

**T.C  
MANISA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA ANABİLİM DALI  
FİZİKOKİMYA BİLİM DALI**

**2024 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KOROZYONUNU ÖNLEMEK  
İÇİN KAHVE ATIKLARININ(EKSTRAKTI)  
KULLANILABİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**MOHAMADOU ABDOULLAHI**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi M. SADRETTİN ZEYBEK**



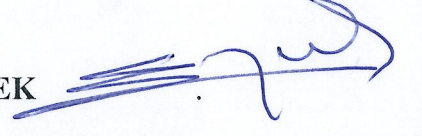
**MANISA 2019**

## TEZ ONAYI

Mohamadou ABDOULLAHI tarafından hazırlanan "2024 Alüminyum Alaşımının Korozyonunu Önlemek İçin Kahve atıklarının(ekstraktı) Kullanılabilirliğinin Araştırılması " adlı tez çalışması 17/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

**Dr. Öğretim Üyesi M. Sadrettin ZEYBEK**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

**Prof. Dr. Yüksel ABALI**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

**Prof. Dr. Mustafa TÜZEN**  
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi



## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Mohamadou ABDOULLAHI**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ .....	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET .....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	2
2.1. Korozyon ve Korozyon çeşitleri .....	2
2.1.1. Uniform (Genel Korozyon) .....	4
2.1.2. Çukur korozyon .....	4
2.1.3. Galvanik korozyon .....	5
2.1.4 Taneler arası korozyonu .....	5
2.1.5 Erozyon ve kaviteasyon korozyonu .....	5
2.1.6. Gerilme korozyonu (Gerilmeli korozyon çatlama) .....	7
2.1.7. Seçimli korozyon .....	7
2.1.8. Sürtünme korozyon .....	8
2.1.9. Yorulmalı korozyon .....	8
2.1.10. Hidrojen kırılabilirliği korozyonu .....	9
2.2. Korozyonu Etkileyen Faktörler .....	9
2.3. Korozyon İnhibitörleri .....	9
2.4. Korozyon İnhibitörlerin Sınıflandırılması .....	10
2.4.1. İnorganik İnhibitörler .....	11
2.4.2. Organik İnhibitörler .....	14
2.5. Korozyondan Korunma Yöntemleri .....	16
2.5.1. Elektrokimyasal Yöntemler .....	16
2.5.2 Kimyasal Yöntemler .....	18
2.5.3 Koruyucu Kaplamalar .....	19
2.6. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyonu .....	20
2.7. Alüminyum Alaşımları ve Sınıflandırılması .....	22
2.8. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem Uygulamaları .....	24
2.9. Alüminyum Alaşımının Korozyonunu Önleme Konusunda Yapılan Çalışmalar .....	26
2.10. Kahve .....	27
2.10.1. Kahvenin Kimyasal Bileşimi .....	27
2.10.2. Kahve Çekirdeğinin İşlenmesi Ve Oluşan Yan Ürünler .....	30
3. MATERYAL VE METOT .....	32
3.1. Kullanılan Malzemelerin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri .....	32
3.2. Kullanılan Cihazlar ve Ekipmanlar .....	35
3.3. Deneylerde Kullanılacak Elektrotlarının Hazırlanması .....	35
3.4. Yapılan Korozyon Testleri .....	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	39
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	50
KAYNAKLAR .....	63
ÖZGEÇMİŞ .....	67

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>EIS</b>	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
<b>C</b>	Derişim
<b>AC</b>	Alternatif Akım
<b>GSMH</b>	Gayri Safi Millî Hasıla
<b>DC</b>	Doğru Akım
<b>ISO</b>	Uluslararası Standartalar Teşkilatı
<b>EMF</b>	Elektromotor Kuvvet Serisi
<b>I</b>	Akım
<b>WE</b>	Çalışma elektrodu
<b>CE</b>	Karşıt Elektrot
<b>RE</b>	Referans Elektrot
<b>SEM</b>	Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>CR<sub>İnhibitörsüz</sub></b>	İnhibitörsüz sistemin korozyon hızı
<b>CR<sub>İnhibitörlü</sub></b>	İnhibitörlü sistemin korozyon hızı
<b><math>\beta_a</math></b>	Anodik Tafel katsayısı
<b><math>\beta_c</math></b>	Katodik Tafel katsayısı
<b>DEFAM</b>	Deneysel Fen Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi
<b>AFM</b>	Atomik Kuvvet Mikroskobu
<b>I</b>	Akım
<b>I<sub>cor</sub></b>	Korozyon akımı
<b>E</b>	Potansiyel
<b>E<sub>cor</sub></b>	Korozyon potansiyeli
<b>T</b>	Sıcaklık
<b>PETKİM</b>	Petrokimya Holding Anonim Şirketi
<b>R<sub>p</sub></b>	Polarizasyon direnci
<b><math>\Delta E</math></b>	Korozyon potansiyelinde uygulanan potansiyel fark
<b><math>\Delta I_{app}</math></b>	Uygulanan akım
<b><math>\Delta</math></b>	Faz açısı
<b>E<sub>pp</sub></b>	Pasivasyon potansiyeli
<b>I<sub>cc</sub></b>	Kritik akım yoğunluğu
<b>I<sub>p</sub></b>	Pasif akım yoğunluğu
<b><math>\Delta G</math></b>	Gibbs serbest enerji değişimi

<b>N</b>	Reaksiyonda aktarılan elektron sayısı
<b>F</b>	Faraday sabiti
<b>E<sub>r</sub></b>	Tersinir potansiyel
<b>R</b>	Gaz sabiti
<b><math>\rho_{WL}</math></b>	Kütle kaybı hızı
<b><math>\Delta W</math></b>	Kütle kaybı
<b>A</b>	Numune yüzey alanı



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Demirin oksitlenmesi .....	2
Şekil 2.2. Paslanmaz çeliğin çukur korozyonu .....	4
Şekil 2.3. Türbülanslı bir bölgede korozyon erozyonu .....	6
Şekil 2.4. Hastelloy C276 nikel alaşımlı pompa kanadının hidroklorik asit ortamında kavitasyon korozyonu .....	6
Şekil 2.5. Gerilme korozyonun örneği .....	7
Şekil 2.6. Sürtünme korozyonun örneği .....	8
Şekil 2.7 Hidrojen kaynaklı korozyon .....	9
Şekil 2.8 İnhibitörlerin sınıflandırılması .....	11
Şekil 2.9. Potansiyostatik polarizasyon diyagramı: a) Bir metalin anodik inhibitörlü bir çözeltide elektrokimyasal davranışı, b) inhibitörsüze karşı .....	12
Şekil 2.10. Anodik inhibitörlerin etkisi ve etki mekanizmaları .....	12
Şekil 2.11. Potansiyostatik polarizasyon şeması: a) Bir katodik inhibitör çözeltisinde metalin elektrokimyasal davranışı, b) İnhibitör olmadan aynı çözeltiyle kıyaslanması .....	13
Şekil 2.12. Katodik inorganik inhibitörlerin etkisi ve etki mekanizmaları .....	14
Şekil 2.13. Teorik potansiyostatik polarizasyon diyagramı: a) Anodik ve katodik inhibitör içeren çözeltideki metalin elektrokimyasal davranışı, b) İnhibitör olmadan aynı çözeltiyle kıyaslanması .....	15
Şekil 2.14. Organik inhibitörün harekete geçirme mekanizmasının gösterimi .....	16
Şekil 2.15. Anodik koruma ile ilgili bir mekanizma .....	17
Şekil 2.16. Katodik koruma ile ilgili bir mekanizma .....	18
Şekil 2.17. Alüminyumun dünyadaki bölgesel ürün ve nihai ürün dağılımı .....	22
Şekil 2.18. Kahve Arabica yetiştirilmesi .....	27
Şekil 2.19. Kahve bitkisinin meyve ve tohumunun görünümü .....	28
Şekil 2.20. Kahve bitkisinin çiçek ve meyveleri .....	28
Şekil 2.21. Kafein (1) ve klorojenik asit (2) formülleri .....	29
Şekil 2.22. Kahvenin işlenmesi (yaş işleme) ve ortaya çıkan atıklar .....	31
Şekil 3.1. PETKİM'den alınan Kahve telvesi FTIR Spektrumu .....	32
Şekil 3.2. AA2024'ün iki boyutlu AFM görüntüleri .....	34
Şekil 3.3. AA2024'ün üç boyutlu AFM görüntüleri .....	35
Şekil 3.4. Hidrojen gazı çıkışına dayalı korozyon ölçümü deney düzeneği .....	36
Şekil 3.5. Elektrokimyasal deneylerin yapıldığı sistem .....	37
Şekil 3.6. Elektrokimyasal deneylerde kullanılan elektrotlar .....	37
Şekil 4.1. İnhibitörsüz ortamda 25, 35, 45 °C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı .....	40
Şekil 4.2. 100 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35, 45 °C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı .....	40
Şekil 4.3. 200 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35, 45 °C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı .....	41
Şekil 4.4. 300 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35, 45 °C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı .....	41
Şekil 4.5. 400 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35, 45 °C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı .....	42
Şekil 4.6. 25°C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı .....	42
Şekil 4.7. 35°C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı .....	43

Şekil 4.8. 45°C’de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı .....	43
Şekil 4.9. İnhibitörsüz ortamda çözeltinin 25, 35 ve 45°C’deki Tafel eğrileri .....	44
Şekil 4.10. 100 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35 ve 45°C’deki Tafel eğrileri .....	44
Şekil 4.11. 200 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35 ve 45°C’deki Tafel eğrileri .....	45
Şekil 4.12. 300 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35 ve 45°C’deki Tafel eğrileri .....	45
Şekil 4.13. 400 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35 ve 45°C’deki Tafel eğrileri .....	46
Şekil 4.14. 25°C’de inhibitörsüz ve 100-400 mg/L inhibitörlü ortamda Tafel eğrileri .....	46
Şekil 4.15. 35°C’de inhibitörsüz ve 100-400 mg/L inhibitörlü ortamda Tafel eğrileri .....	47
Şekil 4.16. 45°C’de inhibitörsüz ve 100-400 mg/L inhibitörlü ortamda Tafel eğrileri .....	47
Şekil 5.1. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası alüminyum numunelerin görüntüsü .....	50
Şekil 5.2. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası alüminyum numunelerin Stereo mikroskop görüntüleri .....	51
Şekil 5.3. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası alüminyum numunelerin Optik mikroskop görüntüleri .....	51
Şekil 5.4. Referans alüminyum numunesinin SEM görüntüsü .....	52
Şekil 5.5. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası inhibitörsüz ortamda alüminyum numunenin 25°C’deki SEM görüntüsü .....	53
Şekil 5.6. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 100 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 25°C’deki SEM görüntüsü .....	53
Şekil 5.7. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 200 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 25°C’deki SEM görüntüsü .....	54
Şekil 5.8. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 300 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 25°C’deki SEM görüntüsü .....	54
Şekil 5.9. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 400 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 25°C’deki SEM görüntüsü .....	55
Şekil 5.10. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası inhibitörsüz ortamda alüminyum numunenin 35°C’deki SEM görüntüsü .....	56
Şekil 5.11. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 100 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 35°C’deki SEM görüntüsü .....	56
Şekil 5.12. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 200 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 35°C’deki SEM görüntüsü .....	57
Şekil 5.13. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 300 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 35°C’deki SEM görüntüsü .....	57
Şekil 5.14. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 400 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 35°C’deki SEM görüntüsü .....	58
Şekil 5.15. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası inhibitörsüz ortamda alüminyum numunenin 45°C’deki SEM görüntüsü .....	59
Şekil 5.16. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 100 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 45°C’deki SEM görüntüsü .....	59
Şekil 5.17. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 200 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 45°C’deki SEM görüntüsü .....	60
Şekil 5.18. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 300 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 45°C’deki SEM görüntüsü .....	60
Şekil 5.19. Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 400 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 45°C’deki SEM görüntüsü .....	61

## TABLOLAR DİZİNİ



Tablo 3.1. Alüminyum 2024'ün kimyasal kompozisyonu (%) .....	46
Tablo 3.2. Alüminyum 2024'ün mekanik özellikleri .....	46
Tablo 4.1. Hidrojen gazı (ml) çıkışı zamana (dakika) bağlı ölçümleri .....	52
Tablo 4.2. Elektrokimyasal deneylerden elde edilen sonuçlar .....	61



## TEŞEKKÜR

Bu tezimi gerçekleŐtirebilmem için, bana imkân sağlayıp, tez yöneticiliğimi üstlenen, çalıŐmamın her aŐamasında yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen, elindeki tüm imkânları sınırsız olarak sunan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi. Mehmet Sadrettin ZEYBEK'e sonsuz teŐekkürlerimi sunarım. Bana maddi mnev tez çalıŐmalarımda destek olan ayrıca bana iÇ hayatına atılmam konusunda büyük yardımları olan değerli hocam Prof. Dr. Yüksel ABALI'ya sonsuz teŐekkürü borç bilirim. Bana güzel tavsiyelerde bulunan ve çalıŐmalarıma destek olan Kübra KARAGÖZ'e teşekkür ederim. ÇalıŐtıėım iÇ yeri Medoffice'in sahibi Yücel TEKER Bey'e deneysel çalıŐmalarım için verdiği izin ve destek için teŐekkürlerimi sunarım. Ayrıca Betül KŐEL'ye tez yazımında yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Tezimde numunelerimin mikroskopla görüntüleme kısımlarında yakın yardımını gördüğüm Manisa Celal Bayar Üniversitesi Makine mühendisliği bölümünden Gökhan EYC Hoca'ya teşekkür ederim. Ve hayatım boyunca bana maddi ve manevi destek olan aileme sonsuz teşekkür ederim. Bu çalıŐmanın gerçekleŐmesine yakın veya uzaklardan katılan herkese teşekkür ediyorum.

