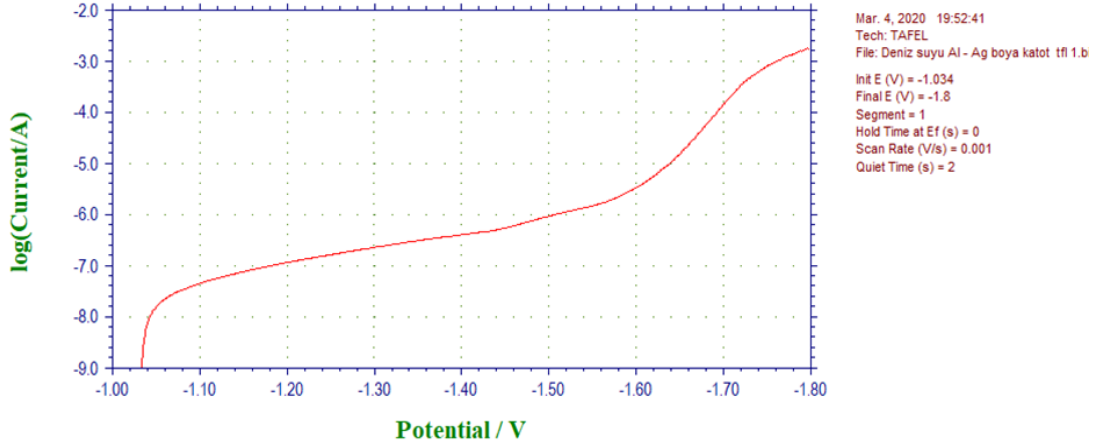
Çalışmada ilk olarak AA6061-T6 ısıtılmış alüminyum alaşımının kaplamasız olarak korozyonu incelenmiştir. Bunu takiben gümüş rengi boya kaplı ve altın rengi boya kaplı hallerinin korozyon davranışları ile bunların darbeli hallerinin korozyon davranışlarına bakılmıştır. Deneyler deniz suyu oda sıcaklığında 1400sn dengeye ulaşma anına kadar, 2000 tarama hızında farklı AA6061-T6 malzemesinin farklı yüzey durumları için gerçekleştirilmiştir.



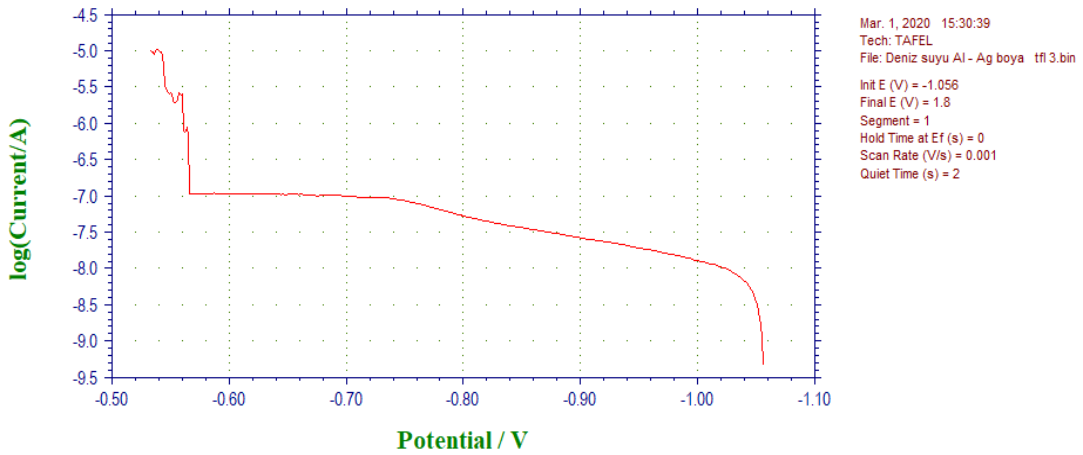
Şekil 3.1. Çıplak AA6061-T6' nın katodik akım potansiyel eğrisi



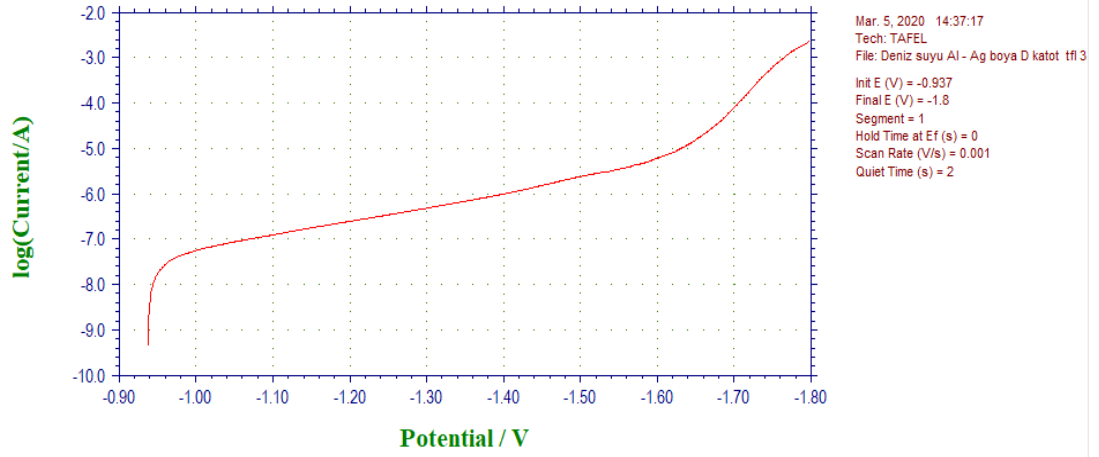
Şekil 3.2. Çıplak AA6061-T6'nın anodik akım potansiyel eğrisi



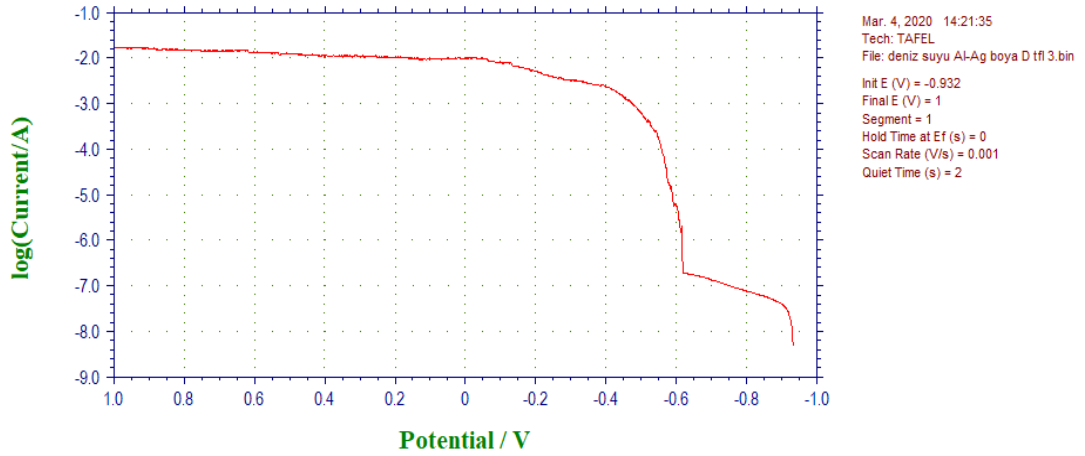
Şekil 3.3. Gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6'nın katodik akım potansiyel eğrisi



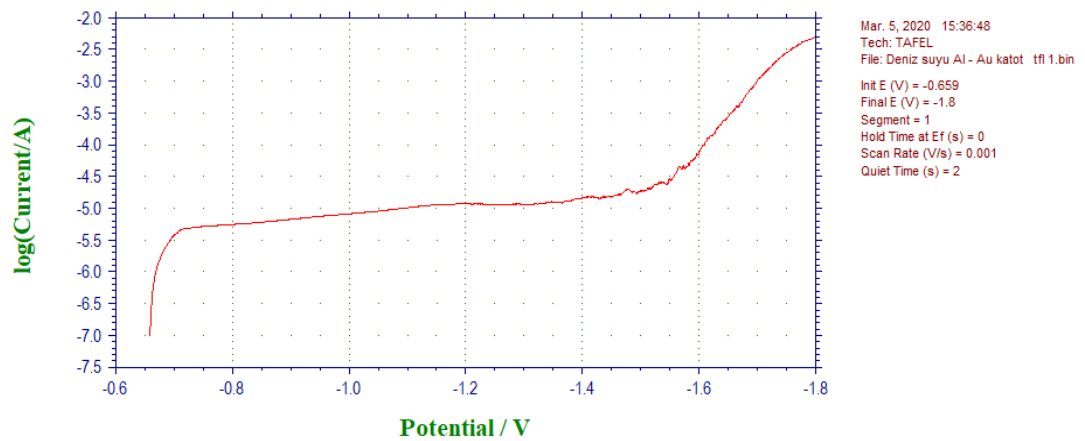
Şekil 3.4. Gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6'nın anodik akım potansiyel eğrisi.



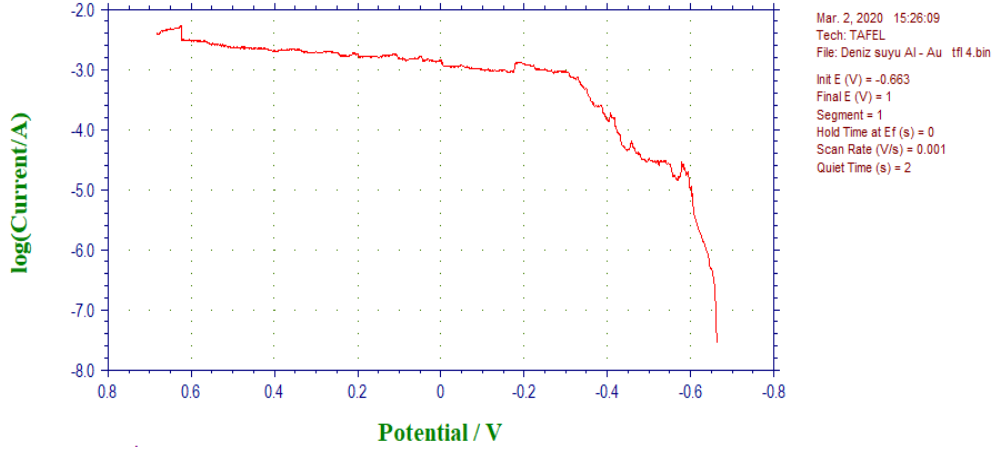
Şekil 3.5. Gümüş rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın katodik akım potansiyel eğrisi



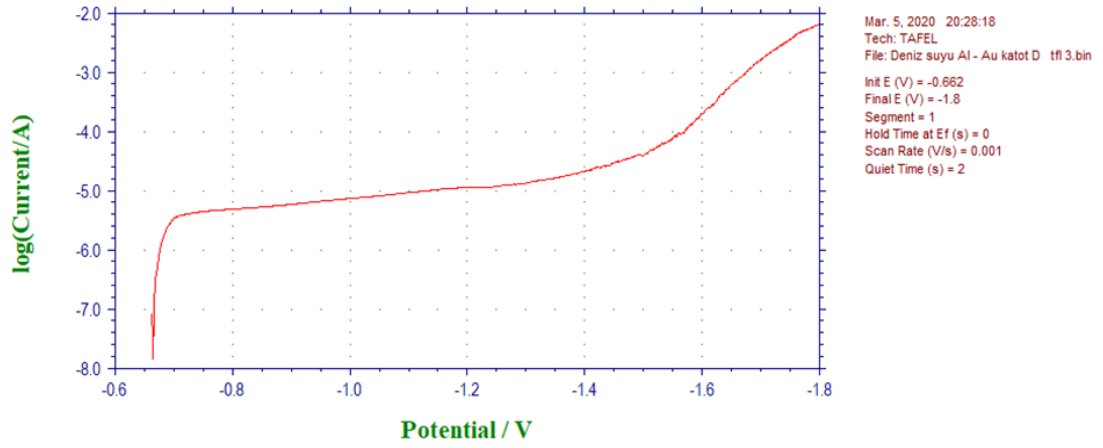
Şekil 3.6. Gümüş rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın anodik akım potansiyel eğrisi.



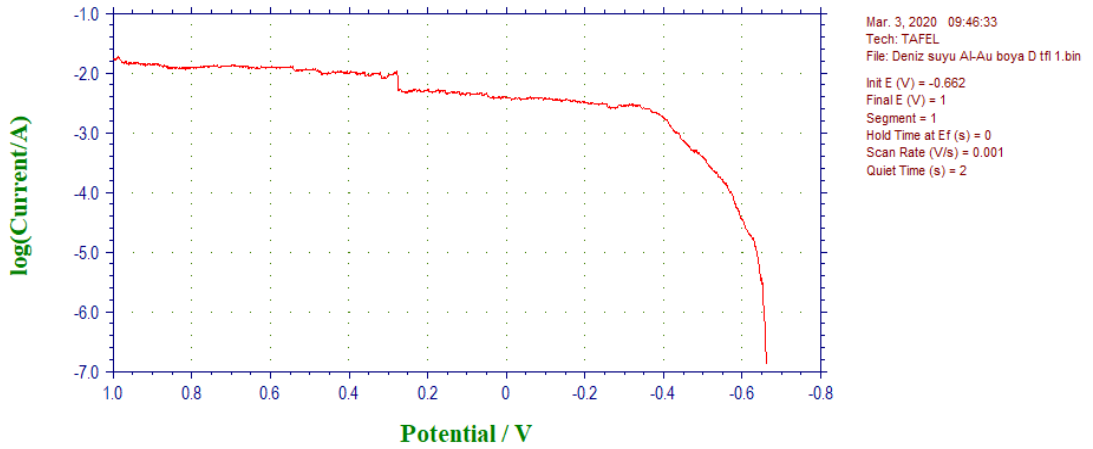
Şekil 3.7. Altın rengi boya kaplı AA6061-T6'nın katodik akım potansiyel eğrisi



Şekil 3.8. Altın rengi boya kaplı AA6061-T6'nın anodik akım potansiyel eğrisi.



Şekil 3.9. Altın rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın katodik akım potansiyel eğrisi



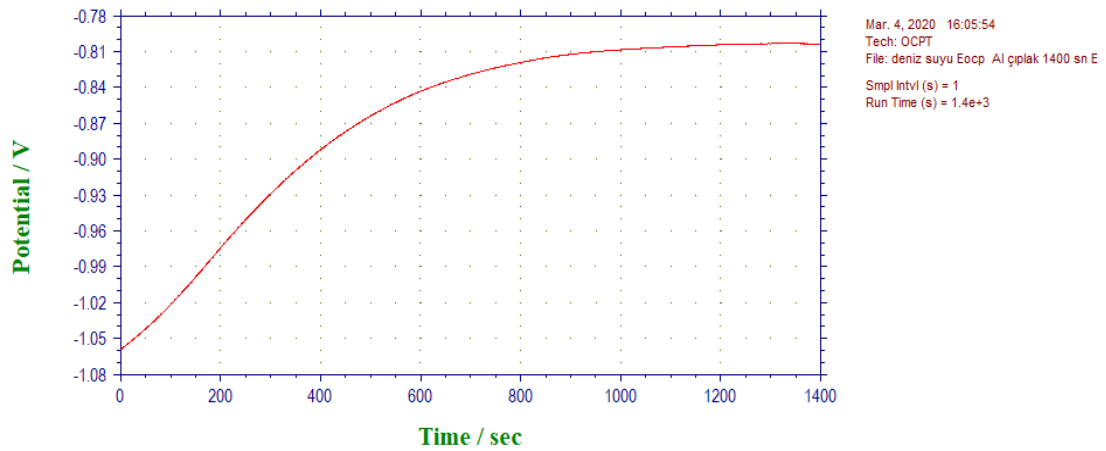
Şekil 3.10. Altın rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın anodik akım potansiyel eğrisi

**Tablo 3.1.** AA6061-T6 Al alaşımının çıplak, boyalı ve boyalı darbeli hallerinin Ekor değerleri

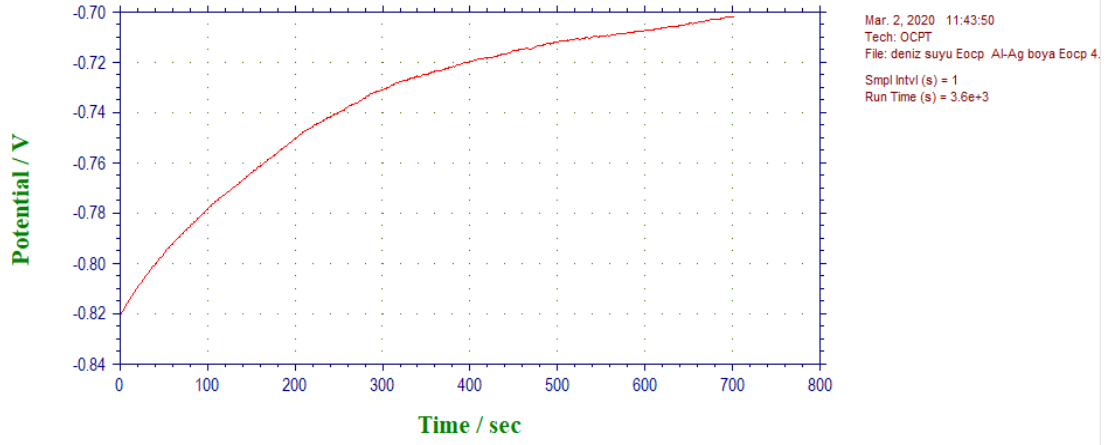
Malzeme yüzeyi	Ekor (V)	Rp(ohm)
AA6061-T6 Al ıplak	-1,0479	15686,03
AA6061-T6 Al – gümüş rengi boya kaplama	-0,72912	18582,18
AA6061-T6 Al – gümüş rengi boya kaplama darbeli	-0,93892	295857,8
AA6061-T6 Al – altın rengi boya kaplama	-0,66244	31372,55
AA6061-T6 Al – altın rengi boya kaplama darbeli	-0,6632	19676,71

şekil 3.1-3.10 dahil olmak üzere tüm şekiller incelenip Ekor ve Rp değerleri hesaplandığında tablo 4.1’deki veriler elde edilmiştir. Tablo 4.1 incelendiğinde boya kaplamalı AA6061-T6 Al alaşımının Ekor değerinin ıplak AA6061-T6 Al alaşımının Ekor değerinden her durumda daha yüksek değerler verdiği görülmektedir. Darbeli olanların ise darbesiz boyalara oranla Ekor değerlerinin daha yüksek olduğu zlenmektedir. Aslında tafel diyagramları incelendiğinde korozyonu önlemek için en uygun kaplama türünün alaşımın altın rengi boya ile kaplamalı halinin olduğu söylenebilir fakat tafel diyagramları bu tür kesin söylemler için yeterli değildir.

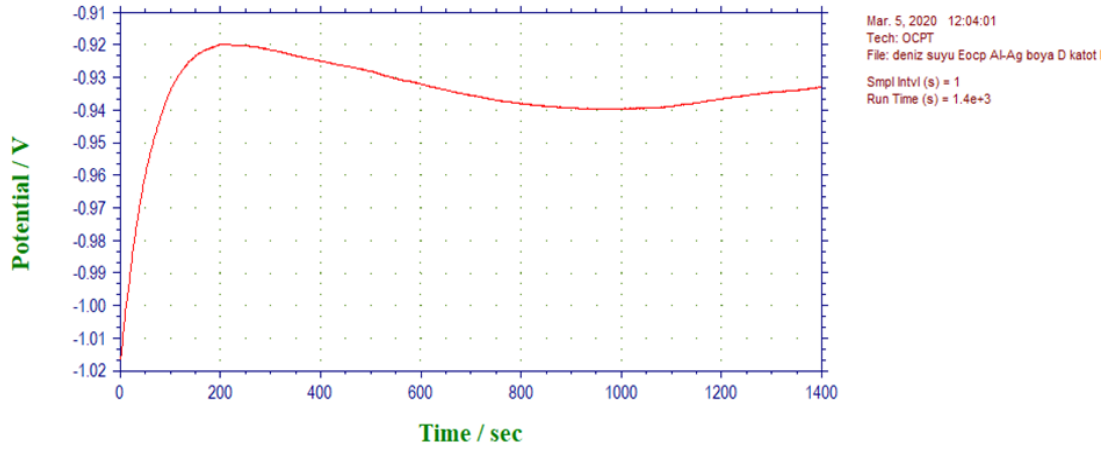
EOCP’ler (açık devre potansiyeli) Açık devre potansiyeli devreden hiç akım geçmezken ölçülen potansiyel değeridir.