**Mohamadou ABDOULLAHI**

**Manisa, 2019**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### 2024 Alüminyum Alaşımının Korozyonunu Önlemek İçin Kahve Atıklarının(ekstraktı) Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Mohamadou ABDOULLAHI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi M. Sadrettin ZEYBEK

Hava, su ve toprak gibi çeşitli ortamlarda metal ve alaşımlarının kimyasal veya elektrokimyasal yolla özelliklerini kaybetmesi ya da bozulması olarak tanımlanan korozyon, evrensel bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Korozyonun neden olduğu kayıplar yüzünden her yıl ülkeler, bütçelerinde belli bir pay ayırmak durumunda kalmaktadır. Bu kayıplar tek başına malzemelerin bozulması ya da kaybı olmasının dışında hasar gören parçaların bakım, onarım ve değiştirilmesi maliyetlerini de kapsamaktadır. Korozyonun neden olduğu bu ekonomik ve çevresel etkiler, metallerin kullanıldığı köprüler, otoyollar, petrol ve gaz boru hatlarında, kimyasal üretim yapan tesislerdeki boru hatları ve tanklarda, su ve atık su boru hatlarında bariz bir şekilde görülmektedir.

Demirden sonra en yaygın kullanım alanına sahip metal olan alüminyum ise özellikle havacılık ve uzay sanayinde stratejik bir öneme sahiptir. Bu yüzden alüminyum korozyonunun önlenmesi ayrı bir önem arz etmektedir. Bu korozyonu önlemek için son yıllarda yapılan çalışmalarda artış gözlenmektedir. Bu çalışmalarda çevre dostu, ucuz ve kolay elde edilebilen korozyon önleyici malzemeler üzerine odaklanılmıştır. Bu çalışmada 2024 alüminyum alaşımının korozyonunu önlemek için kahve atıkları ve ekstraktlarının ucuz ve çevre dostu doğal bir kaynak olması nedeniyle organik inhibitör olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Deneysel çalışmalarda, 2024 alüminyum alaşımının hidrojen gazı çıkışına dayalı ve elektrokimyasal yöntemle; farklı sıcaklıklarda (25°C, 35°C ve 45°C'de), ve farklı inhibitör derişimlerinde (100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, ve 400 mg/L'de) kahve atıklarının korozyon inhibitör etkinliği incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda, 100 mg/L ve 200 mg/L'lik derişimler için en iyi inhibitör etkinliği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimesi:** Korozyon, alüminyum AA2024, Kahve atığı(telveli), inhibitör.

**2019, 67 sayfa.**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **Investigation of the Availability of Spent Coffee to Prevent Corrosion of 2024 Aluminum Alloys**

**Mohamadou Abdoullahi**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Chemistry**

**Advisor: M. Sadrettin ZEYBEK, PhD.**

Corrosion, defined as the degradation or losing their properties of metals and their alloys by chemical or electrochemical ways in various environments such as air, water, and soil, is a universal phenomenon. Due to the losses caused by corrosion, countries have to allocate a certain share in their budgets every year. These losses include the costs of maintenance, repair and replacement of damaged parts as well as the deterioration or loss of materials. These economic and environmental impacts caused by corrosion are evident in bridges where metals are used, in highways, in oil and gas pipelines, in pipelines and tanks in chemical manufacturing plants, in water and wastewater pipelines.

Aluminum, which has the most common usage after iron, has a strategic importance particularly in aerospace industry, for that reason, the prevention of aluminum corrosion is of particular importance. In order to prevent this corrosion, the studies carried out in recent years have multiplied.

These studies focused on environmentally friendly, inexpensive and easily obtainable anti-corrosion materials. The objective of this study is to evaluate coffee wastes and extracts as organic inhibitors due to being a cheap and environmentally friendly natural resource in order to prevent corrosion of 2024 aluminum alloy. In experimental studies, 2024 aluminum alloy based on hydrogen gas output and electrochemical method; corrosion inhibitor of coffee waste at different temperatures (25°C, 35°C and 45°C), and different inhibitor concentrations ( 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, and 400 mg/L) efficacy was investigated. As a result of the tests, the best inhibitory activity was determined for 100 mg/L and 200 mg/L concentrations.

**Keywords:** Corrosion, aluminium AA2024, coffee waste(spent), inhibitor.

**2019, 67 pages.**

## 1. GİRİŞ

Metal ve alaşımlarının çevre ile kimyasal veya elektrokimyasal etkileşimi sonucu kademeli bir şekilde bozunması ya da tahrip olması ile korozyon olayı gerçekleşir [1]. Endüstride metal ve alaşımlarının kullanıldığı çeşitli makine, ekipman ve boru hatları az ya da çok korozyona maruz kalmaktadırlar. Bunun yanında çeşitli metal içeren yapı elemanları, köprü, yol ve binalarda korozyon tehditi altındadır. Korozyonun neden olduğu tahribat sonucu, malzemelerin onarım, bakım veya değiştirilmesi ile ciddi ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Bu nedenle ekonomik kayıpları önlemek, ekipmanları korumak büyük önem arz etmektedir [2-5].

Demir dışı metallerin üretiminde ilk sırayı 1920'lerde kalay, 1940'larda kurşun, 1950'lerde bakır ve çinko alır iken günümüzde alüminyum liderlik bayrağını taşımaktadır. Bunun başlıca sebebi alüminyumun hafif, sert, korozyona dayanıklı, ısı ve elektriği iletmesi, dekoratif olması; ayrıca alüminyum alaşımlarının tüm üretim işlem süreçleri için uygun olmasından kaynaklanmaktadır [6-15].

Alüminyum genel korozyona karşı çok dayanıklıdır. Alüminyumun aşınmasına karşı iyi direnç, bir alümina filminin yüzeyinde oluşumuna bağlıdır [2]. Alüminyum, suyla temas ettiğinde kolayca bir oksit-hidroksit filmi oluşturabilen çok reaktif bir metaldir. Ancak özellikle uzay ve havacılık sanayi gibi stratejik öneme haiz alanlarda kullanıldığında ekonomik ömrü uzun olması için korozyonu önleyici tedbirler alınması kaçınılmaz olmaktadır. Alüminyum ve alaşımları için ekonomik, kolay bulunan ve kolay uygulanabilen çevre dostu inhibitörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuda agresif çözeltilere organik bileşikler ve mineral iyonlarının eklenmesi ile alüminyum ve alaşımlarının korozyonunun engellenmesi literatürde kapsamlı olarak incelenmiştir [3-5].

Bu çalışmada, 2024 alüminyum alaşımının korozyonunu önlemek için, düşük maliyetle ve bol miktarda temin edilebilmesi nedeniyle kahve atığı kullanılmıştır. Asit çözeltisinde, 2024 alüminyum alaşımının hidrojen gazı çıkışına dayalı korozyon ölçümleri sıcaklık, zaman ve inhibitör derişimine bağlı olarak incelenmiş ve aynı zamanda elektrokimyasal yöntemle de %3,5 NaCl çözeltisinde sıcaklık, farklı bileşimlerine bağlı olarak kahve atıklarının korozyon inhibitörü olarak etkileri incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Korozyon ve Korozyon Çeşitleri

Korozyon, farklı ortamlarda (sulu ortam, atmosfer, yüksek sıcaklıklar) her türlü malzemeyle (metaller, seramikler, polimerler, ...) kimyasal veya elektrokimyasal bir reaksiyonu sonucu oluşur ve bu, malzemelerin ve özelliklerinin bozulmasına neden olur [16]. Korozyonun mekanizmasını daha iyi anlayabilmek ve zararlarını önleyebilmek için metal ve alaşımlarının atomik düzeyde kimyasal olarak incelenmesi gerekir. Örneğin demir metalinin korozyonunu ele aldığımızda, demir atomları arasındaki boşluklarda, suda veya nemli havada bulunan oksijen  $O_2$  atomları  $Fe_2O_3$  (demir oksit)'i oluşturur aslında bu olay yükseltgenme indirgenme tepkimesidir ve pas olarak adlandırılan metal yüzeyinde kahverengimsi tortu oluşturan katmanlar ile karakterize edilen korozyon meydana gelir. Demir metalinin iyi iletkenliği nedeniyle sulu bir çözeltide bu olay daha hızlı gerçekleşir.



**Şekil 2.1 Demirin oksitlenmesi [16].**

Korozyonun doğrudan ve dolaylı olarak yol açtığı ekonomik kayıpları önlemek için alınması gereken tedbirlerin başlıcaları korozyona dayanıklı malzemeler, yüzey kaplamaları, etkinliğini azaltmak amacıyla saldırgan ortamlara yapılan ilaveler ve görevini yapamayacak derecede bozunmuş parçaların yenileri ile değiştirilmeleridir. Bu

tedbirler bir anlamda korozyonun maliyetini oluşturmaktadır. Korozyon doğrudan ürün kaybına yol açabildiği gibi (delinmiş depo veya iletim hattı borularında petrol veya su kaybı) ürünü kirleterek kullanılmaz hale dönüştürebilir (korozyon ürünlerinin ana ürüne karışması). Korozyon ürünlerinin yüzeysel yığılımı ısı geçirgenlik katsayısını önemli ölçüde düşürerek (örneğin; sıcak su ve buhar hazırlama tesislerinde) verimin düşmesine yol açar. Bu türden kayıplar dolaylı kayıplar olarak tanımlanır.

Korozyonun insan ve çevre açısından etkilerinden biriside can ve mal emniyetidir. Örneğin, korozyon sonucunda oluşan beklenmedik malzeme bozunmaları, yüksek basınçlı kazan ve benzeri tesislerin patlamasına ve çevreye zarar vermelerine neden olabilir. Bir diğer örnek ise gıda maddelerinin saklandığı kapların korozyon ürünleri ile kirlenerek sağlığa zararlı hale gelmeleridir.

Korozyonu geciktirmenin en önemli katma değerlerinden birisi de hammadde rezervlerini korumaktır. Gerçekte büyük bir zorlama sonucu oksitlerinden arıtılarak kazanılan metalleri (örneğin, demir cevherlerinden ham demir elde etmek için yüksek fırında gerçekleştirilen olaylar) korozyon yolu ile tekrar oksit haline dönüştürerek kaybetmek hammadde rezervlerinin daha kısa sürede tüketilmesi anlamına gelir. Özellikle bazı metal rezervlerinin hızla azalmakta olduğu dikkate alındığında korozyona ilgi zamanla daha da artacaktır [17].

Korozyon nedeni ile ülkelerin uğradığı zararın boyutları metal kullanımının hızla arttığı ikinci dünya savaşından sonra özellikle dikkati çekmeye başlamıştır. Değişik ülkelerde yapılan korozyon kaybı tahminleri bu kaybın boyutlarının, yalnız metalik malzemeler için dahi gayri safi milli hasılanın %3,5 ile 5'i arasında değiştiğini göstermektedir. Bu alanda bilinen en kapsamlı araştırma ilk olarak ABD'de (Amerika Birleşik Devletleri) NBS'nin (National Bureau of Standards) 1978 yılında yayınladığı çalışmadır. Bu çalışmada ülke ekonomisi 130 sektöre bölünerek her sektördeki doğrudan ve dolaylı korozyon kaybı ile doğrudan ve dolaylı önlenemez korozyon, girdi-çıkıtı analizi ile incelenmiş ve her sektör için endüstri katsayıları; birim dolar başına korozyon kayıpları ve önlenemez korozyon kayıpları olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmadaki katsayıların uyarlanmış değerleri kullanılarak, Türk ekonomisinin 1991 yılına ait girdi-çıkıtı verilerinden yararlanılarak, Türkiye'nin metalik korozyon kaybı tahmini yapılmıştır. Ayrıca ülkemizin en önemli 15 sektörüne ait toplam önlenemez korozyon kaybı değerleri

hesaplanmıştır. Türkiye'nin toplam korozyon kaybı GSMH'sinin %4,36'sı, önlenebilir korozyon kaybı da %1,63 olduğu tespit edilmiştir [18].

### **2.1.1. Uniform (Genel korozyon)**

Korozyona maruz kalan metalin bütün yüzeyinin düzgün bir şekilde incilmesi ile ortaya çıkan bir korozyon çeşididir. Bir başka deyişle korozif madde ile etkileşen metal yüzey ilgili korozyon ürününe dönüşür. En bilinen örnek çeliğin atmosferik ortamda paslanmasıdır. Alüminyum ve alaşımlarında ise asidik ve bazik ortamda bu tür korozyona rastlanmaktadır. Malzemenin her bölgesinde aynı oranda kayıplar söz konusu olduğundan korozyon hızı hesaplanarak ilgili malzemenin ömrü tespit edilebilmekte ve önlem alınabilmektedir.

### **2.1.2. Çukur korozyon**

Metal yüzeyinde biriken toz, pas ya da korozyon ürünleri nedeniyle homojen olmayan yüzeylerde meydana gelen bir korozyon çeşididir. Metal alaşımları da bu grup içerisinde değerlendirilebilir. Metal yüzeyinde lokal olarak meydana gelen bu potansiyel farklar çukur korozyonunun oluşumuna neden olur. Çukur korozyonu, çelikler, paslanmaz çelikler, nikel, titanyum, alüminyum veya bakır alaşımları gibi çok çeşitli malzemeleri ilgilendiren yaygın bir olaydır.



**Şekil 2.2.** Paslanmaz çeliğin çukur korozyonu [16].



### **2.1.3. Galvanik korozyon**

Galvanik korozyon, farklı standart indirgenme potansiyeline sahip iki farklı metalin veya alaşımın iletken aşındırıcı bir ortamda birbiri ile teması sonucu ortaya çıkan bir korozyon çeşididir. Standart indirgenme potansiyeli düşük olan metal anodik hale geldiğinden korozyona uğrar. Ve metaller arasında potansiyel fark yüksek ise korozyon çok daha hızlı bir şekilde gerçekleşir.

Bu korozyonu önlemek için ilgili galvanik serisinde mümkün olduğu kadar yakın olan metal çiftleri seçilmelidir [16].