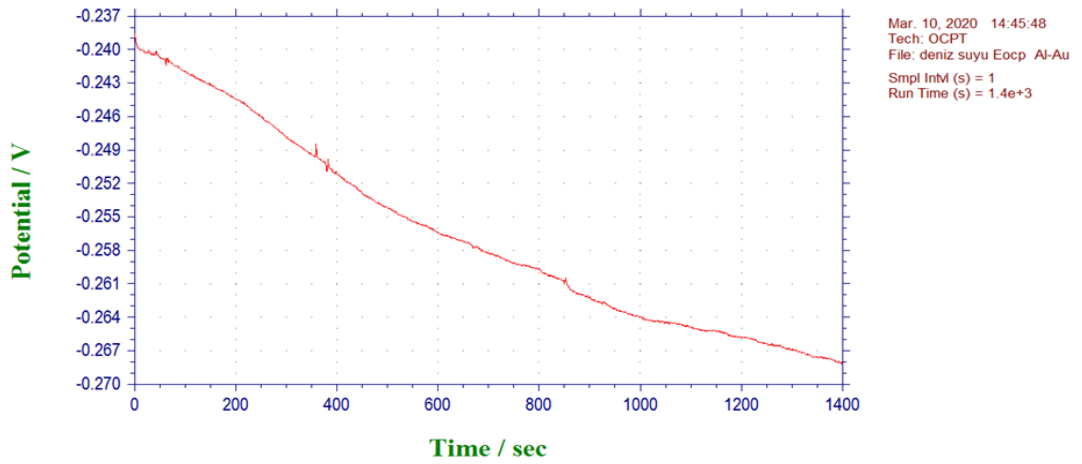
**şekil 3.11.** ıplak AA6061-T6’nın 1400 sn’lik akım zaman grafiği



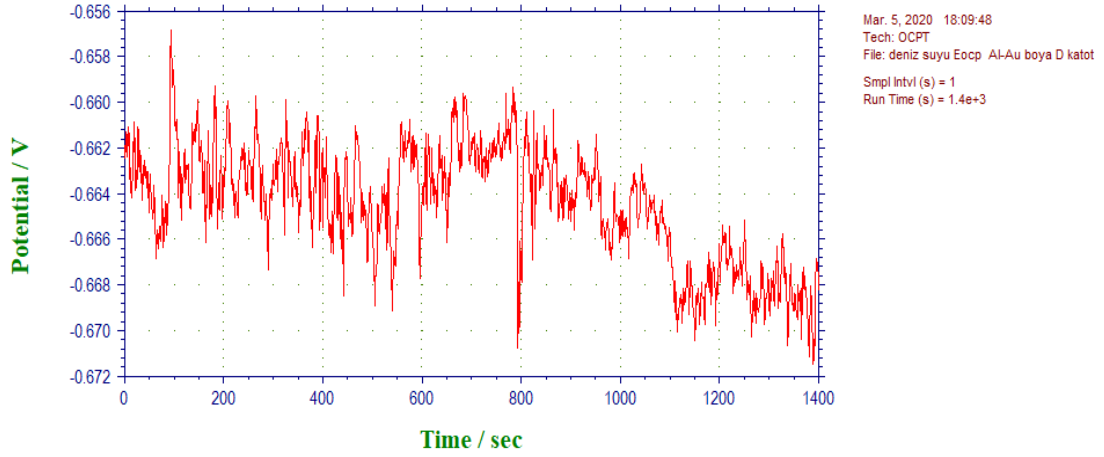
Şekil 3.12. Gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6'nin 800 sn'lik akım zaman grafiği



Şekil 3.13. Gümüş rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nin 800 sn'lik akım zaman grafiği



Şekil 3.14. Altın rengi boya kaplı AA6061-T6'nin 1400 sn'lik akım zaman grafiği



**Şekil 3.15.** Altın rengi boya kaplı ve darbeli AA6061-T6'nın 400 sn' lik akım zaman grafiği

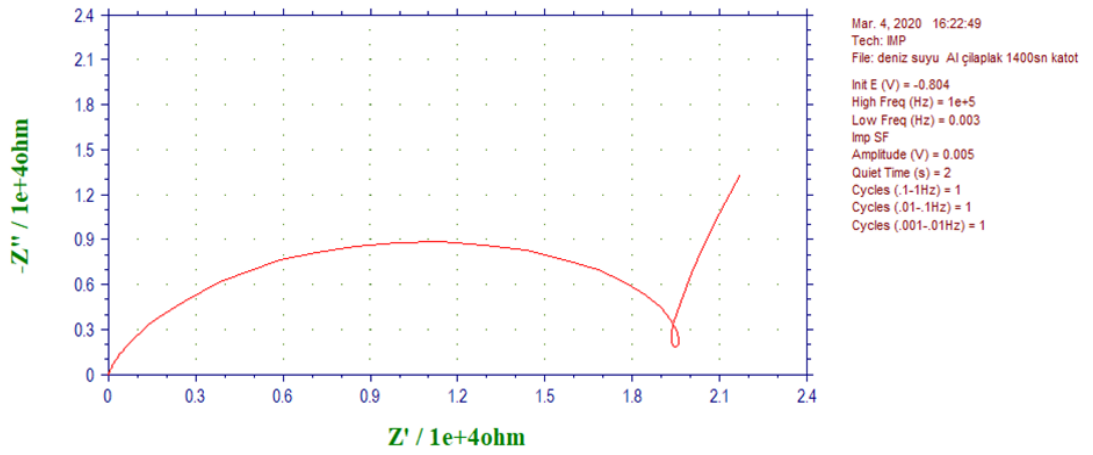
Açık devre potansiyeli devreden hiç akım geçmezken ölçülen potansiyel değeridir. Şekil 3.11' de çıplak AA6061-T6 Al alaşımının -0,81 volt ve 1200 dakikada sabitlendiği ve en uygun şartların elde edildiği görülmüştür. Şekil 3.12' de gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6 Al alaşımının -0,71 volt ve 700sn sabitlendiği tespit edilmiş ve en uygun şartlar elde edilmiştir. Şekil 3.13' de gümüş rengi boya kaplı darbeli AA6061-T6 Al alaşımının -0,945 volt ve 1390 sn sabitlendiği ve optimum değerlerin elde edildiği tespit edilmiştir. Şekil 3.14 altın rengi boya kaplı AA6061-T6 Al alaşımının düzgün bir grafik vermediği ve bunun yanı sıra sabit bir değer elde edilmediği görülmüştür. 1400 dakika sonra potansiyelin -0,267 volt 1400 sn ulaşılan en uygun değerdir. Şekil 3.15 altın rengi boya kaplı ve darbeli AA6061-T6 Al alaşımının düzgün bir grafik vermediği ve bunun yanı sıra sabit bir değer elde edilmediği görülmüştür. 1400 dakika sonra potansiyelin -0,0668 ile -0,675 arasında gidip geldiği ve dengeye ulaşmadığı tespit edilmiştir.

### 3.2. Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi Sonuçları (1400 Sn Nyquist Eğrileri)

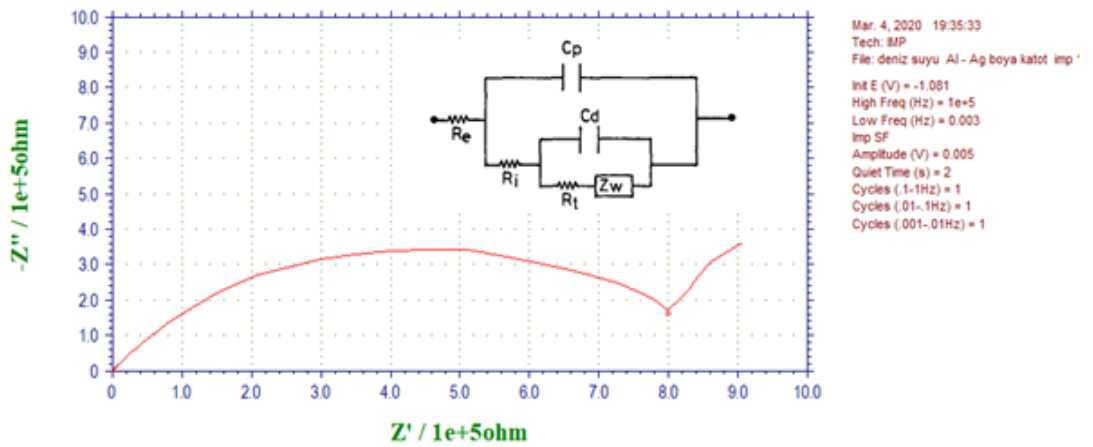
Elektrokimyasal impedans spektrometresi yöntemi korozyon araştırmalarında en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Çözelti metal ara yüzünde meydana gelen elektrokimyasal olayların anlaşılmasında çok sık kullanılır. Bu yöntemde korozyona uğrayacak metale akım verilir ve metalin uygulanan akım karşısında verdiği tepki



değerlendirilir. En avantajlı yönü akım uygulanmadığında polarize olmayan yani bozunmayan yüzey, akım uygulandıktan sonra işlem sırasında bozunmaya başlamasıdır. Elektrokimyasal impedans spektroskopisinde çalışma elektrotuna uygulanan alternatif akım veya gerilim metal ile temas eden çözelti arasındaki yapıyı büyük ölçüde değiştirmedikten önce belirli zaman aralıklarında yapılacak ölçümlerde büyük avantajlar sağlamaktadır ve diğer yöntemlere göre daha güvenilir veriler alınmaktadır. Bu yöntemde polarizasyon direnci metal ile çözelti ara yüzeyinde oluşan tüm dirençlerin toplamı olarak hesaplanabilmektedir. Ayrıca yüzeye uygulanan boya veya daha farklı kaplamaların korozif iyonların yüzeyde korozyonuna karşı gösterilen direnç ile ilgili önemli ilgiler vermektedir (Erbil 1987; 1988; 2002).



**Şekil 3.16.** Çıplak AA6061-T6'nın 1400 sn'lik Nyquist eğrisi



**Şekil 3.17.** Gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6'nın 1400 sn'lik Nyquist eğrisi

Şekil üzerinde metal boya sisteminin impedans verilerini yorumlamak için eşdeğer devre görülmektedir.

Burada:

Cd: metal çift katmanlı kapasite

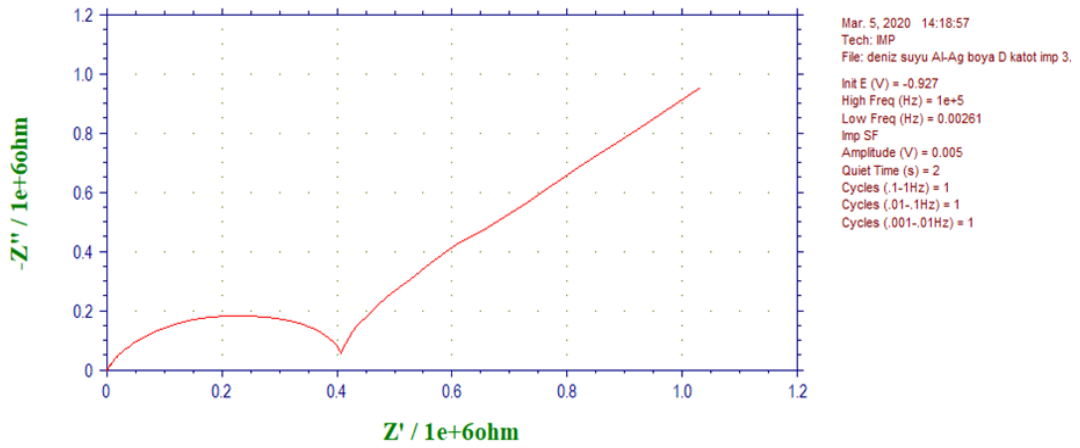
Cp: boya filmi kapasitesi

Re: referans elektrot ve çalışma elektrotu arasındaki elektrot direnci

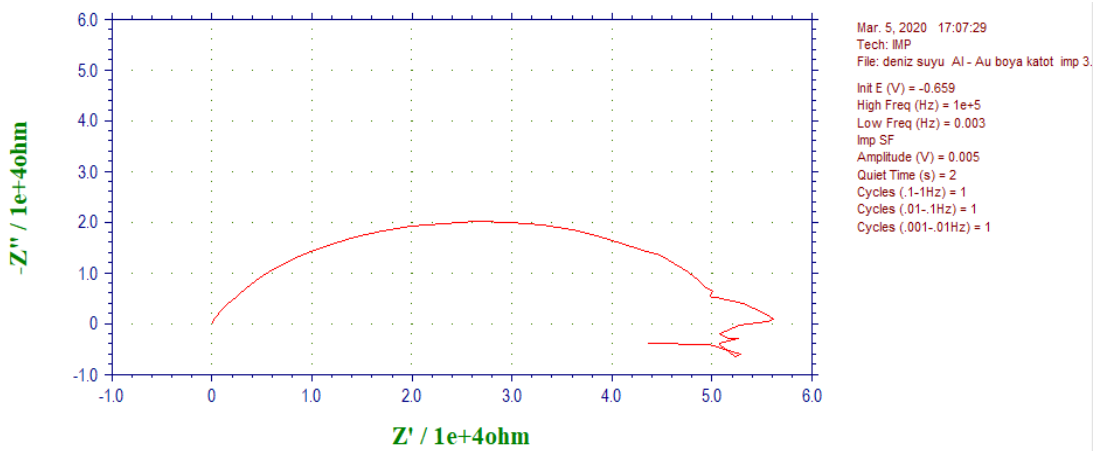
Ri: iyonik boya film direnci

Rt: Gözeneklerin ve kaplama deliklerinin tabanında metal yükü transfer reaksiyonu direnci

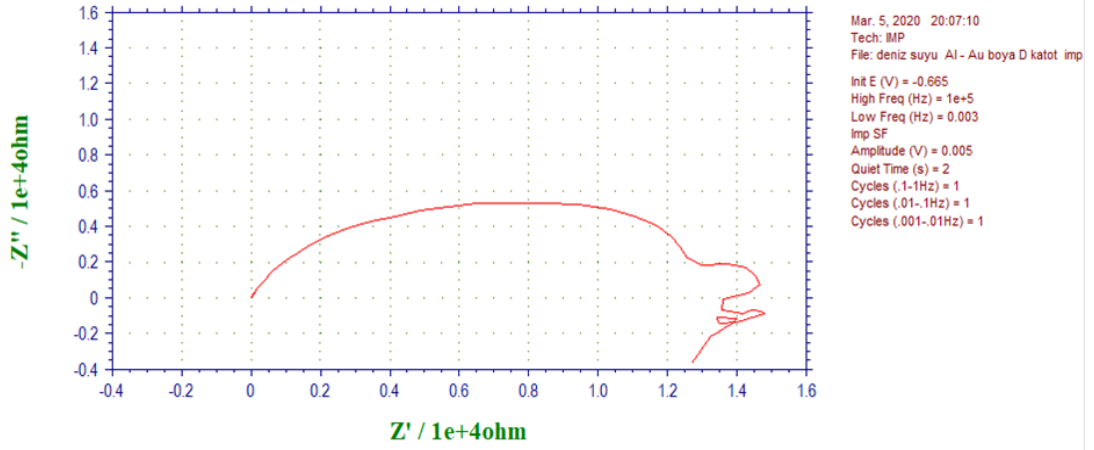
Zw: Warburg difüzyon impedans vektörüdür.



Şekil 3.18: Gümüş rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın 1400 sn'lik Nyquist eğrisi



Şekil 3.19. Altın rengi boya kaplı AA6061-T6'nın 1400 sn'lik Nyquist eğrisi



**Şekil 3.20.** Altın rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6'nın 1400 sn'lik Nyquist eğrisi

Korozyon sonucu veya yüzeye bulunduğu çözelti içerisinde taşınabilir birikim söz konusu ise burada ek dirençler oluşur. Böyle durumlar da toplam direnç kullanır. Şayet kaplama yapılan maden tek tip değil de boya gibi birçok materyal içeren kompozit bir bileşim ise direnç sayıları artmaktadır.

Dolayısıyla Şekil 3.16 deniz suyu içerisinde AA6061 TA Al alaşımının çıplak halinin vermiş olduğu eğri, Şekil 3.17 deniz suyu içerisinde gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6, Şekil 3.18 deniz suyu içerisinde gümüş rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6, Şekil 3.19 deniz suyu içerisinde altın rengi boya kaplı AA6061-T6 ve Şekil 3.20 deniz suyu içerisinde altın rengi boya kaplı ve darbeli yüzeyli AA6061-T6 yüzeylerin Nyquist eğrileri çıplak metaldeki ölçümler kadar düzgün eğriler vermemektedir. Bu beklenen bir sonuçtur. Çıplak Alüminyumun Nyquist eprisinin çok düzün çıkmamasının sebebi boyalı yüzeylerin eğrileninin sapmalar göstermesidir. Ayrıca altın rengi boya kaplamalı yüzeylerin Nygist eğrileri kullanılan metalik pigmentin tabaka boyutunun büyük olmasından dolayı uygulanmasındaki sorunlardan olması ve düzgün yüzey elde edilememesinden dolayı daha karmaşık eğriler verdiği görülmektedir. Gümüş renkli boyanın, altın renkli boya pigmentlerine göre boyutlarının daha küçük olması uygulamayı hem kolaylaştırmış, hem de daha düzgün bir kaplama yüzeyi elde etmemizi sağlamıştır.

Boyalar metal çözelti ara yüzeyi ile çözelti ara yüzeyine temasını önlemek için bir engel teşkil ederler. Örneğin darbeli kaplamalar genellikle düzgün bir Nyguisy yarım halkası vermediği ve impedans değerleri korozyon dirençleri küçük olduğundan

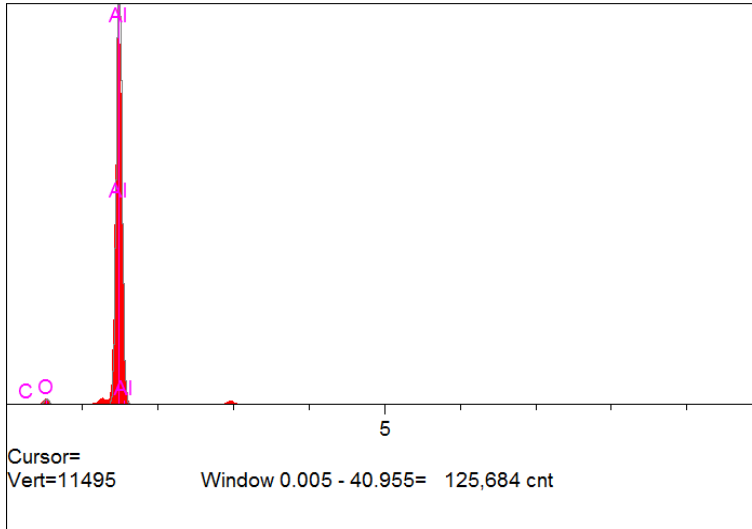
darbeli olmayan kaplamalara göre daha düşük olduğu bilinmektedir (Feliu et al., 1990; Thompson et al., 1994).

Darbeli ve darbesiz yzeyler karşılaştırıldığında ise; normalde ideal sistemlerde Nguist eğrisinin kusursuz bir yarım daire görünümünde olması gerekmektedir. Kapmamanın zerindeki açık kısımdan zelti direk metal ile temas eder. Metal ile zelti arasındaki yzeye metal kısmında elektronlar ile yk taşınırken zelti kısmında ise iyonlar ile taşınmaktadır. İyonların çaplarının büyük olması sebebiyle aynı büyüklükteki yükün elektronlar tarafından sağlanabilmesi için iyonlar zelti kısmında çok fazla yer kaplar ve artık zelti derinliklerine doğru hareket etmeye başlar (zcan ve ark. 2008) buda kopan kısımların zelti içeresinde dağılması anlamına gelmektedir.

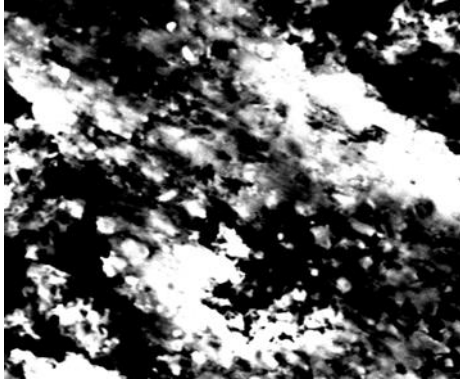
### 3.3. EDX spektrumları



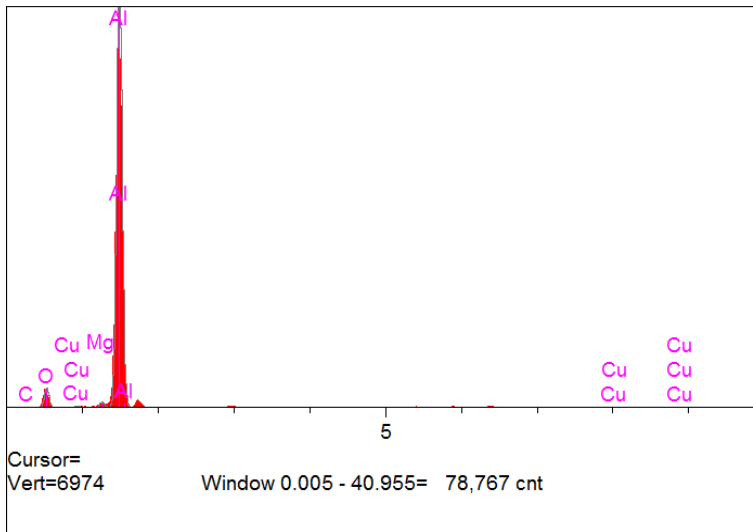
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	7.04	4.100	2.294	wt.%
O	Ka	119.26	8.090	6.051	wt.%
Al	Ka	11,399.89	67.789	91.655	wt.%
				100.000	wt. Total



**Şekil 3.21.** AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0)



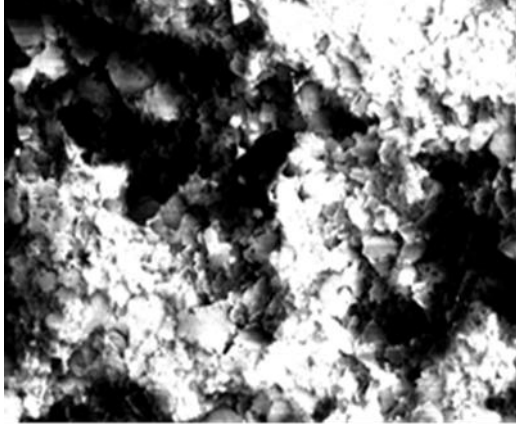
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	0.00	3.687	0.000	wt.%
O	Ka	258.52	10.845	15.961	wt.%
Mg	Ka	81.61	7.802	0.986	wt.%
Al	Ka	6,771.10	52.279	82.118	wt.%
Cu	Ka	18.35	4.230	0.935	wt.%
				100.000	wt.%
					Total