### **2.1.4. Taneler arası korozyonu**

Adından da anlaşılacağı gibi, bu korozyon şekli, malzemenin tane sınırlarında lokalize bir saldırı ile kendini gösterir. Tanecikler arası korozyonda, tanecik sınırında fiziksel ve kimyasal olarak farklı bölgeler bulunur. Tane sınırlarının tane içine nazaran potansiyel farkı daha büyük olduğundan daha soy yapıda olan tane içi korunurken tane sınırı korozyona maruz kalır. Bu korozyon çeşidinde çok küçük kütle kayıpları yaşanmasına rağmen tane sınırına yakın bölgelerde korozyon çok hızlı bir şekilde gerçekleşir. Östenik paslanmaz çeliklerde krom karbür çökmesi bu tip korozyona örnek olarak verilebilir [16].

### **2.1.5. Erozyon ve Kavite Korozyonu**

Bir metal ile korozif ortam arasında harekete bağlı olarak metalin yüzeyinde aşınma sonucu oluşan bir korozyon çeşididir. Korozif akışkanın metal yüzeyinden hızla akması sonucu korozyon ile birlikte bir erozyon olayı da gerçekleşebilir. Korozyon erozyonu birçok malzemede (alüminyum, çelik ) sıklıkla karşılaşılır ve deniz ortamındaki bakırın korozyonu bu korozyon tipine verilecek en güzel örnektir.



**Şekil 2.3.** Türbülanslı bir bölgede korozyon erozyonu [16].

Kavitasyon korozyonu, korozyon ve kavitasyon baloncuklarının bir araya gelme etkisi altında malzemenin hızlı bir şekilde parçalanması ile meydana gelir. Akışkanlar mekaniğinde iyi bilinen kavitasyon olgusu, basıncın lokal olarak azalmasının ardından türbülanslı bir akışta kabarcık oluşumu meydana gelir. Bu kabarcıklar, basıncın daha yüksek olduğu bir alana ulaştığında, bir şok dalgası meydana getirir. Ayrıca, pasif filmde tekrarlanan kopmalara ve lokalize saldırıya yol açan malzemenin bölgesel yorgunluğunu artırır. Bu korozyon türü özellikle gemi pervaneleri, hidrolik pompa veya türbinlerin döner parçalarında karşımıza çıkmaktadır.



**Şekil 2.4.** Hastelloy C276 nikel alaşımlı pompa kanadının hidroklorik asit ortamında kavitasyon korozyonu [16].

### 2.1.6. Gerilme korozyonu (gerilmeli korozyon çatlaması)

Korozif ortamda metal aynı zamanda statik olarak bir gerilim altında bulunuyorsa çatlaması ve kırılması için uygun ortam oluşur. Metal yüzeyinde bulunan çukurcuklar korozyonun ortaya çıkması için uygun bir ortam oluşturur. Normal korozyon mekanizmalarında metal yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşurken gerilim altında metal yüzeyinde böyle bir kabuk oluşmaz. Bu bölgede korozyon oluşumu devam ederek metal yüzeyinde çatlaklar meydana gelir. Tehlikeli bir korozyon tipidir. Meydana gelen çatlaklar yüzünden gerilim altında aniden tehlikeli bir şekilde metal kırılabilir. Bu korozyon tipine pirincin çatlayarak korozyona uğraması örnek olarak verilebilir. Pirinçten yapılmış bazı ziraat aletleri amonyak varlığında korozyona uğrarlar. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının deniz suyu ile teması sonucunda da benzer şekilde gerilmeli çatlak korozyonu meydana gelir [16].



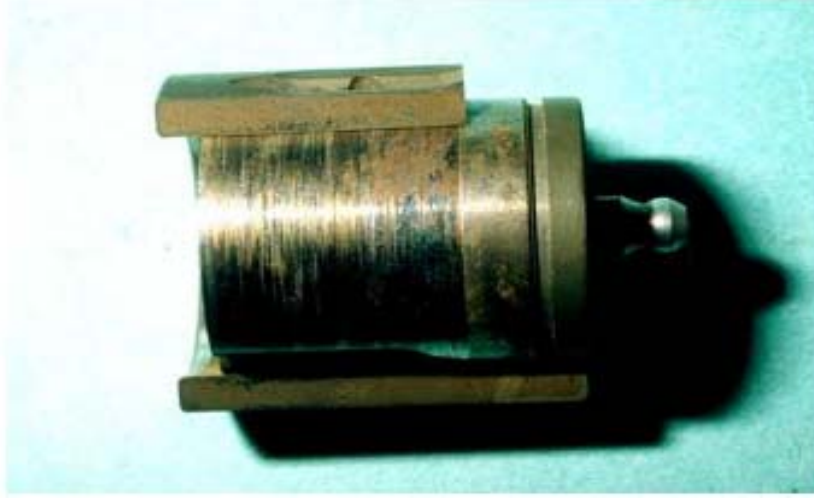
Şekil 2.5. Gerilme korozyonunun örneği [16].

### 2.1.7. Seçimli korozyon

Adından da anlaşılacağı gibi, bu korozyon türü, homojen ise alaşım elementlerinden birinin veya alaşım çok fazlı ise fazlardan birinin seçici olarak çözülmesine neden olur. Pirinçte kirlenme (çinko seçici çözülme) (örneğin 70Cu -30Zn) en iyi bilinen örnektir [16]. Pirinç içinde bulunan çinko, bakırdan önce korozyona uğrar ve alaşım üzerinde bakır metali gözenekli bir yapıda kalır.

### 2.1.8. Sürtünme Korozyon

Korozyon sürtünmesi, iki metal yüzeyin birbirine göre göreceli hareketlerinde temasında korozyonun neden olduğu zarardır. Temelde arayüz titreşimlere (temastaki iki yüzeyin tekrarlanan hareketi) ve sıkıştırma yüklerine maruz kaldığında meydana gelir. Bu göreceli hareket çok küçük olabilir (birkaç mikrometre sırasındaki "küçük sapmalar"). Aşındırıcı bir ortamda sürekli bir sürtünme hareketinin varlığında, tercihen tribo korozyon terimi kullanılır [16].



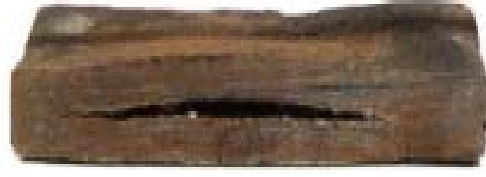
Şekil 2.6. Sürtünme korozyonun örneği [16].

### 2.1.9. Yorulmalı korozyon

Gerilmeli korozyona çok benzer, bu korozyon çeşidi ortamın birleşik hareketi ve döngüsel bir gerilim altında görünür. Malzemenin yorulma direncinin düşmesiyle kendini gösterir. Çoğu zaman ve çözülme ve yeniden hareketlenme kinetiği düşünüldüğünde, mekanik olaylara göre oldukça yavaş olduğu için, bu tür hasarlar, örneğin ısıtma-soğutma yapılarının döngüleri sırasında, düşük frekansta gerilmiş kısımlarda meydana gelir [16]. Bu korozyon türüne tren tekerleklerinde sıklıkla rastlanmaktadır.

### 2.1.10. Hidrojen kırılmalı korozyonu

Bir metal yapısında hidrojenin varlığı, metalin mekanik özelliklerinde ciddi bir azalma ve malzemenin önemli ölçüde bozulmasına yol açabilir. Genel olarak sıradan çelikleri etkileyen bu konu, materyal, dekapaj sırasında hafif agresif bir ortamın varlığında veya katodik aşırı korumanın olması durumunda ortaya çıkar (örneğin depolama tankları) [16].



Şekil 2.7. Hidrojen kaynaklı korozyon [16].

### 2.2. Korozyonu etkileyen faktörler

Metalin doğası ve korozif ortamın doğası toplam korozyon hızına eşit ölçüde etki ederler. Bu nedenle korozyona etki eden faktörler iki gruba ayrılır. İlk grupta metalin doğasına bağlı olan parametrelerdir. Metal ve metal alaşımlarının aralarındaki potansiyel fark, anot ve katodun bağlı alanları, metalin saflığı, korozyon ürününün doğası, metalin pasifleşmesi ve aşırı gerilimdir. İkinci grupta ise korozif ortamın doğasına bağlı olan parametrelerdir. Bunlar pH, ortamın iletkenliği, nem, korozif malzemenin derişimi, akışkanın hızı, ortamda oksijen varlığı, polarizasyon, oksidanların varlığı ve sıcaklıktır [19].

### 2.3. Korozyon inhibitörleri

Tarihte inhibitörler ilk olarak ne zaman kullanıldığı bilinmemekle birlikte demir ve bronzun korozyonunu önlemek için inhibisyona dayanan bazı koruma yöntemlerini Romalıların kullandığı bilinmektedir. Korozyonla ilgili ilk çalışmalar 17. yüzyılda başlamış olmasına rağmen 19. Yüzyıldan sonra korozyonu önlemeye yönelik bilimsel araştırmalar yapılmaya başlandı. 1945 yılına kadar literatürde korozyon inhibitörleri ile ilgili sınırlı sayıda kaynak bulunmaktadır (<30). Endüstri devriminden sonra günümüze

kadar olan dönemde korozyonu önlemeye ilişkin çeşitli makalelerin sayısı başdöndürücü bir hızla artmıştır [33-34].

İnhibitör, korozyon ortamında düşük seviyelere ilave edilen, bir metalin bu besiyeri ile temas halinde olan korozyona uğrama sürecini yavaşlatan ve hatta durduran kimyasal bir bileşiktir [31]. Amerika Ulusal Korozyon Mühendisleri Birliği (NACE) tarafından benimsenmiş olan tanıma göre inhibitör içinde bulunduğu ortama eklendiğinde korozyonu geciktiren bir maddedir. Bir korozyon önleyici, metalin fizikokimyasal özelliklerini korurken, metalin korozyon oranını düşürmelidir. İnhibitörün kullanım sıcaklığında kararlı ve düşük derişimlerde etkili olması istenir.

Genel olarak, bir inhibitör aşağıda verilen özellikleri taşımalıdır:

- Bir metalin korozyon hızını, fizikokimyasal özellikleri etkilemeden, özellikle mekanik mukavemeti düşürmeli,
- Ortamın diğer bileşenlerinin varlığında, özellikle oksidanlar açısından kararlı olmalı,
- Kullanım sıcaklıklarında kararlı olmalı,
- Düşük derişimlerde etkili olmalı,
- Toksik olmamalı ve standartlarla uyumlu olmalı,
- Ucuz olmalıdır. [43].

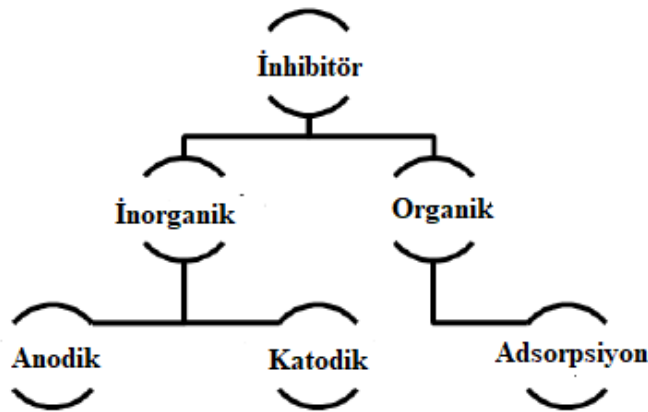
#### **2.4. Korozyon İnhibitörlerinin Sınıflandırılması**

Korozyon inhibitörlerini sınıflandırmanın birkaç yolu vardır. Genel olarak, uygulama alanlarına, ürünlerin formülasyonuna, inhibe edilmiş elektrokimyasal reaksiyona veya dahil olan reaksiyon mekanizmasına göre sınıflandırılırlar.

Uygulama alanı ile ilgili sınıflandırmada, sulu, organik veya gazlı ortamda kullanılan korozyon inhibitörleri şeklinde tasnif etmek mümkündür. Sulu ortamda kullanılanlar ortamın pH'ına göre seçilir: bir asit ortamında, bir sıyırma veya kireç çözme işlemi sırasında ve nötr / alkali bir ortamda çeliğin kimyasal olarak aşınmasını önlemek için kullanılır, soğutma devresi hatlarını korumak için sıklıkla kullanılırlar. Organik ortamda kullanılan inhibitörler motor yağlama maddelerine, benzine veya boyalara dahil edilir. Gaz fazındaki inhibitörler, metal cisimlerin taşınması ve depolanması sırasında korunması için kullanılır. Bunun için yüksek buhar basıncına sahip organik bileşikler sıklıkla kullanılır [36].

Korozyon inhibitörleri sentetik veya doğal kimyasallar olabilir ve aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- a) Doğada bulunuşlarına göre organik veya inorganik,
- b) Anodik, katodik veya anodik-katodik karışım olarak etki mekanizması ve adsorpsiyon eylemine göre,
- c) Oksidan olmasına veya olmamasına göre sınıflandırılabilir (Şekil 2.8)

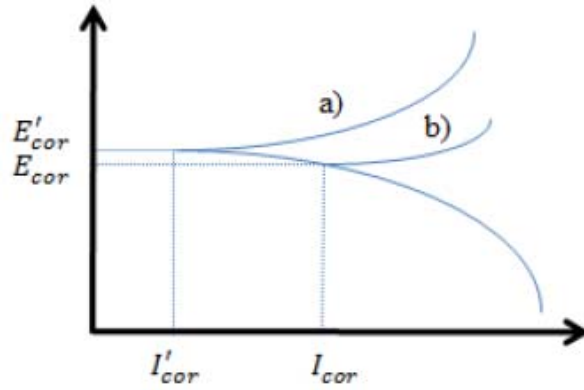


Şekil 2.8. İnhibitörlerin sınıflandırılması [21].

#### 2.4.1. İnorganik inhibitörler

**1. Anodik inhibitörler:** Pasivasyon inhibitörleri olarak adlandırılır. Anodik inhibitörler, indirgeyici bir anodik reaksiyon ile hareket eder, yani anot reaksiyonunu bloke eder ve aynı zamanda metal üzerine adsorbe edilen bir filmin oluşturulmasından dolayı pasivasyon metal yüzeyinin doğal reaksiyonunu destekler.

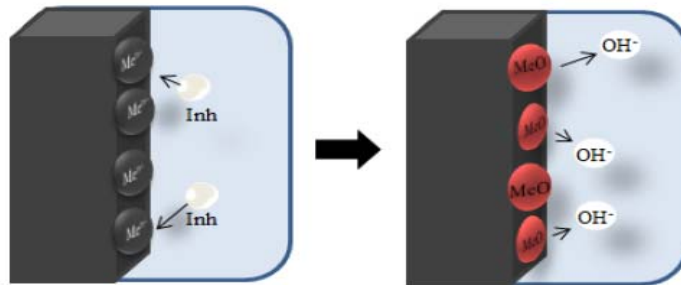
Genel olarak, inhibitörler başlangıçta oluşmuş olan ve metal yüzey üzerinde bir yapışkan ve çözünmez film ile sonuçlanan korozyon ürünü ile reaksiyona girer [21]. Soğutma suyu sistemlerini, soğutma sistemi metalleri ve çelik-beton kompozitleri işlemek için nötr pH aralığında kullanılırlar [22]. Şekil 2.9'da bir çözeltideki anodik inhibitör davranışının potansiyostatik polarizasyon diyagramını verilmiştir. Anodik reaksiyon korozyon inhibitörlerinden etkilenir ve metalin korozyon potansiyeli daha pozitif değerlere kaydırılır. Ayrıca, eğri içindeki akımın değeri de korozyon inhibitörünün varlığı ile azalmaktadır.



**Şekil 2.9.** Potansiyostatik polarizasyon diyagramı:

- Bir metalin anodik inhibitörlü bir çözeltide elektrokimyasal davranışı,
- İnhibitörsüze karşı [21].

Anodik inhibitörler, anot üzerinde üretilen metalik iyonlar  $Me^{n+}$  ile reaksiyona girerek, genellikle, çözünmez film olarak metal yüzey üzerinde biriken ve metalik iyonla karşı geçirgen olmayan çözünmeyen hidroksitler oluştururlar. İnhibitörlerin hidrolizinden  $OH^-$  iyonları oluşur. Şekil 2.10, anodik inhibitör etkinin mekanizmasının nasıl olduğunu göstermektedir.



**Şekil 2.10** Anodik inhibitörlerin etkisi ve etki mekanizmaları [21].

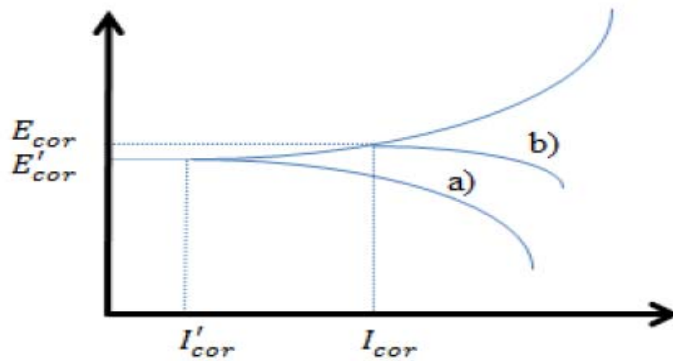
İnhibitörün derişimleri yeterince yüksek olduğunda, birincil pasivasyon potansiyelindeki katodik akım yoğunluğu kritik anodik akım yoğunluğundan daha yüksek olur ve sonuç olarak metal pasifleştirilir. Anodik inhibitörlerin etkisi için inhibitör derişimlerinin çözelti içinde yeterince olması çok önemlidir. İnhibitörlerin uygun olmayan



miktarı film korumasının oluşumunu etkiler, çünkü metali tamamen kapatmaz, açığa çıkan metalin alanlarını terk eder ve böylece lokal bir korozyona neden olur. Kritik değere kadar olan derişimler hiç inhibitör içermediğinden daha kötüdür. Genel olarak çukurlaşmaya, katodik olana göre anodik alanda azalmaya neden olabilir veya pasifliğin tam olarak bozulmasından dolayı genel korozyon gibi korozyonu hızlandırabilir. Anodik inorganik inhibitörlerin bazı örnekleri nitratlar, molibdatlar, sodyum kromatlar, fosfatlar, hidroksitler ve silikatlardır.

**2. Katodik inhibitörler:** Korozyon işlemi sırasında, katodik korozyon inhibitörleri, metalin katodik reaksiyonunun oluşmasını engeller. Bu inhibitörler, alkalilik nedeniyle bir katodik reaksiyon üretebilen metal iyonlarına sahiptir. Böylece katodik bölgeler üzerinde seçici olarak çökelen çözünmeyen bileşikler üretir [21]. Bu nedenle bu inhibitörlere çökeltme inhibitörleri de denir [22].

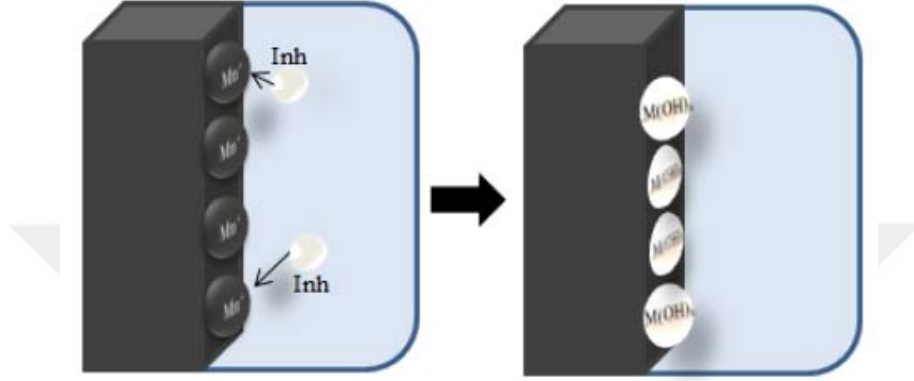
Şekil 2.11, bir katodik inhibitör ile çözeltideki metalin polarizasyon eğrisinin bir örneğini göstermektedir. Katodik reaksiyon etkilendiğinde, korozyon potansiyeli daha negatif değerlere kaydırılır.



**Şekil 2.11.** Potansiyostatik polarizasyon şeması: a) Bir katodik inhibitör çözeltisinde metalin elektrokimyasal davranışı, b) inhibitör olmadan aynı çözeltiyle kıyaslanması [21].

Katodik inhibitörler, metali kaplayan ve üzerinde çözünmeyen çökeltilerin bir bariyerini oluşturur. Malzeme tamamen daldırılmış olsa bile, inhibitör korozyon

reaksiyonunun ortaya çıkmasını önleyerek metal ile çevrenin temasını kısıtlar. Bundan dolayı, katodik inhibitörler derişimlerden bağımsızdır, dolayısıyla anodik inhibitörden çok daha güvenlidirler. Şekil 2.12, korozyon sürecini dizginlemek için katodik inhibitörlerin mekanik etkisini göstermektedir.



**Şekil 2.12** Katodik inorganik inhibitörlerin etkisi ve etki mekanizmaları [21].

İnorganik katodik inhibitörlerin bazı örnekleri ( $Mg(OH)_2$ ,  $Zn(OH)_2$ ,  $Ni(OH)_2$ ), onu koruyan metal yüzeyin katodik bölgesi üzerinde biriken çözünmeyen hidroksitleri oluşturan suyun hidroksil ( $OH^-$ ) ile reaksiyona giren magnezyum, çinko ve nikelin iyonlarıdır. Aynı reaksiyon mekanizmasını sunan örnekler olarak ayrıca polifosfatlar, fosfonatlar, tanenler, ligninler ve kalsiyum tuzları da kullanılabilir. Sert sularda, magnezyum veya kalsiyum bikarbonatın bunun üzerindeki etkisine bağılı olarak, bu tür bir inhibe etme mekanizmasının bir çeşididir. Geçici sert su, metalin üzerine aktığı zaman, karbonatların çekirdeklenmesine yardımcı olabilir, dengeye yakın reaksiyonlara izin verir ve metal yüzeyde çökelti oluşturur. Bu çökelti,  $CaCO_3$  gibi, katodik alanı kaplar, metali korur. Bu nedenle bu katodik inhibitör sadece suyun kimyasallığına bağılıdır, metal bileşime bağılı değildir, çünkü tüm metallere uygulanabilir.

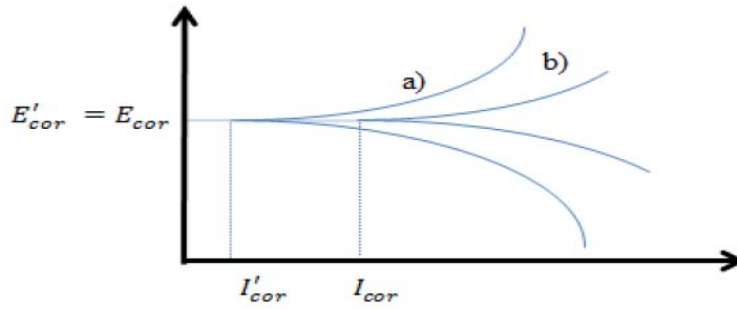
#### 2.4.2 Organik inhibitörler

Organik inhibitörlerin varlığında bazen hem anodik hem de katodik etkiler gözlemlenir, ancak genel bir kural olarak, organik inhibitörler yeterli derişim mevcut

olduğunda korozyon metalinin tüm yüzeyini etkiler. Genellikle film oluşturuca olarak adlandırılan organik inhibitörler, metali metal yüzeyinde hidrofobik bir film oluşturarak korurlar. Etkinlikleri kimyasal bileşime, moleküler yapısına ve metal yüzeyine olan yakınlığına bağlıdır. Adsorpsiyon prosesi olduğu için film formasyonunda sistemdeki sıcaklık ve basınç önemli faktörlerdir [23].

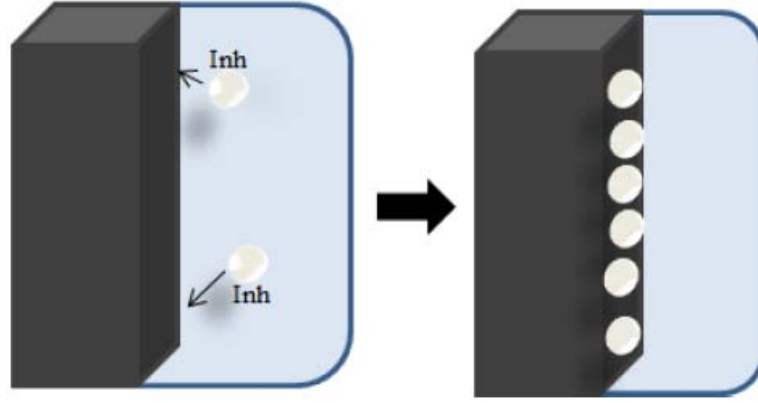
Organik inhibitörler, inhibitörün iyonik yüküne ve yüzeydeki yüke göre adsorbe edilecektir. Doğal olarak, moleküllerin metal yüzeyler için güçlü bir çekicilik sergiledikleri, iyi inhibisyon verimi ve düşük çevresel risk gösteren bileşiklerdir.

Teorik potansiyostatik polarizasyon eğrisini gösteren Şekil 2.13'de, metal üzerinde organik inhibitör içeren çözeltinin etkisinin anodik ve katodik bir davranış sergilediği görülmektedir. İnhibitör eklendikten sonra korozyon potansiyeli aynı kalır, ancak akım  $I_{cor}$ 'dan  $I'_{cor}$ 'a düşer.



**Şekil 2.13** Teorik potansiyostatik polarizasyon diyagramı: a) anodik ve katodik bir inhibitör içeren çözeltideki metalin elektrokimyasal davranışı, b) inhibitör olmadan aynı çözeltiyle kıyaslanması [21].

Şekil 2.14'de, metal yüzeye adsorbe edildiğinde ve üzerine bir koruyucu film oluşturulduğunda organik inhibitörlerin harekete geçirme mekanizması gösterilmiştir [21].



**Şekil 2.14.** Organik inhibitörün harekete geçirme mekanizmasının gösterimi: [21].

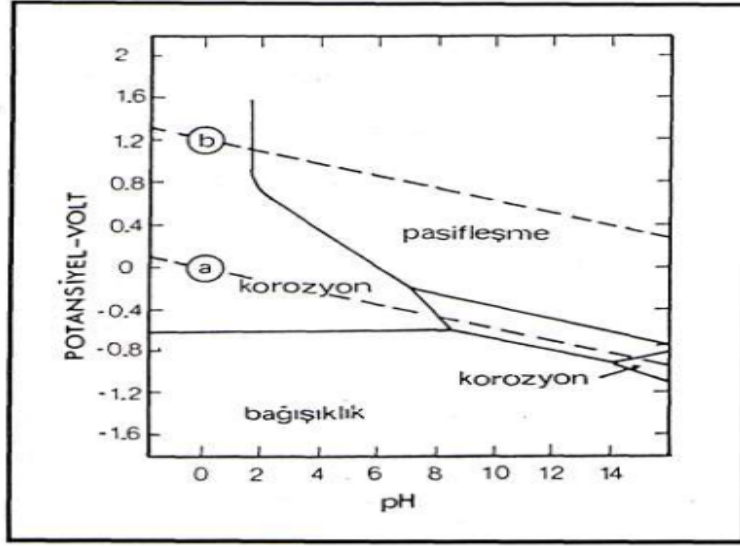
## 2.5. Korozyondan Korunma Yöntemleri

Belli bir ortam içinde bulunan metalik yapının korozyonunu önlemek veya korozyon hızını azaltmak için alınacak önlemler: elektrokimyasal, kimyasal ve koruyucu kaplamalar olmak üzere üç ana grupta toplanır.

### 2.5.1 Elektrokimyasal Yöntemler

#### \* Anodik Koruma

Anodik koruma metalleri korozyondan korumak için uygulanan ilginç bir elektrokimyasal yöntemdir. Bu yöntemde metale anodik yönde bir dış akım uygulanarak metalin pasiflik potansiyeline gelmesi sağlanır. Anodik koruma esas olarak bir pasifleştirme işlemi olarak kabul edilebilir. Bu nedenle yöntem ancak pasifleşme özelliği olan metallere uygulanabilir [24].