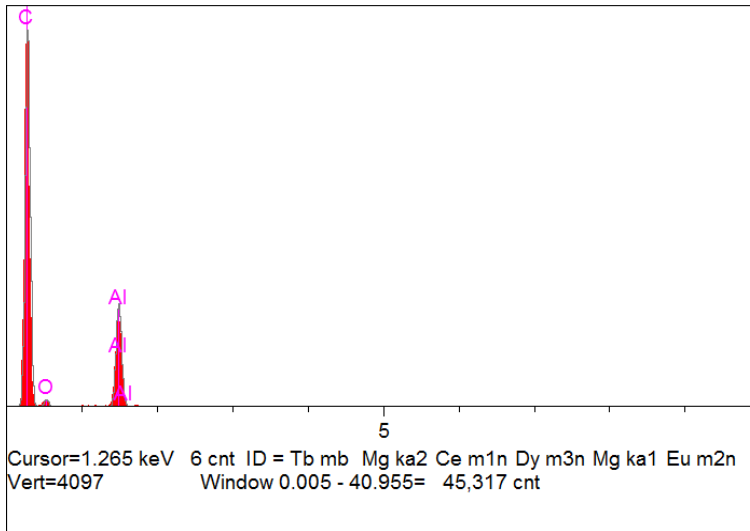
**Şekil 3.22.** Deniz suyunda korozyona uğramış AA6061-T6'nının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0)

Şekil 3.21 incelendiğinde işlem görmemiş AA6061-T6 Al alaşımının içeriği ve yüzeyi görülmektedir. Alaşım yalnızca karbon oksijen ve alüminyumdan oluşmaktadır ve metalin yüzeyinde metalin kesim yönünde aşağıdan yukarıya doğru

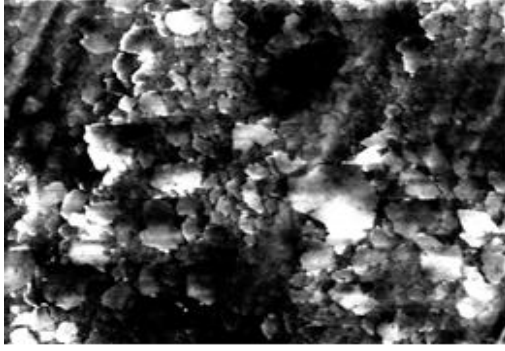
çizgiler bulunmaktadır. Fakat deniz suyunda korozyona uğradıktan sonra Şekil 3.22’ de görüldüğü gibi yüzey şekli bozulmuş ve korozyon sonucu yüzeyde oluşan oksit maddeler rahatlıkla görülebilmektedir. Ayrıca elementel analiz sonucu elde edilen verilere bakıldığında ise magnezyum ve bakır gibi metallerin oksitlerinin alaşım yüzeyine tutunduğu görülmektedir.



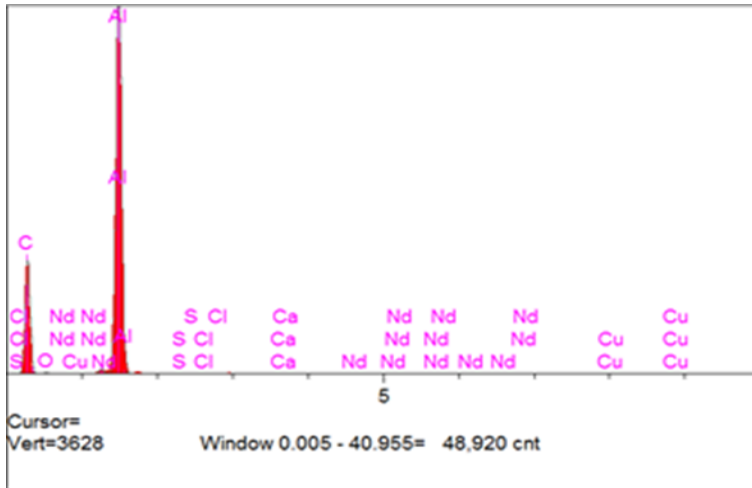
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	3,133.09	35.697	86.309	wt.%
O	Ka	55.92	5.969	6.214	wt.%
Al	Ka	948.58	20.632	7.477	wt.%
				100.000	wt.%
					Total



**Şekil 3.23.** İşlem görmemiş gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6’nın SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0)



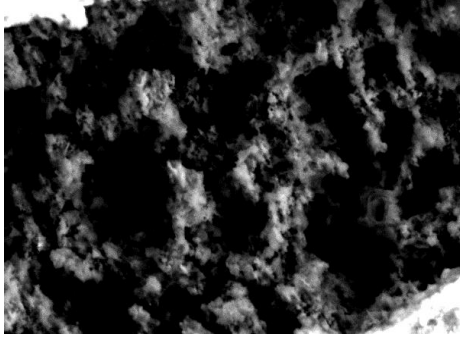
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	906.75	19.422	69.946	wt.%
O	Ka	9.49	3.091	0.943	wt.%
Na	Ka	0.00	4.233	0.000	wt.%
Mg	Ka	42.58	6.342	0.366	wt.%
Al	Ka	3,589.26	38.239	28.404	wt.%
S	Ka	2.35	3.957	0.022	wt.%
Cl	Ka	2.66	3.922	0.025	wt.%
Ca	Ka	1.31	3.329	0.013	wt.%
Cu	Ka	2.16	2.113	0.071	wt.%
Nd	La	3.20	2.912	0.211	wt.%
				100.000	wt.%



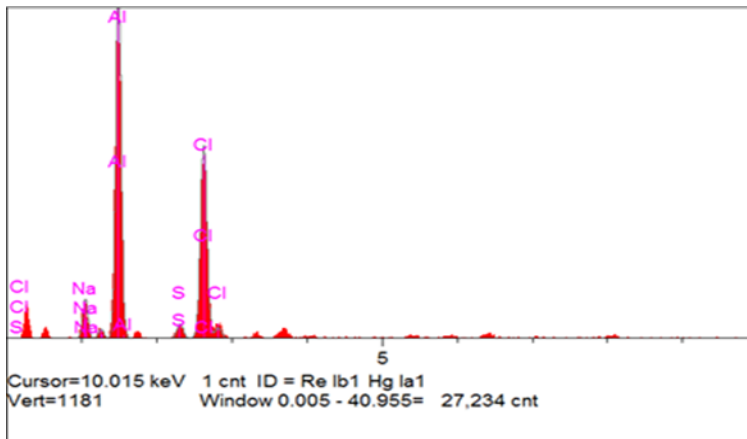
**Şekil 3.24.** Deniz suyu içerisinde korozyona uğramış gümüş renkli boya kaplı AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları ( kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0).



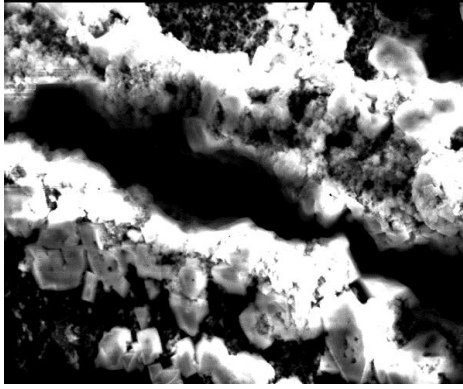
Şekil 3.23 ve 3.24 incelendiğinde ise yüzey boya ile kaplı olduğundan özellikle şekil 3.23’ de boyanın kimyasal yapısından kaynaklanan elementel analiz sonuçları ve fiziksel yapısından kaynaklanan SEM görüntüsü görülmektedir. Materyal metod kısmında vermiş olduğumuz boya formülasyonunda gümüş rengi pigment olarak geçen pigmentin içeriğinde Al parçacıkları optik kuvvetlendirici Nd elementi bir miktar Cu görülmektedir. Ayrıca korozyondan önce yüzeyde bulunmayan metal oksitlerin miktarında artış olduğu görülmektedir.



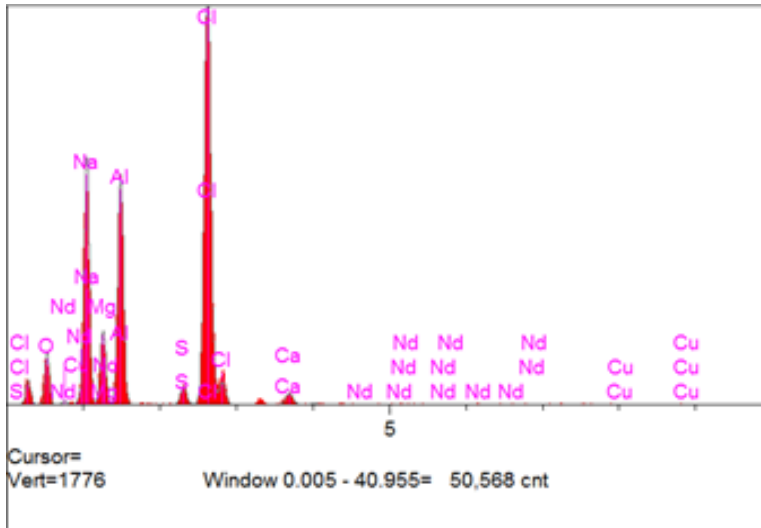
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
Na	Ka	116.55	7.481	6.415	wt.%
Mg	Ka	29.21	4.988	1.321	wt.%
Al	Ka	1,150.02	21.843	49.040	wt.%
S	Ka	54.28	6.218	2.840	wt.%
Cl	Ka	742.10	17.848	40.385	wt.%
				100.000	wt. % Total



**Şekil 3.25.** İşlem görmemiş gümüş rengi boya kaplı darbeli AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0)

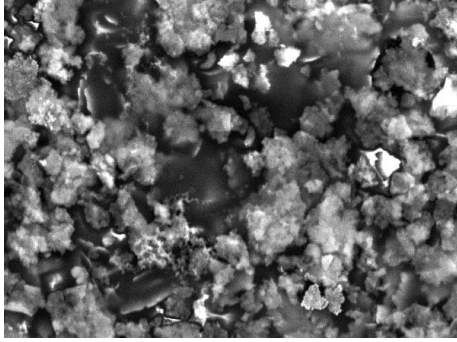


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	91.95	6.885	27.336	wt.%
O	Ka	175.51	8.976	15.149	wt.%
Na	Ka	911.63	19.836	14.990	wt.%
Mg	Ka	287.55	12.126	4.340	wt.%
Al	Ka	926.42	20.058	12.432	wt.%
S	Ka	86.59	8.082	0.954	wt.%
Cl	Ka	2,001.24	28.956	23.318	wt.%
Ca	Ka	65.09	6.604	0.882	wt.%
Cu	Ka	4.54	2.935	0.183	wt.%
Nd	La	4.96	3.854	0.415	wt.%
				100.000	wt.%

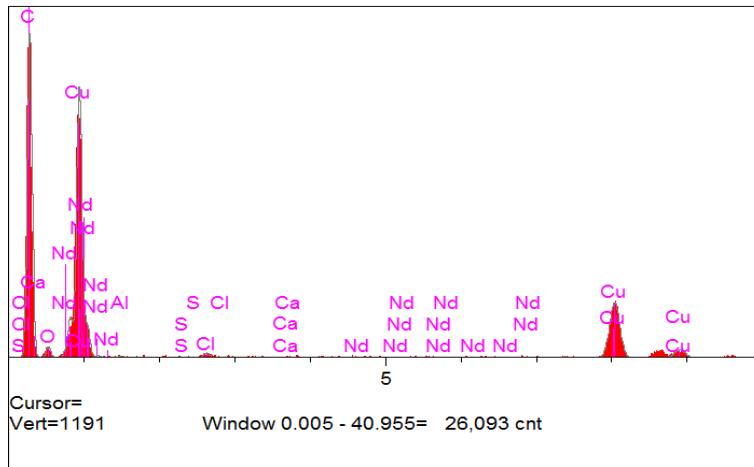


**Şekil 3.26.** Deniz suyu içerisinde korozyona uğramış gümüş rengi boya kaplı darbeli AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kv 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0)

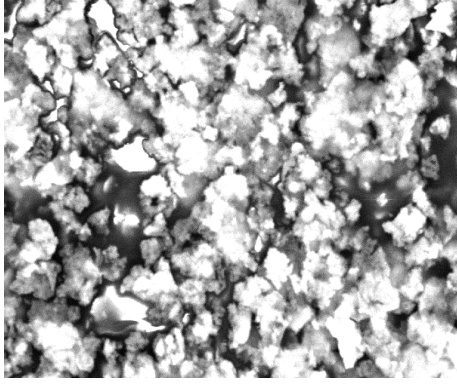
Şekil 3.25 ile şekil 3.26 karşılaştırıldığında yüzeyde oluşan metal oksitler ve tuzlar rahatlıkla görülmektedir. Korozyonun darbeli yüzey etrafında daha yoğun olduğu ve bu bölgede birikimin daha fazla olduğu görülmektedir.