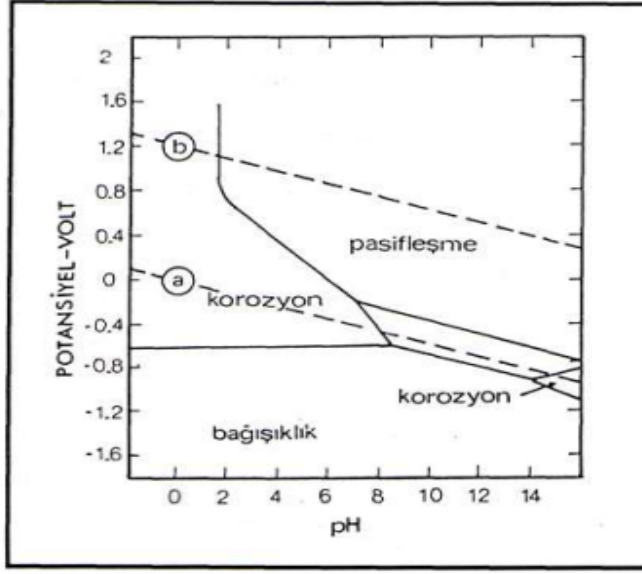


Şekil. 2.15 Anodik Koruma ile ilgili bir mekanizma [24].

Anodik korumada, potansiyel ve akımkontrolünün çok iyi yapılması gerekir. Eğer sistemde bir arıza meydana gelirse, korunan metal kısa sürede korozyona uğrayabilir. Bu nedenle anodik koruma genellikle şiddetli korozyon olayının söz konusu olduğu ortamlarda korozyon hızını azaltmak amacıyla kullanılır.

#### \*Katodik Koruma

Katodik koruma metalleri korozyondan korumak için kullanılan en etkili yöntemdir. Katodik koruma, elektrokimyasal hücreden net bir akım geçtiğinde anotta oksidasyon reaksiyonu, katotta buna eşdeğer olacak şekilde redüksiyon reaksiyonu yürür. Böyle bir sistem içinde katot bölgesinde hiçbir şekilde korozyon olayı meydana gelmez. Bu teoriye dayanarak bir metalin yüzeyindeki anodik bölgeler katot haline dönüştürülerek korozyon olayı kesin şekilde önlenir [24].



Şekil 2.16 Katodik Koruma ile ilgili bir mekanizma

### 2.5.2. Kimyasal Yöntemler

Korozyondan kimyasal yöntemlerle korunma 3 ana başlık altında toplanır. Bunlar, inhibitör kullanılması, söz konusu ortamda dayanıklı bir metal veya alaşımın seçilmesi ve çevrenin kimyasal bileşiminin değiştirilmesidir.

#### \* İnhibitör kullanılması

Korozyona karşı dayanıklı fakat pahalı olan bir malzeme kullanmak yerine bazı durumlarda ortama inhibitör katılarak daha ucuz malzemelerin kullanılması yoluna gidilir. İnhibitör kullanımı çukur korozyonuna karşı en ekonomik çözüm yoludur. Bazı inhibitörler metal yüzeyinde ince bir film oluşturarak, metal ile çevresi arasındaki reaksiyon hızını yavaşlatır. Bazı durumlarda ortamda bulunan korozyon yapıcı bileşenin, örneğin çözünmüş oksijenin inhibitör tarafından kimyasal olarak bağlanması ile korozyon önlenir.

### **2.5.3. Koruyucu kaplamalar**

#### **\* Boya ile koruma**

Boyalar, metal yüzeyini çevreden yalıtarak su ve oksijenin metal yüzeyine ulaşmasını önleyen genellikle organik malzemelerdir. Boyaların bileşiminde korozyonu önleyici çeşitli pigmentler kullanılır.

Boyalar, uygulama kolaylığı ve düşük maliyetleri nedeniyle korozyondan korumak üzere yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla çok sayıda boya cinsleri geliştirilmiştir. Bunların kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı olmakla beraber, hepsinde ortak olan, sağlam ve geçirimsiz bir kabuk oluşturarak metalin çevresi ile temasını önlemektir.

#### **\* Metalik Kaplama ile Koruma**

Metalik bir yüzeyi korumak amacı ile üzerine kaplanan metal, ya bu metale göre ortama daha dayanıklı soy bir metal veya bu metali korumak için kendisi tercihli olarak çözünür ve kapladığı metalin çözünmesine engel olur. Yani daha aktiftir.

Birinci tip yani soy metal kaplamalarına örnek, bakır üzerine altın veya gümüş, çelik üzerine kalay kurşun veya krom kaplamadır.

İkinci tip, yani aktif kaplama metallerine ise, çelik üzerine çinko, kadmiyum, alüminyum kaplama örnek gösterilebilir.

#### **\* Soy malzeme ile kaplama**

Soy metaller ile yapılan kaplamalarda meydana gelen hatalar, devamsızlıklar (çizikler, gözenekler, kesik-çentik kenarlar) altından açığa çıkan alt metal soy metale göre anot olur. Bu bölgelerde büyük katot – küçük anot etkisi ile şiddetli korozyon olayı görülür. Bu nedenle bu tip kaplamalarda kaplama hataları çok tehlikeli sonuçlar doğurur.

#### **\* Aktif metalle kaplama**

Aktif kaplama metallerindeki küçük devamsızlıklar altından açığa çıkan alt metal ise korozyona uğramaz. Çünkü aktif metal kendisi harcanarak bir çeşit katodik koruma ile alt metali korur. Aktif metaller ile kaplamada ilginç bir yöntem de, aktif metal

yüzeylerinin kromat veya fosfat tabakası ile kaplanmasıdır. Bu durumda aktif metalin çözünmesi büyük ölçüde azalır.

## 2.6. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Korozyonu

Alüminyum ve alaşımları hafifliği yanı sıra sağlamlığı ve kolay şekillendirilebilme özellikleri sayesinde endüstride giderek artan kullanım alanına sahip olmuştur. Bu alaşımlar içerisinde 2024, 6061, ve 7075 kalite alüminyum alaşımlarının özellikle savunma ve havacılık sanayinde önemi ve kullanım alanları hızla artmaktadır [25].

Alüminyum atmosferik, sulu, petrokimyasal ve kimyasal sistemler içeren birçok çevrede mükemmel bir korozyon direnci gösterir. Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır. Sünek bir malzemedir, düşük yoğunluğa ve ergime sıcaklığına sahiptir. Bundan dolayı kolaylıkla makine ile işlenebilir, dökülebilir ve ekstrüze edilebilir [26].

Orta dayanımlı sertleşebilir Al-Mg-Si alaşımları (%0,4-3,5 Mg ve %0,3-1,5 Si), iyi şekillendirebildiği nedeniyle yaygın kullanırlar. Al-Cu-Mg alaşımlarıyla karıştırıldığında interkristalin korozyona karşı daha dirençli olduğunu görülmektedir. Deniz suyuna karşı dayanımı iyidir. Gemi yapımı dışında tekstil ve gıda maddeleri endüstrisinde, aparat yapımında ve benzer yerlerde kullanılır. Fe ve Cu miktarı, korozyon oluşumuna yönelik etki yaptığından, genellikle %0,5 Fe ve %0,1 Cu miktarlarının geçilmesine izin vermez. Mn ve Cr ilavesiyle, Fe ve Cu elementlerinin olumsuz etkisi azaltılabilir. Al-Zn-Mg alaşımları, orta dayanımlı ve çökeltmeyle sertleştirilebilir konstrüksiyon malzemeleridir. Al-Cu-Mg alaşımlarına nazaran daha iyi korozyon dayanımı gösterirler, fakat korozyon dayanımı Al-Mg- ve Al-Mg-Si alaşımlarına nazaran daha azdır. Atmosferik koşullarda, alaşımı koruyan siyah kaplama tabakası oluşur. Buna karşılık, su buharı Al-Zn-Mg alaşımlarında şiddetli korozyona neden olur. Ayrıca, gerilim çatlakları korozyonuna da eğilimi vardır. Korozyon duyarlılık, yükselen Mg ve Zn miktarıyla artar. Genel olarak, gerilim çatlakları korozyonunu önlemek için toplam alaşım miktarının %5-6'yı aşmaması gerekir. Daha yüksek alaşım miktarlarında, %0,1-0,15 krom ilavesi, gerilim çatlakları korozyonunu azaltır. Al-Zn- Mg-Cu yüksek dayanımlı, sertleşebilir alaşımlarıdır. Al-Cu-Mg alaşımlarında olduğu gibi öncelikli olarak mekanik özelliklerinden dolayı kullanırlar. Kullanım yerlerine örnek olarak, madencilik sektörü,



uçak ve makine imalatı verilebilir. Sıcak sertleştirilmiş halde 500 MPa dayanım değeri elde edilir. Al-Zn-Mg alaşımlarında olduğu gibi, %0,1-0,3 krom ilavesi, gerilme çatlakları korozyonuna karşı eğilimi azaltır [27].

Alüminyum, dünyada demir dışı metallerin tüketiminde ilk sırada gelmektedir. Alüminyum ve alaşımları için uygulamaların geliştirilmesi ve tüketimde sürekli artış, özellikle ulaşım, inşaat, elektrik ve ambalajlama alanlarında kullanıcıların metal seçiminde belirleyici kriterler olan özelliklerinin birçoğuna bağlanabilir [28].

Bu avantajlar;

- Alüminyum tüm yaygın metallerin en hafifidir. Yoğunluğu, (2,7 g/cm<sup>3</sup>) çeliğin yoğunluğunun (7,83 g/cm<sup>3</sup>) %35'i kadardır [29].
- Alaşımsız alüminyum, bakırın ısı iletkenliğinin yaklaşık %60'ı ile yaygın metaller arasında en iyi performans gösteren mükemmel bir ısı iletkenidir. Alüminyum alaşımların ısı iletkenliği, bileşimlerine ve metalürjik tavrına bağlıdır [28].

Bu özellik, termal enerjinin bir ortamdan diğerine ısıtılması veya soğutulması ile ilgili olduğu durumlarda önemlidir. Bu özelliğe bağlı olarak alüminyum, ısı değiştiriciler, gıda, kimyasal, petrol, uçak ve diğer endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır [29].

- Alüminyum, bir elektrik iletkeni olarak kullanılmak üzere yeterince yüksek bir elektrik iletkenliğine sahip olan iki yaygın metalden biridir. Alüminyumun elektriksel iletkenliği bakırın yaklaşık üçte ikisi kadardır. Alüminyum çubuklar ve borular, yüksek ve orta gerilim açık hava ağları için bağlantı istasyonlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum, yer altı ve denizaltı telefon kablolarını korumak için kullanılır.

- Alüminyum, 1000, 3000, 5000, 6000 ve 8000 serilerinin alaşımları deniz, şehir ve sanayi ortamlarında atmosferik korozyona karşı mükemmel direnç gösterir.

- Eloksal ve laklama gibi çeşitli yüzey işlemlerinin endüstriyel kullanılabilirliği, inşaat endüstrisinde alüminyum kullanımının artmasına katkıda bulunmuştur;

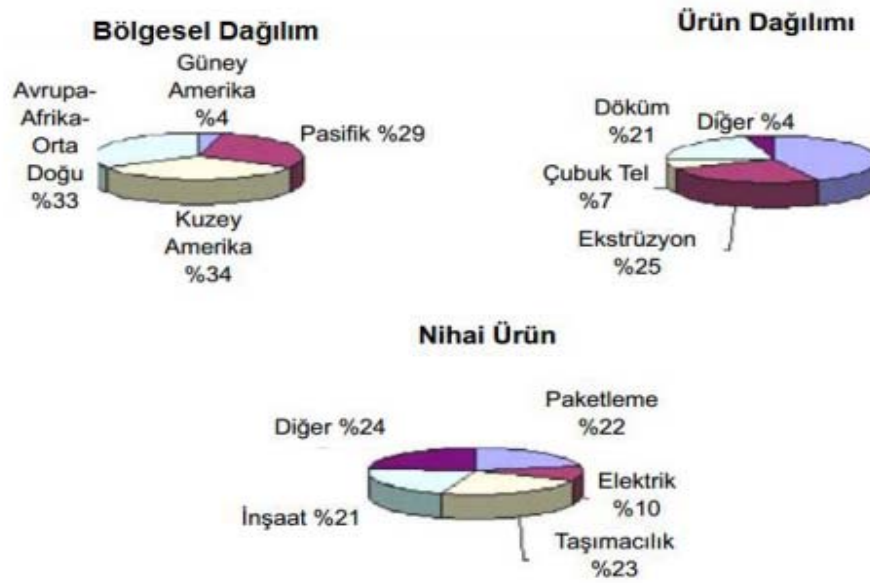
Bu sayede geniş bir renk yelpazesi sunarken, yüzey yönünün olağanüstü dayanıklılığını garanti etmek mümkündür.

- Alüminyum biçimlendirmedeki kolaylıklar, geri dönüşüm kolaylığı, alüminyum alaşımlarının ve yarı mamul çeşitliliği sayılabilir [28].

Alüminyum, demir esaslı malzemelerden sonra, mekanik özelliklerinin üstünlüğü nedeniyle, çağımızın en çok kullanılan ikinci metalidir. Alüminyumun;

- \* Uygun mekanik özelliklerle birlikte düşük ağırlığı,
- \*Korozyona karşı dayanımı,
- \*Geri dönüşebilirliği,
- \*Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği,
- \*Parlamama ve alev almama özelliği,
- \*Kolay işlenebilirliği,
- \*İyi yüzey işlenebilirliği.

Özellikleri kullanımının çok büyük bir hızla yaygınlaşmasına neden olmuş, böylelikle alüminyum 21. yüzyıla damgasını vuran bir metal yapmıştır. **Şekil 2.17**'de alüminyumun dünyadaki bölgesel dağılım, ürün dağılımı ve nihai ürün olarak sınıflandırılması gösterilmiştir (William 2001).



**Şekil 2.17.** Alüminyumun dünyadaki bölgesel ürün ve nihai ürün dağılımı

## 2.7 Alüminyum alaşımları ve sınıflandırılması

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri, bileşim ve mikro yapıya bağlıdır. Seçilmiş elemanların saf alüminyuma eklenmesi, özelliklerini ve kullanılabilirliğini büyük ölçüde artırır. Alüminyum ile kullanılan başlıca alaşım katkıları bakır, manganez, çinko, silisyum, magnezyumdur [29].

Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Döküm bileşimleri, üç basamaklı bir sistem ve devamında ondalık bir değer ile açıklanmaktadır. Tüm durumlarda ondalık 0, döküm alaşım limitleriyle ilgilidir. 1 ve .2 ondalıkları, eritme ve işlemeden sonra döküm yönergesinin gereklerine uygun olan kimyasallarla sonuçlanması gereken külçe kompozisyonlarıyla ilgilidir. Bu sınıflandırma şu şekildedir:

1XX.X: Özellikle rotor üretimi için kullanılan, alaşımsız (saf) bileşimler.

2XX.X: Esas alaşım elementinin bakır olduğu alaşımlar.

3XX.X: Silisyumun ana alaşım elementi olduğu, fakat bakır ve magnezyum gibi diğer alaşım elementleri bulunabilir. Üretilen tüm döküm alaşımlarını %90'ı 3XX.X serisidir.

4XX.X: Esas alaşım elementi silisyumdur.

5XX.X: Magnezyumun ana alaşım elementi olduğu alaşımlar.

6XX.X: Bu seri numarası kullanılmamaktadır.

7XX.X: Çinko'nun esas olarak kullanılan element olduğu alaşımlardır. Bakır ve magnezyum gibi diğer alaşım elementleri bulunabilir.

8XX.X: Esas alaşım elementi kalaydır

9XX.X: Bu seri numarası kullanılmamaktadır.

Dövme alaşımlar içinde dört haneli bir sistem kullanılır;

1XXX: Saf alüminyum. Genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır.

2XXX: Esas alaşım elementi bakırdır. Başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilir. 2xxx alaşımları yüksek mukavemetli malzemelerdir, fakat bakır içeriği korozyon direncini azaltır. Havacılık sektöründe kullanılmaktadır.

3XXX: Esas alaşım elementi mangandır. Mimari uygulamalarda kullanılmaktadır. Genel olarak, bu alaşımlar oldukça iyi korozyon direnci ve orta mukavemet ile karakterize edilir.

4XXX: Silisyumun esas element olduğu alaşımlardır. Kaynak çubuklarında ve lehim tabakasında kullanılır. Alüminyuma eklenen silisyum, sonuçta oluşan alaşımların kırılma olmasına neden olmadan erime noktasını önemli ölçüde düşürmektedir.

5XXX: Tekne gövdelerinde ve deniz ortamlarına maruz kalan ürünlerde kullanılan, magnezyumun ana alaşım elementi olduğu alaşımlar.

6XXX: Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Alaşım 6063, atmosferik korozyona karşı iyi bir dirence sahiptir ve en yaygın olanıdır. Pencere, kapılar, mağaza cepheleri ve perde duvarları gibi ekstrüde edilmiş şekiller için kullanılır.

7XXX: Çinkonun esas alaşım elementi olup, içerisinde magnezyum, krom, zirkonyum ve bakır bulunabilir. 7XXX serisi, en güçlü alüminyum alaşımlarıdır.

8XXX: Çeşitli bileşimleri karakterize eden kalay ve bazı lityum bileşimlerini içeren alaşımlar. 8XXX alaşımlarının çoğu ısınmaz niteliktedir, ancak ısıyla işlem görebilen alaşımlarda kullanıldığında alaşım bileşenlerini toplayabilir ve ısıl işlemlere sınırlı bir cevap alabilirler.

9XXX: Kullanılmamaktadır [29].

## 2.8 Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem Uygulamaları

Alüminyum Birliği tarafından kabul edilen temperleme sistemi ve Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan tüm ürün formları (hem dövme hem de dökme) için, külçe hariç bir kodlama sistemi kullanılır. Sistem, çeşitli sıcaklıkları üretmek için kullanılan mekanik, ısıl işlemlerin veya her ikisinin dizilerine dayanmaktadır.

O: Tavlanmış,

F: Üretildiği gibi,

H: Sertleştirilmiş.

T: Isıl işleme tabi tutulmuş.

### T. Isıl işlem kodlaması;

T1: Yüksek bir sıcaklıkta şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve tabii yaşlanmaya bırakılmıştır. Dökme veya ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklıkta şekillendirme işleminden sonra soğuk olmayan ve mekanik özellikler oda sıcaklığında yaşlanma ile dengelenen ürünler için geçerlidir.

T2: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmıştır. Özellikle haddeleme veya ekstrüzyon gibi sıcak bir işlemden sonra soğutmayı arttırmak için kuvvetle çalışan ve mekanik özelliklerin oda sıcaklığında yaşlanma ile dengelendiği ürünler için geçerlidir.

T3: Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmıştır. Çözelti ısıl işlemden sonra mukavemeti arttırmak, özellikle oda ısısı

yaşlandırma ile mekanik özelliklerin stabilize edilmesi için soğuk olarak işlenen ürünlerde geçerlidir.

T4: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve tabii yaşlanmaya bırakılmıştır. Çözelti ısı işleminden sonra soğuk olmayan ve mekanik sıcaklığın oda sıcaklığında yaşlanmasıyla dengelendiği ürünler için geçerlidir.

T5: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve suni yaşlandırma yapılmıştır. Dökme veya ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklık ile şekillendirme işleminden sonra soğuk olmayan ve çökeltme ısı işlemi ile mekanik özellikler, bağlanma stabilitesi veya her ikisinin de büyük ölçüde iyileştirildiği ürünler için geçerlidir.

T6: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırma yapılmıştır. Çözelti ısı işleminden sonra soğuk olmayan ürünlere uygulanır. Mekanik özellikler, boyutsal stabilite veya her ikisi de çökeltme ısı işlemiyle büyük ölçüde iyileştirilebilir.

T7: Çözelti ısı işlem görmüş ve stabilize edilmiştir. Stabilizasyon ısı işlemi, gerilme korozyon çatlaması veya soyulma P paslanmasına karşı arttırılmış direnç gibi bazı özel karakteristikler sağlamak için mekanik özellikleri maksimum dayanım noktasının ötesine taşır.

T8: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmıştır. Çözelti ısı işleminden sonra mukavemeti arttırmak için özel olarak çalışılan ve mekanik özellikler, boyutsal kararlılık veya her ikisi de çökeltme ısı işlemi ile büyük ölçüde iyileştirilen ürünler için geçerlidir.

T9: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, suni yaşlandırma yapılmış ve soğuk şekillendirilmiştir. Özellikle ısı işlem görmüş olduktan sonra mukavemeti arttırmak için soğuk olarak işlenen ürünler için geçerlidir.

T10: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmıştır. Haddeme veya ekstrüzyon gibi sıcak bir işlemden soğutulduktan sonra mukavemeti arttırmak için özel olarak soğutulmuş, mekanik

özellikler, boyutsal stabilite veya her ikisi de çökeltme ısı işlemi ile büyük ölçüde iyileştirilen ürünler için geçerlidir [30-36].

## 2.9 Alüminyum Alaşımının Korozyonunu Önleme Konusunda Yapılan Çalışmalar

Singh ve ark. (2016), Aloe Vera jelin, 1 M HCl ortamındaki hafif çelik korozyonu üzerindeki etkisini, kütle kaybı, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve Tafel polarizasyonu kullanılarak araştırmıştır. İnhibitör, optimum derişimde 200 mg/L 'de % 90 inhibisyon verimi ve en düşük korozyon oranını göstermiştir. 35 ve 65°C sıcaklık aralığında deneyler gerçekleştirilmiş ve çalışılan inhibitörün inhibisyon verimi, sıcaklık ile azaldığı gözlenmiştir. Kütle kaybı, empedans ve polarizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar birbiriyle uyumlu olduğu gösterilmiştir [37].

Odewunmi ve ark. (2015), 1 M HCl ve 0,5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltilerinde 25°C de yumuşak çelik için korozyon inhibitörü olarak karpuz kabuğu ekstresinin (WMRE) etkinliğini araştırmak için elektrokimyasal teknikler kullanmıştır. Sıcaklığın inhibisyon verimliliği üzerindeki etkisi araştırılmamış, derişim artışının inhibisyon verimini artırdığı bulunmuştur. WMRE'nin 1 M HCl ortamında 0,5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'e göre korozyona karşı daha etkili olduğu bulunmuştur [38].

Odewunmi ve ark. (2015), üç agro-atık ürünü; karpuz dış kabuğu ekstresi (WMRE), karpuz çekirdeği ekstresi (WMSE) ve karpuz kabuğu ekstresini (WMPE), 25°C'de elektrokimyasal teknikler kullanarak 1M HCl çözeltisinde yumuşak çelik için korozyon inhibisyon potansiyelleri açısından incelemiştir. Sabit sıcaklıkta tüm ekstrelerin derişim artışına bağlı çelik için koruyucu etkileri olduğu bulunmuştur. Çalışılan ekstrelerden WMSE'nin diğer ekstrelerde daha güçlü inhibisyon etkisi olduğu bulunmuştur [39].

Bouknana ve ark. (2014), 1 M HCl ortamındaki C38 çeliğinin, üç ekstraksiyon işleminden toplanan zeytin posası ekstraktının (OPE) varlığında ve yokluğunda elektrokimyasal davranışını potansiyodinamik polarizasyon, lineer polarizasyon ve gravimetrik olarak elektrokimyasal tekniklerle incelemiştir. 30-60°C aralığındaki

inhibisyon verimi, diğer zeytin posası örnekleri arasında küçük bir farkla  $1,4 \times 10^{-5}$  ml/L zeytin posası derişiminde maksimum% 92'lık bir değer elde edilmiştir [40].

El-Haddad (2013), farklı derişimlerde kitosan içeren 0,5 M HCl asitindeki  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  de bakırın davranışını kütle kaybı, potansiyodinamik polarizasyon, elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve elektrokimyasal frekans modülasyonu (EFM) ölçümleri ile incelemiştir. Kitosan, 0,5 M HCl çözeltisinde bakır korozyonu için iyi inhibe edici özellikler gösterdiği ve Kitosan derişiminin artmasıyla inhibisyon verimi arttığı gözlenmiştir. EFM ölçümlerinden elde edilen veriler kütle kaybı, potansiyodinamik polarizasyon ve EIS yöntemleriyle uyum içinde olduğu bulunmuştur [41].

Akalezi ve ark. (2013), *Petersianthus macrocarpus* ekstraktının 1M HCl ve 0,5M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  çözeltilerindeki yumuşak çeliğin korozyonu üzerindeki inhibe edici etkisini,  $30-60^\circ\text{C}$  de gravimetrik, elektrokimyasal empedans ve potansiyodinamik yöntemler kullanılarak incelemiştir. Sonuçlar, ekstrenin her iki ortamda iyi bir inhibitör olarak işlev gördüğünü ve derişimine bağlı olarak inhibisyon veriminin arttığını gözlenmiştir.  $40-60^\circ\text{C}$  aralığındaki sıcaklık çalışmaları, ekstraktın sıcaklıkta artış ile inhibisyon verimindeki artışı gösterilmiştir [42,44].

## 2.10. Kahve

Café olarak da bilinen kahve, 5 m yüksekliğe ve 7 cm çapa kadar ulaşabilen dik ve yamaçlı bölgelerde yetişen yaprak dökmeyen bir ağaçtır. Bitki tek bir gövde üzerinde büyüyebilir, ancak genellikle tabandan veya alt kısımdan dallanma yaparak sürgünler verir. Kabuğu açık gridir, incedir ve olgunlaştıkça sertleşir ve pürüzlü hale gelir. Ağacın kökleri, sağlam bir merkezi kök, etrafında yayılan ikincil köklerden ve bol miktarda “besleyici” köklerden oluşur. Ağacın yaprakları ince, parlak, koyu yeşil, zıt yapraklar 4 ila 12 mm uzunluğunda saplara sahiptir. Ağacın güzel kokulu beyaz çiçekleri, ikiden dokuza kadar kümeler halindedir. Ağacın meyveleri ise 1,0 ila 1,8 cm'lik oval, etli, rengi olgunlaştıkça yeşilden kırmızıya dönüşür. Meyveler genellikle 8-12 mm uzunluğunda iki yeşilimsi tohum içerir [45-47].



**Şekil 2.18.** Kahve Arabica yetiştirilmesi [48].

Kahve Arabica, aslen Yemen'in dağlık bölgeleri ve aynı zamanda Etiyopya'nın güneybatı ormanlarına özgü bir *Coffea* türüdür. Aynı zamanda “Arabia kahvesi çalı”, “dağ kahvesi” veya “arabica kahvesi” olarak da bilinir. [48].



**Şekil 2.19** Kahve bitkisinin meyve ve tohumunun görünümü [48].

Cafe Arabica'nın tam olarak olgunlaşması yaklaşık yedi yıl alır ve genellikle 1300 ile 1500 m rakım arasında yetiştirilir. Ağaç düşük sıcaklıklara dayanabilir, ve 15 ila 24 °C arasındaki bir ortalama sıcaklıkta en iyi randıman verir. Ticari çeşitleri çoğunlukla yaklaşık 5 metreye kadar büyür ve hasat etmeyi kolaylaştırmak için sıklıkla 2 metreye kadar indirilir. Dikimden iki ila dört yıl sonra, C. arabica küçük, beyaz, çok hoş kokulu çiçekler üretir. Kokusu, yasemin çiçeğinin kokusuna benzer. En fazla meyve güneşli günlerde açan çiçeklerinde görülür. Çiçekler sadece birkaç gün dayanır.