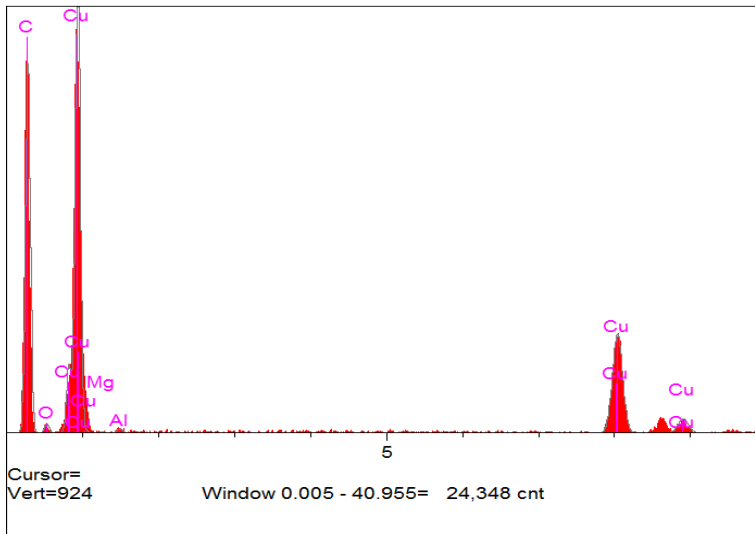
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	894.20	19.178	71.986	wt.%
O	Ka	27.40	4.637	4.574	wt.%
Na	Ka	75.19	6.983	2.990	wt.%
Mg	Ka	0.15	4.312	0.004	wt.%
Al	Ka	4.92	4.958	0.114	wt.%
S	Ka	2.59	4.566	0.044	wt.%
Cl	Ka	17.06	5.192	0.299	wt.%
Ca	Ka	4.24	3.970	0.079	wt.%
Cu	Ka	311.65	11.556	19.735	wt.%
Nd	La	3.08	3.314	0.175	wt.%
				100.00	wt.%
				0	



**Şekil 3.27.** İşlem görmemiş altın rengi boya kaplı AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0)



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	651.03	16.512	69.453	wt.%
O	Ka	14.69	4.160	2.820	wt.%
Mg	Ka	2.09	3.943	0.079	wt.%
Al	Ka	8.74	4.771	0.261	wt.%
Cu	Ka	356.27	12.305	27.388	wt.%
				100.000	wt.% Total



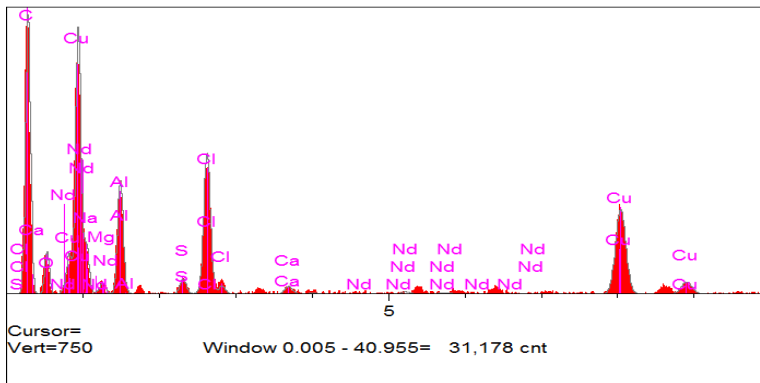
**Şekil 3.28.** Deniz suyu içerisinde korozyona uğramış altın rengi boya kaplı AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0)

Şekil 3.27 işlem görmemiş altın rengi boya kaplı yüzeyin SEM görüntüsü ve elementel analizleri verilmektedir. Kullanılan altın rengi pigmentin içeriğinde optik kuvvetlendirici Nd altın rengini oluşturmak için Cu ve Al pigmentlerin kullanıldığı görülmektedir. Eser miktardaki S elementide bu pigmentin içeriğinden kaynaklanmaktadır. Yine şekil 3.27 ile 3.28 kıyaslandığında yüzeyi kaplayan oksitler

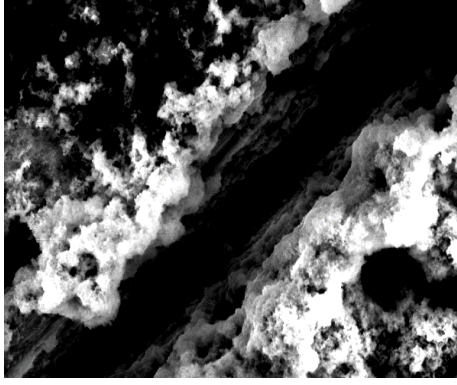
nedeniyle korozyon sonrası Nd gibi elementlerin yüzeyinin oluşan oksitlerle kaplandığı ve azaldığı görülmektedir.



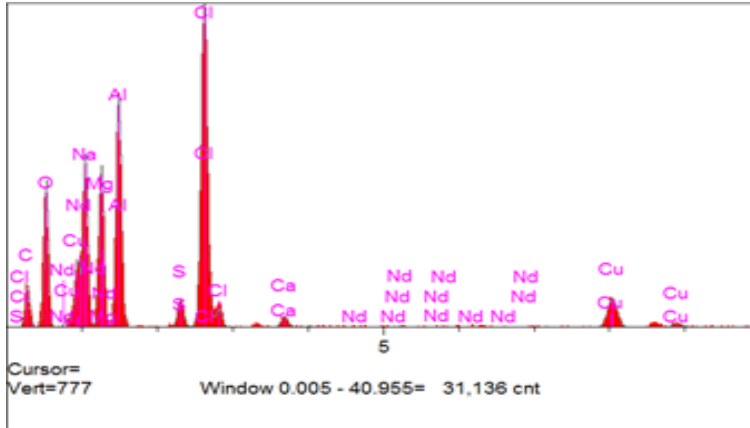
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	593.79	15.876	60.339	wt.%
O	Ka	82.58	6.719	9.181	wt.%
Na	Ka	96.09	7.567	2.627	wt.%
Mg	Ka	25.04	5.634	0.494	wt.%
Al	Ka	268.42	11.533	4.321	wt.%
S	Ka	40.07	6.649	0.493	wt.%
Cl	Ka	394.57	13.702	5.063	wt.%
Ca	Ka	23.91	5.865	0.333	wt.%
Cu	Ka	367.07	12.979	16.716	wt.%
Nd	La	7.52	5.201	0.432	wt.%
				100.000	wt.%



**Şekil 3.29.** İşlem görmemiş altın rengi boya kaplı ve darbeli AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0)

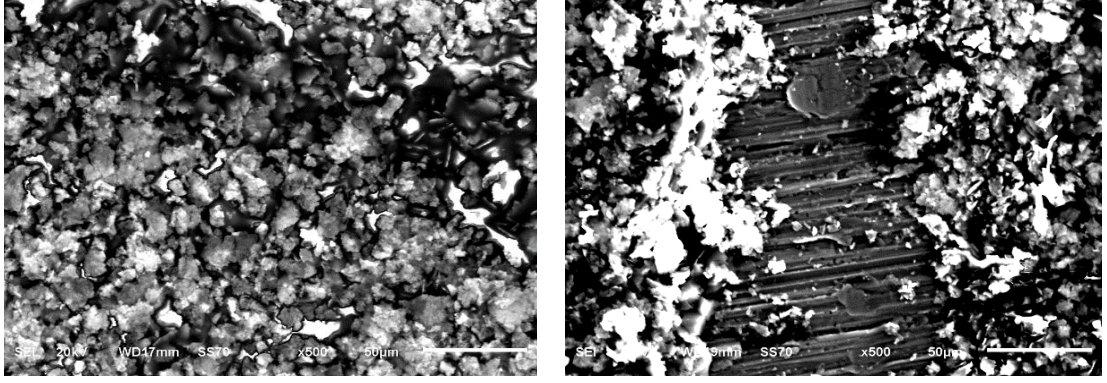


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	82.32	6.731	24.214	wt.%
O	Ka	261.92	10.568	25.001	wt.%
Na	Ka	343.76	12.519	9.654	wt.%
Mg	Ka	339.41	12.530	7.720	wt.%
Al	Ka	507.21	14.946	10.570	wt.%
S	Ka	69.33	7.011	1.109	wt.%
Cl	Ka	858.70	19.175	14.279	wt.%
Ca	Ka	31.05	5.037	0.568	wt.%
Cu	Ka	114.29	7.393	6.402	wt.%
Nd	La	4.72	3.606	0.483	wt.%
				100.000	wt.%
					Total

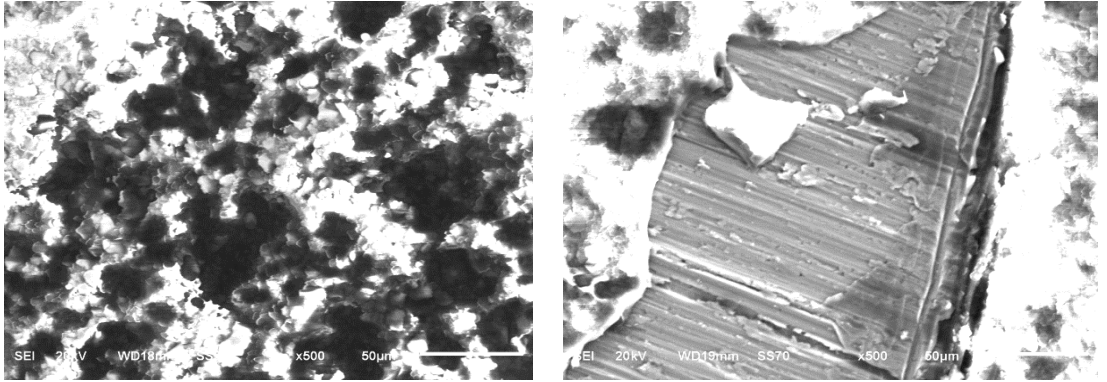


**Şekil 3.30.** Deniz suyu içerisinde korozyona uğramış altın rengi boya kaplı darbeli AA6061-T6 Al alaşımının SEM/EDX sonuçları (kV 20.0, Takeoff Angle 35.0, Elapsed Livetime 10.0)

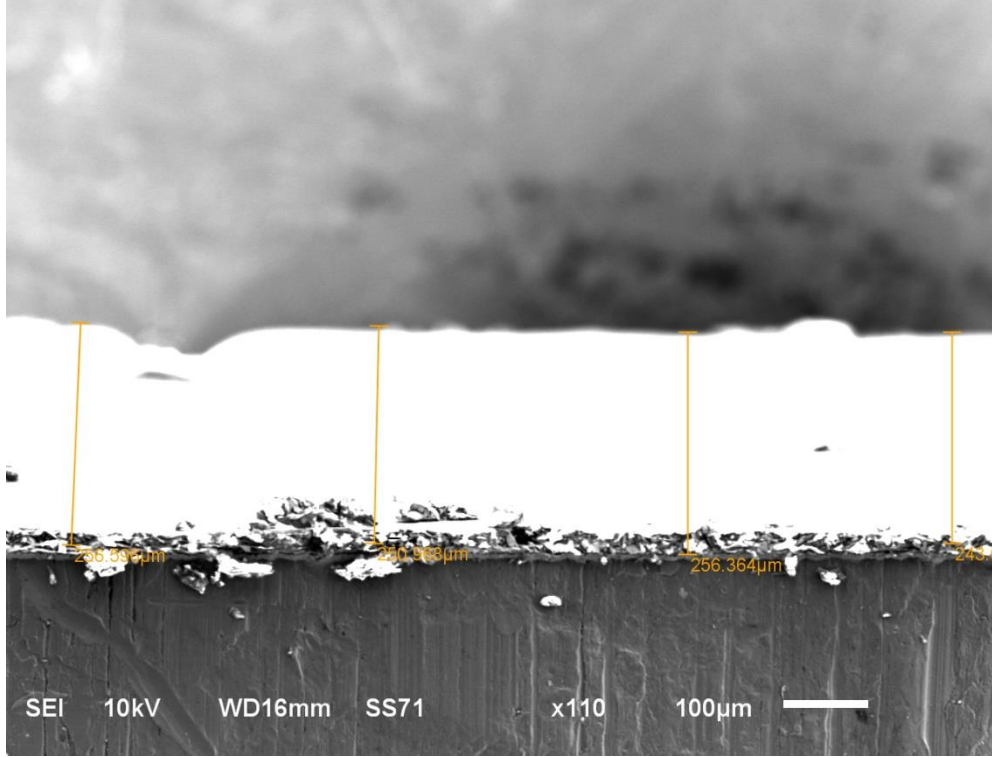
Şekil 3.29 ve 3.30 incelendiğinde darbeden kaynaklı reçine parçalanmamasından dolayı ortaya çıkan pigmentlerin genel anlamda şekil 3.27 ve 3.28 ile karşılaştırıldığında da şekil 3.29 da daha fazla olduğu görülmektedir. Açık AA6061-T6 Al alaşımının yüzeyine darbeli bölgeden rahatlıkla ulaşabilen deniz suyu buradaki alaşımın korozyona uğramasını hızlandırdığı kanaatine varılmıştır.



**Şekil 3.31.** İşlem görmemiş gümüş rengi boya kaplı darbesiz ve darbeli AA6061-T6 Al alaşımının elektron mikroskop görüntüleri



**Şekil 3.32.** İşlem görmemiş altın rengi boya kaplı darbesiz ve darbeli AA6061-T6 Al alaşımının elektron mikroskop görüntüleri.



**Şekil 3.33.** Boya uygulanmış AA6061 TA Al alaşımının boya kalınlığının mikroskop görünümü

Şekil 2.31 ve 2.22 incelendiğinde yüzeye atılan çizimin boyayı nasıl kestiği ve AA6061-T6 Al alaşımının yüzeyinin nasıl ortaya çıktığını göstermektedir. Korumasız kalan alaşım yüzeyi korozyona açık hale gelmiştir. Şekil 3.33 de numunenin yan kesit alanı görülmektedir, yarıca şekilden boya kalınlığının ortalama 251.25 mikro metre olduğu görülmektedir.



#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada laboratuvar ortamında hazırlanan iki farklı hızlı kuruyan alkali bazlı metalik pigment içeren boya üretilmiştir. Bu boyalar altın renginde ve gümüş rengindedir. Bu tür boyaların genellikle su ile temas eden ortamlarda dekoratif amaçlı kullanılabilirliği ve AA6061-T6 Al alaşımının yüzeyini deniz suyu içerisinde korozyona direncine katkısı araştırılmıştır. Çalışmada Balıkesir ilimizden alınan orijinal deniz suyu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Tafel Diyagramları, Eocp Değerleri ve Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi Sonuçları İncelenmiştir. Tafel diyagramlarından elde edilen sonuçlar: AA6061-T6 Al çıplak yüzey (Ekor -1,0479 V iken Rp 15686,03), AA6061-T6 Al – gümüş rengi boya kaplama (Ekor -0,72912 V iken Rp 18582,18), AA6061-T6 Al – gümüş rengi boya kaplama darbeli (Ekor -0,93892 V iken Rp 295857,8), AA6061-T6 Al – altın rengi boya kaplama (Ekor -0,66244 V iken Rp 31372,55), AA6061-T6 Al – altın rengi boya kaplama darbeli yüzey için ise (Ekor -0,6632 V iken Rp 13676,71) olarak hesaplanmıştır.
- Açık devre potansiyeli devreden hiç akım geçmezken ölçülen potansiyel değeridir. Açık devre potansiyeli çıplak AA6061-T6' nın -0,81 volt ve 1200sn' de sabitlendiği ve en uygun şartların elde edildiği görülmüştür. Gümüş rengi boya kaplı AA6061-T6' nın -0,71 volt ve 700sn' de sabitlendiği ve en uygun şartların elde edildiği görülmüştür. Gümüş rengi boya kaplı darbeli AA6061-T6 'nın -0,945 volt ve 1390sn' de sabitlendiği ve en uygun şartların elde edildiği görülmüştür. Altın rengi boya kaplı AA6061-T6' nın düzgün bir grafik vermediği ve bunun yanı sıra sabit bir değer elde edilmediği görülmüştür. 1400 dakika sonra potansiyelin -0,267 volt 1400sn ulaşılan en uygun değerdir. Altın rengi boya kaplı ve darbeli AA6061-T6'nın düzgün bir grafik vermediği ve bunun yanı sıra sabit bir değer elde edilmediği görülmüştür. 1400 dakika sonra potansiyelin -0,0668 ile-0,675 arasında gidip geldiği ve dengeye ulaşmadığı görülmüştür. Altın rengindeki kararsızlık pigment boyutunun büyük oluşu ve uniform bir yüzey elde

edilemeyeşidir gümüş rengi pigmentler aktın rengi pigmentlere göre daha daha küçük boyuttadır ve daha kolay uniform hale gelebilmektedir.

- Çalışmada ilk olarak AA6061-T6' nın kaplamasız olarak korozyonu incelenmiştir. Bunu takiben kaplamalı yüzeyler ve kaplamalı darbeli yüzeyler incelenmiştir. Tüm deneylerin başlangıcında ve sonunda SEM/EDX görüntüleri sonuçları incelenmiş ve mikroskobik boyutta yüzeyde meydana gelen değişimler incelenmiştir. SEM/EDX görüntüleri kaplamalı yüzeylerin en iyi korozyon dayanımını verirken bunu takip eden yüzeylerin ise darbeli yüzeyler olduğu görülmüştür. Çünkü metal yüzeyi ile deniz suyu teması ne kadar kesilir ise metal yüzeyine ulaşan elektron göçü o kadar az olacak ve korozyonda bu oranda azalacaktır. SEM/EDX sonuçları aynı zamanda korozyon esnasında oluşan metal oksitlerin yüzeyi nasıl kapladığı ve yüzey morfolojisini nasıl değiştirdiğini hem elementel hem de şekil olarak ortaya koymuştur.
- Tüm yüzeylerin 1400sn Nyquist eğrileri incelendiğinde yüzeye uygulanan boya kaplamaların korozif iyonların yüzeyde korozyonuna karşı gösterilen direnç ile ilgili önemli bilgiler verdiği görülmektedir. Boya bir kompozit malzemedir ve birçok bileşenden oluşur dolayısıyla oluşan bu malzemenin direnç değeride da fazla olmaktadır.
- Kaplama içeriğinin kompleksleşmesi ile yüzeyde artan direnç sayılarını arttığı görülmektedir. Özellikle altın kaplamalı yüzeylerde direncin daha kuvvetli olduğu ve oluşan eğrinin görüntü değişimin bu kuvvetli dirençten kaynaklandığı görülmektedir.
- Bu çalışmada laboratuvar ortamında hazırlanan iki farklı metalik pigment içeren boya üretilmiştir. Bu boyalar altın renginde ve gümüş rengindedir. Genellikle su ile temas eden ortamlarda dekoratif amaçlı kullanılabilirliği ve AA6061-T6 Al alaşımının yüzeyini deniz suyu içerisinde korozyona karşı korumak için kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kullanılan Balıkesir ilimizden alınan orijinal deniz suyu içinde AA6061-T6 Al alaşımının yüzeyinin kaplanmasıyla korozyon hızının düştüğü gözlemlenmiştir.

- Altın rengi ve gümüş rengi boyalar karşılaştırıldığında pigment boyutu büyük olan altın rengi boyanın korozyon dayanımının gümüş rengi boyaya göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.
- Çalışmada ayrıca kaplamalı yüzeye darbe atılıp bu açık noktadan AA6061-T6 Al alaşımının yüzeyine nüfuz eden deniz suyunun korozyon davranışı incelenmiştir. Elde edilen veriler darbeli yüzeylerin korozyonu nasıl hızlandırıldığını açık bir şekilde ortaya koymuştur. Dolayısıyla darbe alan kaplamalı yüzeylerin hemen iyileştirilmesi gerektiği bir kez daha gözler önüne serilmiştir. Fark edilmeyen darbeli yüzeylerin kaplama altı korozyonundan kaynakları ciddi metal kayıpları yaşanabileceği anlaşılmıştır. Kullanılan metalik pigment içeren alkali esaslı hızlı kuruyan boyaların bir avantajı da kolay tamir edilebilirliğidir. Bundan dolayı hem dekoratif bir görünüş hem de metal yüzeyini koruma amaçlı rahatlıkla kullanılabilceği görülmüştür.