Meyveler başlangıçta koyu yeşildir, olgunlaşmaya başlayana kadar, önce sarı, sonra açık kırmızı ve sonunda parlak koyu kırmızıya döner. Bu nokta “kiraz” olarak adlandırılır ve kahve toplamaya hazır hale gelir [48].





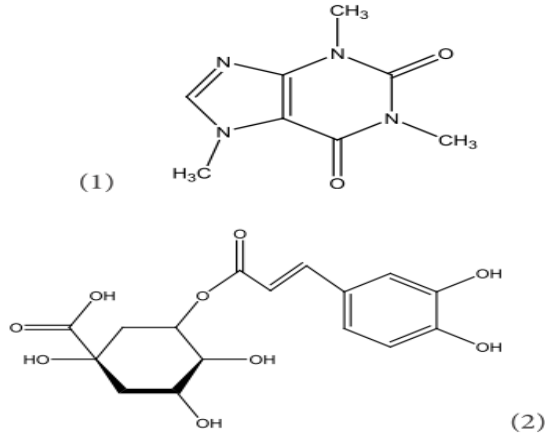
**Şekil 2.20.** Kahve bitkisinin çiçek ve meyveleri [48].

Kahve çekirdekleri aslında meyvenin içindeki iki tohumdur. Bu tohumlar iki zarla kaplıdır; dış kısma “parşömen katman”, iç kısma “gümüş katman” adı verilir [48].

Arabica Kahvesi 9 ayda olgunlaşır, yıllık verim 40 ile 200 kg arasında gerçekleşir. Ürünün yağ oranı %16, kafein oranı %0,8 ile 1,7 arasında ve şeker oranı ise %8’dir [49].

### **2.10.1 Kahvenin Kimyasal Bileşimi**

Çeşitli *Coffea* türlerine ait çekirdeklere ana bileşen pürin bazı taşıyan heterosiklik yapıda bir alkaloid olan ve kahveye karakteristik acılığını veren kafein (1) (%1,5-2,5)’dir. Kafein bitkinin genç veya olgun yapraklarında da bulunmaktadır. Bunun yanında kahve çekirdeklerinde teofillin, teobromin gibi ksantin alkaloidleri, bir sinamik asit esteri olan klorojenik asit (2) (kafeoilkinik asit), fenolik asitlerden kafeik, ferulik ve vanillik asitler, sabit yağ, şekerler, nikotinik asit, mannan (poliholozit), pentozanlar, bir norditerpen glikozit esteri olan atraktilozitler, kahweol ve kafestol adlı diterpen alkol yağ asidi esterleri, uçucu yağ ve çekirdeğin kavrulması sırasında oluşan melanoidinler belirlenmiştir. Şekil 2.21’de kafein ve klorojenik asit formülleri verilmiştir. Trigonellin ise 20 kadar kahve türünde yaklaşık olarak %0,40-1,75 arasında değişen miktarlarda bulunmaktadır [50,51].



**Şekil 2.21** Kafein (1) ve klorojenik asit (2) formülleri [50].

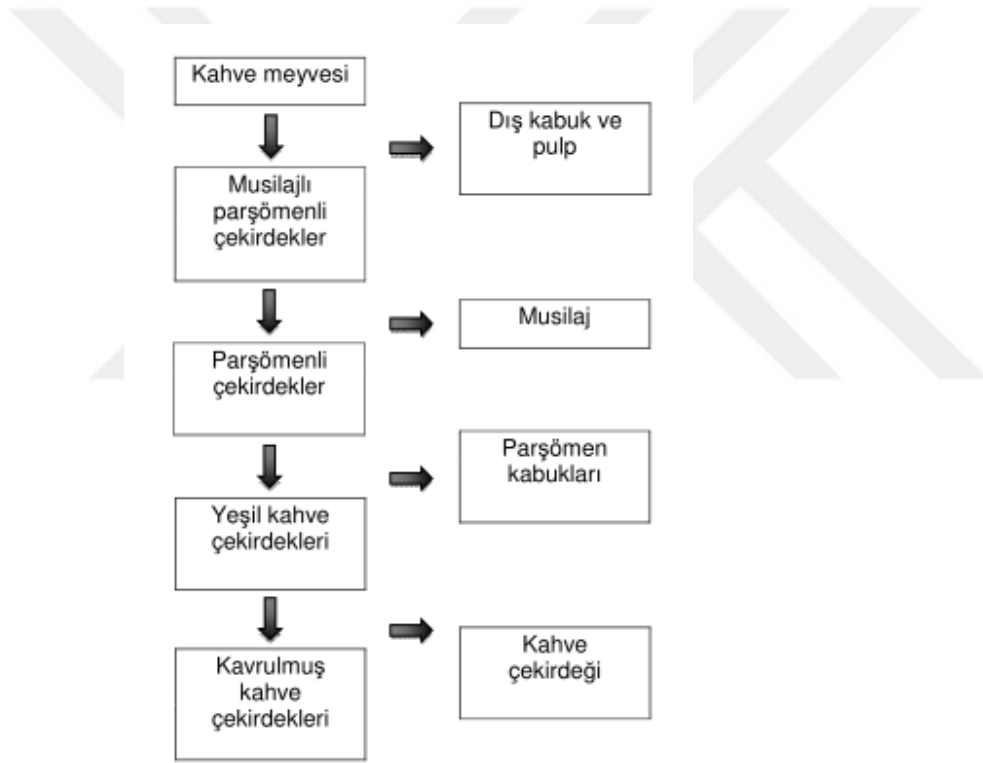
### 2.10.2 Kahve çekirdeğinin işlenmesi ve oluşan yan ürünler

Kahvenin uluslararası ticareti, kahveye kuru veya yaş işleme yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmektedir [52].

Kuru işleme yöntemi Robusta tipi kahve üretiminde ve Brezilya’da üretilen Arabika tipi kahve üretiminin büyük çoğunluğunda uygulanan bir yöntemdir. Yöntemde doğal ve yapay kurutma uygulanmakla birlikte en yaygın olarak uygulanan kurutma yöntemi güneşte kurutmadır. Bu yöntemle hasat edilmiş kahve meyvesi %10- 11 rutubete kadar güneşte kurutulup mekanik yolla tek aşamada çekirdeği saran kısımlardan (kabuk, dış zar, pulp, musilaj, parşömen tabakası ve çekirdek zarı) uzaklaştırılmaktadır [52,53]. Kurutmada kiraz kırmızısı renk dikkate alınmak ta, açık havada 12-15 gün içinde bu renk elde edilmektedir [54]. Yapay kurutmada statik, döner, yatay veya dikey kurutucular kullanılabilir [52-54]. Bu yöntemde kahve çekirdeği su ile işlem görmediği için küf oluşumu tehlikesine maruz kalmamaktadır. Kurutma işlemi istenilen renk, şekil ve aromatik bileşenleri sağlamasından dolayı kahve kalitesine olumlu bir katkıda bulunmaktadır [54].

Yaş işleme yöntemi ise 3 aşamada gerçekleşmektedir (Şekil 2.22) [53]. Birinci aşamada kahve kabuğu ve pulp, 2.aşamada musilaj ve çözünebilir şeker, 3.aşamada ise

parşömen tabakası uzaklaştırılmaktadır. Bu yöntemde, kahve meyvesinin preslenmesi ile zar ve pulpun büyük kısmı uzaklaşmış olmaktadır. Sonraki aşama kalan pulp kalıntısının ve musilaj tabakasının uzaklaştırılmasıdır. Bunun için kontrollü fermentasyon işlemi uygulanmaktadır. Fermentasyon sonrası musilajdan arındırılmış parşömenli kahve çekirdeği elde edilmektedir. Kahve çekirdeği zarı kurutma ızgaralarına yayılarak %10 nem içeriğine ulaşıncaya kadar kurutulmakta ve parşömen tabakası uzaklaştırılmaktadır. Böylece yeşil kahve çekirdeği elde edilmektedir. Yeşil kahve çekirdeklerinin kavrulması ile de kahve çekirdeği zarı ortaya çıkmakta, kavrulmuş kahve çekirdekleri elde edilmektedir [54].



**Şekil 2.22** Kahvenin işlenmesi (yaş işleme) ve ortaya çıkan atıklar [53]

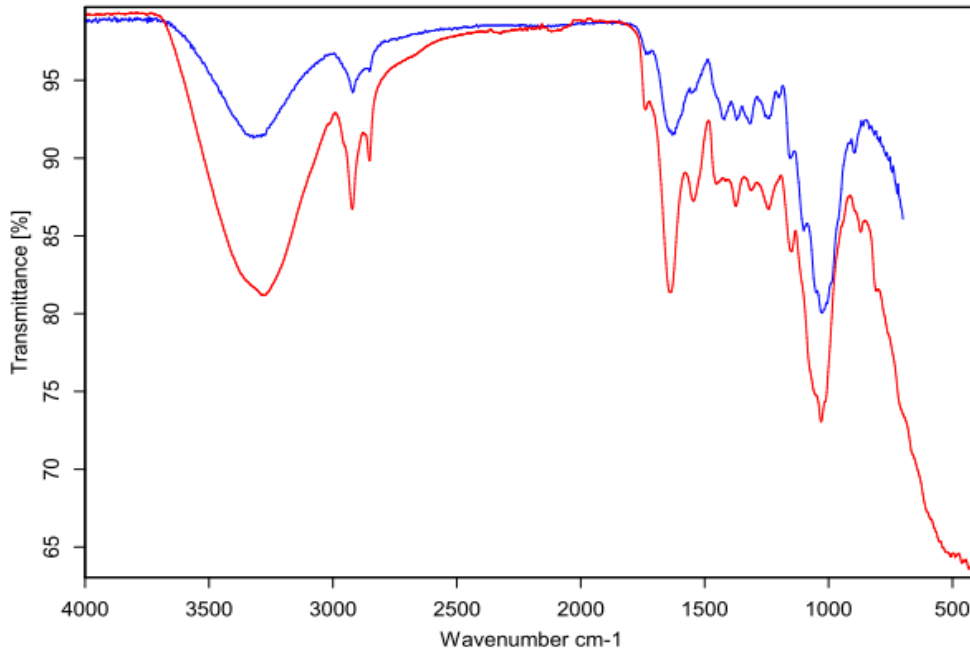
### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

##### Kahve atığı(telvisi)

Arabica kahve, İzmir’de bulunan bir Starbucks Cafe’den temin edilmiştir. Daha sonra, kahve yapıp atığı deneyler için saklanmıştır. Kahve atığı 100 mg alınarak, süzgeç kağıdı yardımıyla saf suyla süzüldü. Süzüntü inhibitör olarak farklı derişimlerde hidrojen gazı çıkışına dayalı korozyon ölçümü ve elektrokimyasal metotla korozyonu ölçümünde kullanıldı.

Arabica Kahve atığı (telvisi)’in FTIR analizi, için Izmirde PETKİM’de FTIR Spektrometre ile yapılmıştır. Elde edilen spektruma ait tipik grafik Şekil 3.1’de verilmiştir. Bu grafik literatürde verilen kahve ekstraktlarına ait piklerle uyumludur.



Şekil 3.1. PETKİM’den alınan Kahve telvisi FTIR Spektrumu

Literatürde  $3500\text{ cm}^{-1}$  etrafındaki güçlü bant, hidroksil gruplarının (-OH) germe titreşimine (Mac ve diğerleri, 2017).  $2920\text{ cm}^{-1}$  ve  $2853\text{ cm}^{-1}$ deki keskin pikler, -CH<sub>2</sub>- / -CH<sub>3</sub>’ün C-H germe titreşimine ve sırasıyla selüloz omurgasından C-H germe titreşimine

(Guo ve Wu, 2017). 1720 ve 1310  $\text{cm}^{-1}$ 'daki tipik adsorpsiyon bantları sırasıyla C = O ve C-O germe titreşimlerine karşılık geldiği (Reddy et al., 2017) gösterilmiştir. Bizim deneylerimizde kullandığımız kahveye ait FTIR ile uyumlu olduğu görülmektedir.