## 5. KAYNAKLAR

- [1.] Alp A., (2012). Elektrolitik Metal Kaplama'', Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 22s.
- [2.] Ashassi-Sorkhabi, H., Ghasemi, Z., Seifzadeh, D., "The İnhibition Effect of Some Amino Acids Towards the Corrosion of Aluminum in 1 M HCl + 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solution", Applied Surface Science, 249: 408–418 (2005).
- [3.] ASM Metals Handbook, Volume 13A. 2003. Corrosion:Fundamentals, Testing, and Protection.
- [4.] Cardinale, A. M. Macci, D., Luciano, G. Canepa, E. and Traverso, P. 2017, Thermal and Corrosion Behavior of As Cast Al-Si Alloys with Rare Earth Elements, J. Alloys Compd., 695, p 2180–2189.
- [5.] Çatal, Serap. (2007). Aluminyum yüzeyindeki oksit tabakasının fosforik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [6.] Çelik, A., (2015). Yumuşak çeliğin asidik ortamdaki korozyonuna 5-merkaptotetrazol'un inhibitör etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl .
- [7.] Davo; B., and De Damborenea, J.J. (2004). Use of rare earth salts as electrochemical corrosion inhibitors for an Al-Li-Cu (8090) alloy in 3,56% NaCl. Electrochimica Acta 49(2004); 4957-4965.
- [8.] Derin, E., (2016). Ortaöğretim Kimya ve Fizik Öğretmenlerinin Korozyon Hakkındaki Bilgi Düzeylerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanlar Eğitimi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tez Önerisi, Ankara.
- [9.] Doğru B., (2007). Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Borik Asit Sülfürik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [10.] Doruk M (2014). Metalik malzemeler ve korozyon. Korozyon Derneği, Ankara s. 180– 192.

- [11.] Düdükçü M., (2004). Paslanmaz eliğin (316) Korozyon Davranışları zerinde İletken Polimer Kaplamaların ve Organik İnhibitörlerin Katkı Etkilerinin Belirlenmesi. ukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim dalı Doktora Tezi. Adana.
- [12.] Eker A. A., (2009). Paslanmaz elikler ve Paslanmaz eliklerin Korozyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [13.] El Bakri, M., Tourir, RA., Tazouti, N., Dkhireche, M., Ebn Touhami, A., Rochdi, A., (2016). Inhibition of Brass Corrosion by 2-Mercapto-1-methylimidazole in Weakly Alkaline Solution. Arab J Sci Eng 41: 75–88.
- [14.] Erbil, M., (2012). Korozyon: İlkeler ve nlemler. Korozyon Derneği, Ankara s. 87–128.
- [15.] Erbil M. (1985). Korozyon. Sagem, Ankara. <http://library.cu.edu.tr/tezler/6472.pdf>. (erişim tarihi 24.12.2010 ).
- [16.] Erbil, M., (1971). Aluminyumun Laktic Asit zeltisi İçinde, Korozyon Hızının Tayini (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Fizikokimya Kürsüsü.
- [17.] Erbil, M., (1975a). Aluminyumun çeşitli çözeltilerdeki Korozyonu (Doktora Tezi) Ankara Üniversitesi Fizikokimya Kürsüsü.
- [18.] Erbil, M., (1975b). Aluminyumun Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> zeltisi İçindeki Pasiflik Karakteristikleri ve çeşitli Sulu zeltilerdeki Korozyonunun Akım-Potansiyel EĞrileri Yardımıyla İncelenmesi T.B.T.A.K., 5. Bilim Kongresi, 379-413.
- [19.] Erbil, M., neri, S., (1974). The Linear Polarization Measurements for Aluminum Chemica Acta Turcica, 1:30-41.
- [20.] Erbil, M., (1987). Alternatif Akım (AC) İmpedansı Yöntemiyle Korozyon Hızı Belirlenmesi. Doğa Türk Kimya Dergisi, 11: 100-111.
- [21.] Erbil, M., (2002). Korozyon Hızının AC İmpedans Tekniği İle lm ve Uygulamaları. VII. Uluslararası Korozyon Sempozyumu Bildiri Kitabı, Eskişehir, s.29.
- [22.] Erbil, M., (1984). Korozyon İnhibitörleri ve İnhibitör Etkinliklerinin Saptanması.

- [23.] Erbil, M., (2012). Korozyon: İlkeler ve Önlemler. Korozyon Derneği, Ankara, s. 87-128, 232257, 261-359, 283.
- [24.] Erbil, M., (1988). The Determination of Corrosion Rates by Analysis of AC Impedans Diagrams. *Chimica Acta Turcica*.
- [25.] Fares, M.M., Maayta, A.K. and Al-Qudah, M.M., (2012). Pectin as promising green corrosion inhibitor of aluminum in hydrochloric acid solution. *Corrosion Science*, 60, 112-117.
- [26.] Feliu, S., Galván, J. C., and Morcillo, M. (1990). The charge transfer reaction in Nyquist diagrams of painted steel. *Corrosion Science*, 30(10), 989-998.
- [27.] Gürten A. A., (2014). Bakırın Korozyonuna Kendi Kendine Biriken 4-(2-Aminofeniltiyo)-5-(5-Merkapto Pentiltiyo) Ftalonitril Filminin İnhibisyon Etkisinin Belirlenmesi. Tubitak KBAG 212T252.
- [28.] Gümüş, M. (2007). Alüminyum yüzeyler için antikorozyf boya ve kaplama şekillerinin geliştirilmesi ve kaplama altı korozyon davranışlarının elektrokimyasal yoldan incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi Kimya. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- [29.] Jagminas, A., Kuzmarskyte, J., Malferrari, L., Cuffiani, M. (2007). A New Route Of Alumina Template Modification Into Dense-Packed Fibrilous Material. *Materials Letters*, 61(14-15):2896-2899.
- [30.] Kaftan, M. A. (2006). Çelik yapılarda korozyon oluşumu ve korozyondan korunma yöntemlerinin maliyet açısından karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi Kimya. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli.
- [31.] Kılınç, A. G., (2001). Çinko Korozyonunun Benzotriazol Tolutriazol ve Kuartamin Tuzları ile Önlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
- [32.] Konuklu S (2007). Alüminyumun Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Sülfürik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [33.] Koyun, T.; Güven, Ş.Y. (2017). Galvanik korozyon ve alüminyum-bakır üzerine deneysel bir çalışma. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5.1: 331-335.

- [34.] Küçüköglü, M. (2010). Ogzalat, Tungustat, Molibdat ve Fosfatın Saf Çinkonun Sulu Ortamdaki Korozyonuna Etkisi'', Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
- [35.] Küstü C., (2008). Asitli ortamdaki korozyona karşı schiff bazı temelli bazı yeni inhibitörlerin geliştirilmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisan Tezi, Ankara.
- [36.] Maşlak M. (2019). Elektrolitik Yöntemle Çinko Kaplanan Çeliklerin Korozyon Dayanımının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- [37.] Palmanak, E. (2009). 6-amino-m-kresol polimerinin bakır ve paslanmaz çelik üzerine sentezi ve korozyon performansının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [38.] Önre, S. Ve Arık, G. (2015). Biomedikal Uygulamalarda Kullanılan Ti6Al4V Alaşımının Korozyon Davranışının Farklı Kaplamalar Yapılarak Karşılaştırılması Ve Sonuçların Analiz Edilmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü Bitirme Ödevi Kayseri,47s.
- [39.] Özbilen S. (1995). Korozyon ders notları, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, Ankara.
- [40.] Özcan, M., Solmaz, R., Kardaş, G. and Dehri, I. (2008). Adsorption properties of barbiturates as green corrosion inhibitors on mild steel in phosphoric acid. Colloid Surface A 325: 5763.
- [41.] Saklakoğlu, N., Çolakoğlu, H. And Gençalp, S., (2009). Microstructural Evolution of Al4Zn3Mg Alloy Produced by SIMA Process. Electronic Journal of Machine Technologies, 6, 3, 89-100.
- [42.] Skoog, D. A., Holler, F. J. and Nieman, T. A. (1998). Principles of Instrumental Analysis, Fifth Edition, Kılıç E., Köseoğlu, F. ve Yılmaz, H. Saunders College Publishing, USA, Bilim Yayıncılık, 231- 262, Ankara.
- [43.] Solmaz R. (2011). Investigation of the inhibition effect of 5-((E)-4-phenylbuta-1,3 dienyldieneamino)-1,3,4-thiadiazole-2-thiol Schiff base on mild steel corrosion in hydrochloric acid. Corrosion Science 52: 3321–3330.

- [44.] Thompson, I., and Campbell, D. (1994). Interpreting Nyquist responses from defective coatings on steel substrates. *Corrosion Science*, 36(1), 187-198.
- [45.] Tuna, N. (2013). Çinko ve Nikel Kaplanmış Düşük Karbonlu Çelik Plaka ve Vidaların Korozyon Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [46.] Url-1<https://www.denizcilikvegemi.com/wp-content/uploads/2016/11/galvaniccorrosion.png>mrc&uact=8 ( homojen korozyon)
- [47.] Url-3[https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSw5Cs3VIjyed84n6G1Bqj6MeM1J9hjexhHAul\\_tQV19kOSU\\_n](https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSw5Cs3VIjyed84n6G1Bqj6MeM1J9hjexhHAul_tQV19kOSU_n)( taneler arası korozyon adresi) (Erişim tarihi: 21.07.2020).
- [48.] Url-4<https://osmanoluk.files.wordpress.com/2012/03/erozyon-korozyonu.pdf> (Erişim tarihi: 21.07.2020).
- [49.] URL-7 <https://www.sukimiyacom/article.aspx?ArticleID=11833> (Erişim tarihi: 21.07.2020).
- [50.] Uyanık, M. (2012). SicN nanopartikül İlaveli Asitli Çinko Kaplama Banyolarında Yapılan Kaplamaların Malzemenin Korozyon Direnci ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programı, İstanbul.
- [51.] Üneri, S. (1998). Korozyon ve Önlenmesi. Korozyon Derneği, Ankara, 136, 140, 145-149, 153, 175, 1998.
- [52.] Wang, L., Nie, X. (2006). Silicon Effects on Formation of EPO Oxide Coatings on Aluminum Alloys. *Thin Solid Films*, 494 (1-2): 211-218.
- [53.] Yaluk, D. (2009). Çelik Sistemlerin Yüzey Özelliklerinin Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplamalara Etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Adana.
- [54.] Yanardağ, T., (2011). Çinko ve Çinko alaşımların Korozyonunun İnorganik ve Organik Maddelerle Önlenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Ankara.



- [55.] Danışman, Ş. ve Teber, M., (2016). Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan Ti6Al4V Alaşımının Korozyon Davranışı Üzerine TiAlN Kaplamanın Etkisi. IMSTEC'2016 uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojileri Konferansı, Nevşehir, Türkiye, 6-08.
- [56.] Younis, A., (2016). Protection of Aluminum Alloy (AA7075) from Corrosion by SolGel Technique. Doktora Tezi, Chemnitz Üniversitesi Doğa Bilimleri Fakültesi/ Fizik Anabilim dalı, Kahire/Mısır.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali AYDIN

Doğum Yeri : IĞDIR

Doğum Tarihi : 16.07.1990

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

İletişim (e-posta) : [aydindogalgaz@outlook.com](mailto:aydindogalgaz@outlook.com)

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Naci Ekşi Lisesi (2004-2008)

Lisans : Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine

Mühendisliği Bölümü (2009-2015)

Anadolu üniversitesi İktisat Fakültesi Kamu Yönetimi Bölümü (2020)

Yüksek Lisans : Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine

Mühendisliği Anabilim Dalı (2017-Devam ediyor)

Altınbaş Üniversitesi İşletme Yüksek Lisans (2017-2019)

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Aydın Mühendislik (2015- Devam ediyor)