### **Alüminyum 2024 Alaşımı**

Deneylerde kullanılmak üzere ekstrüzyon yöntemiyle üretilen AA2024 alüminyum çubuk, Ankara Seydişehir Alüminyum Ltd. Sti.'den temin edilmiştir. Manisa Celal Bayar Üniversitesi DEFAM'da Bruker marka Q4 Tasman model metal spektrometre ile AA2024 alaşımın spektrumu alınmıştır. Alüminyum numunenin kimyasal kompozisyonu Tablo 3.2'de verilmiştir. Alüminyum 2024'ün işletmeden alınan mekanik özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

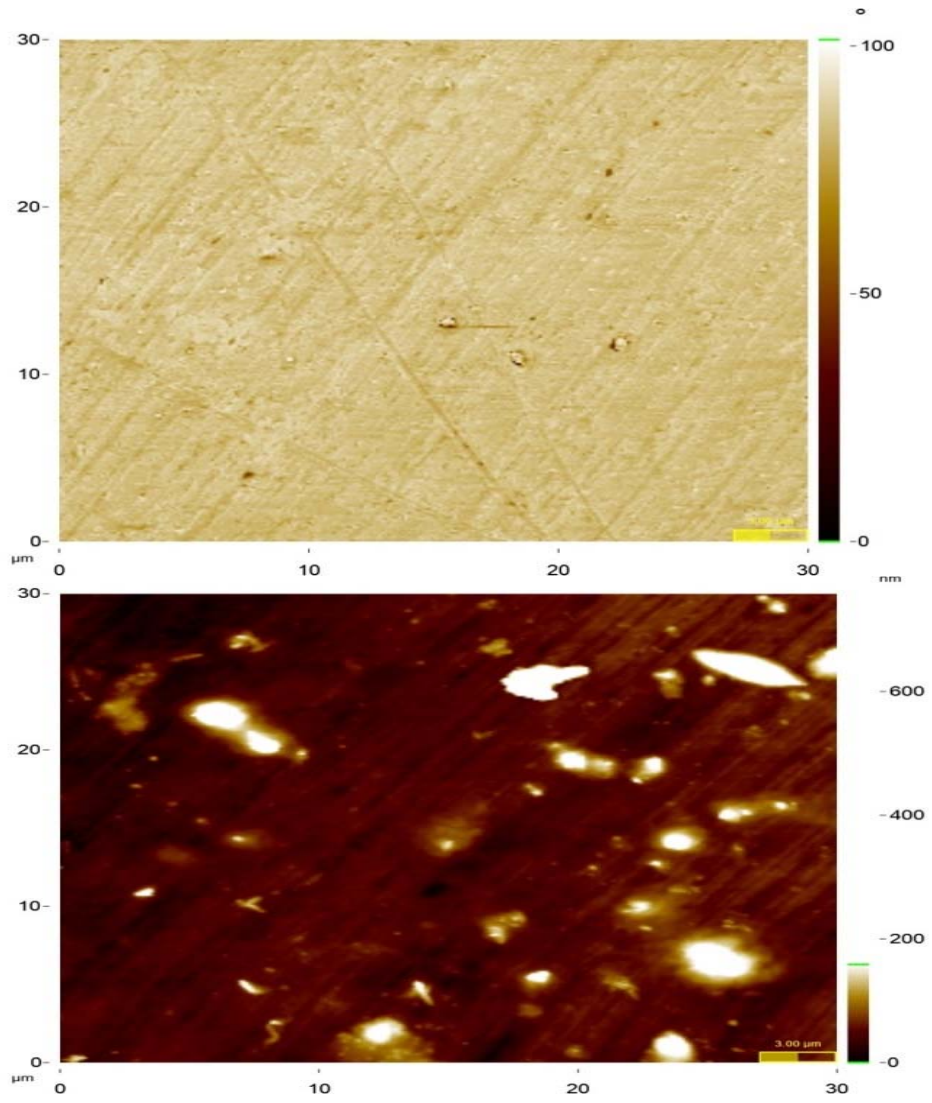
**Tablo 3.1.** Alüminyum 2024'ün kimyasal kompozisyonu (%).

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Diğer	Al
0,218	0,461	4,255	0,488	1,355	0,047	0,009	0,319	0,018	0,080	92,75

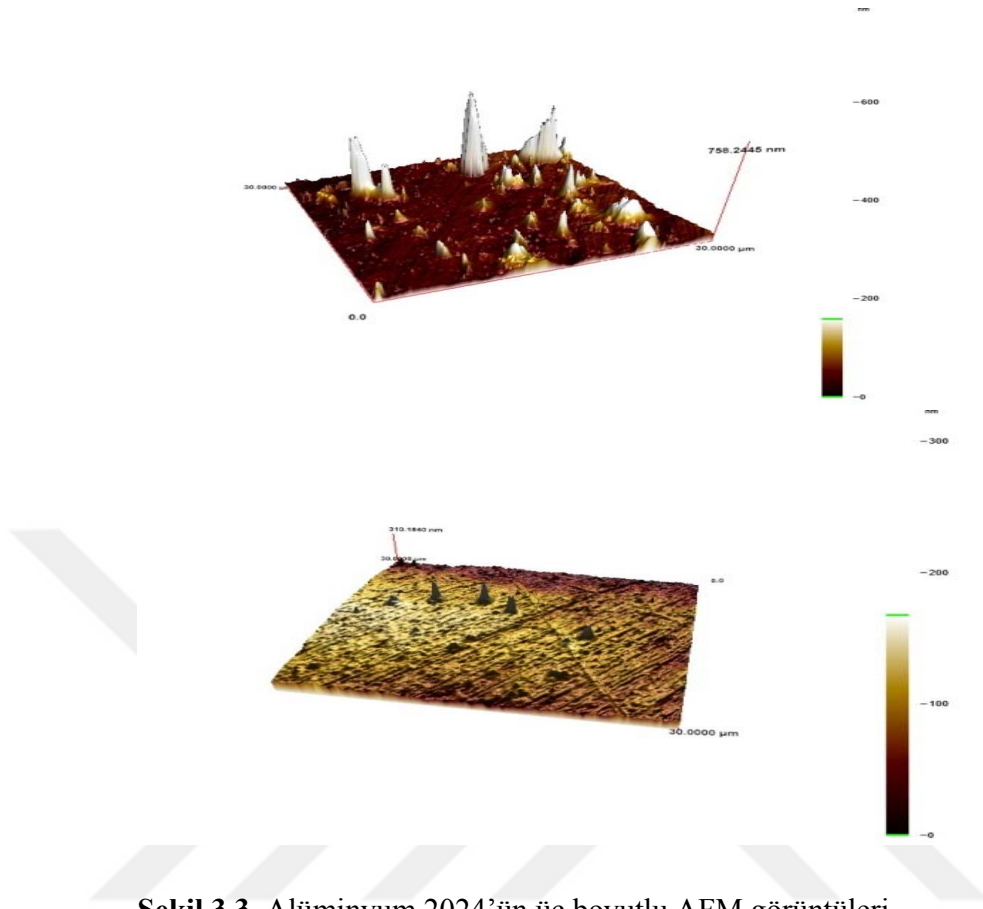
**Tablo 3.2.** Alüminyum 2024'ün mekanik özellikleri.

Çekme Mukavemeti ( $\text{N/mm}^2$ )	Akma Mukavemeti ( $\text{N/mm}^2$ )	% Uzama	Sertlik (HB)
415	315	5	115-130

Manisa Celal Bayar Üniversitesi DEFAM'da Nanomagnetic marka HPAFM model atomik kuvvet mikroskopu (AFM) ile Alüminyum 2024 alaşımın yüzey görüntüleri alınmıştır. Yüzey iki boyutlu ve üç boyutlu olarak Şekil 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.2. AA2024'ün iki boyutlu AFM görüntüleri.

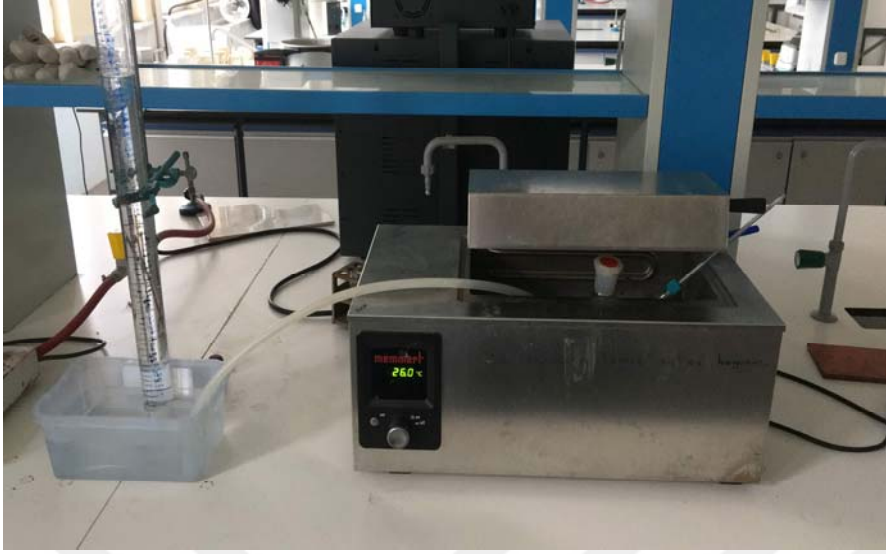


Şekil 3.3. Alüminyum 2024'ün üç boyutlu AFM görüntüleri.

### 3.2 Kullanılan Cihazlar ve Ekipmanlar

#### Hidrojen deneyi

Hidrojen gazı çıkışının hesaplanması için kurulan deney sistemi Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Kullanılan aparatlar; esnek bir boru ile kalibre edilmiş bir cam tüpe (750ml) bağlanan 500 ml'lik cam balondan oluşur. Sıcaklık istenilen değerde su banyosuyla sabit tutulmaktadır.



**Şekil 3.4.** Hidrojen gazı çıkışına dayalı korozyon ölçümü deney düzeneği.

### **Elektrokimyasal deneyler**

Yapılan deneysel çalışmalarda üç elektrotlu Zahner KMZ3 korozyon hücresi kullanılmıştır. Elektrotlar, çalışma elektrotu, platin ve referans elektrottur. Elektrokimyasal ölçümlerde karşıt elektrot olarak platin levha elektrot, referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrot kullanılmıştır. Çalışma elektrotları 1 cm<sup>2</sup> yüzey alanına sahip numunelerden yapılmış elektrotlardır. Potansiyostat ve galvonostat cihazı CompactStat'ın (Şekil 3.5) bilgisayar bağlantısıyla İvium programından elektrokimyasal ölçümler alınmıştır.





**Şekil 3.5.** Elektrokimyasal deneylerin yapıldığı sistem.

### **3.3. Deneylerde Kullanılacak Elektrotlarının Hazırlanması**

Elektrokimyasal deneylerde kullanılmak üzere 1cm çapında 0,5 cm yüksekliğindeki silindirik AA2024 alaşımından, çalışma elektrotları hazırlandı. Sertleştirici (MEK Peroksit), hızlandırıcı (Kobalt Oktoat), ve polyester karışımı önceden hazırlanmış plastik kalıpların içindeki bakır tel ile bağlantılı alüminyum numune üzerine aktarıldı. Sertleşen elektrotların yüzeyleri 180-2000 kum aralığındaki silisyum karbür zımparalar, çuha ve alümina ile parlatıldı.



**Şekil 3.6.** Elektrokimyasal deneylerde kullanılan elektrotlar.

### 3.4 Yapılan Korozyon Testleri

#### Hidrojen deneyi

H<sub>2</sub> gazı ölçüm deneylerinde inhibitör derişimini 0-400 mg/L aralığında ve sıcaklık 25-45 °C aralığında çalışılmıştır. Korozif ortamı oluşturmak için 1M %30'luk HCl kullanılmıştır. Kullanılan alüminyum numunelerin çapı 1,8cm, yüksekliği 0,5 cm'dir.

Alüminyum numuneler deney öncesi tartımları alındıktan sonra 30 dakika kullanılacak inhibitör derişimine göre ilgili derişiminde bekletildi. Balon içindeki yaklaşık 250 ml'lik test çözeltisine, bekletilmiş olan alüminyum numuneleri bırakıldı. Gaz kaçışını engellemek için balon tıpası hemen kapatıldı. Al korozyon reaksiyonunun ilerlemesini ölçmek için hidrojen gazının gelişimi dikkatle kaydedildi. Gazı çıkış değerleri 10 dakika aralıkla toplam 150 dakika kaydedildi. H<sub>2</sub>'nin birim alan çıkışı zamana karşı kaydedildiğinde, farklı inhibitör derişimlerinin varlığında ve yokluğundaki değerler grafiklendirildi.

#### Elektrokimyasal analizler

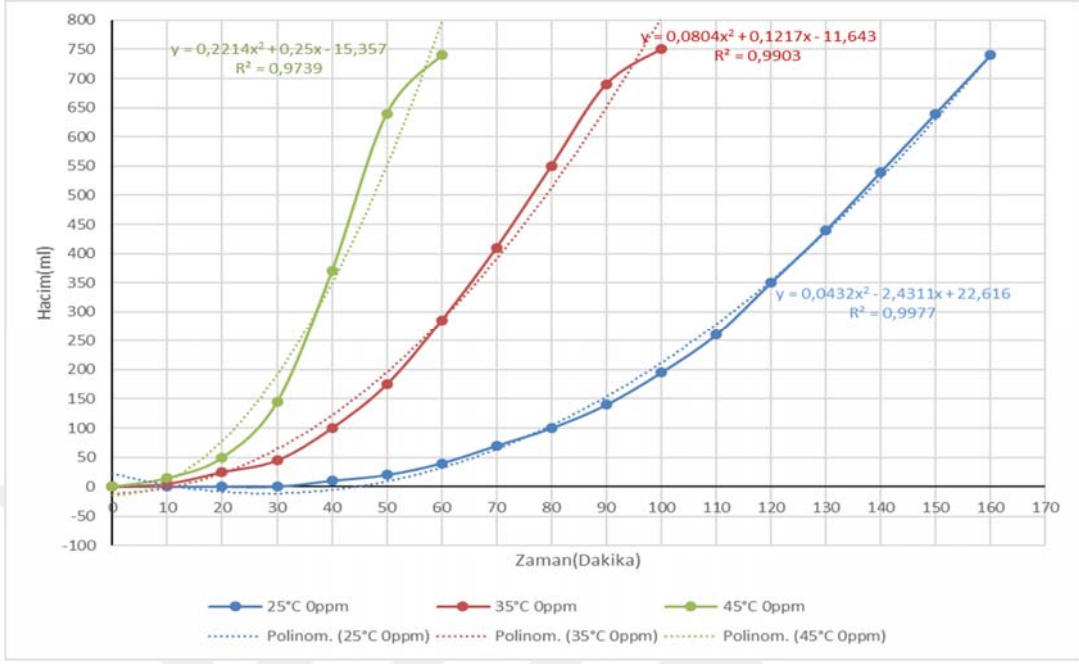
Korozyon hücresi içerisine %3,5 NaCl çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan elektrot korozyon hücresine alınmıştır. Potansiyostat ve su banyosuyla bağlantısı yapılan korozyon hücresi verileri Iviumsoft programında 600 sn'lik süreyle, 5 mv / s tarama hızıyla potansiyel-akım değerleri elde edilmiştir. Veriler korozyon hızını analiz edebilmek için potansiyel-logaritmik akım/yüzey alanı grafiğine geçirilmiştir. Elde edilen tafel eğrilerinin kesişim noktasından X ve Y eksenine çizilen dikmeler ile  $i_{cor}$  ve  $E_{cor}$  bulunur. Anodik ve katodik dalların eğimleriyle  $\beta_a$  ve  $\beta_c$  bulunur. Bu işlem 25-45°C sıcaklık aralığında inhibitörsüz ve 100-400 mg/L ekstrakt derişiminde inhibitörlü tuz çözeltisinde yapılmıştır.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

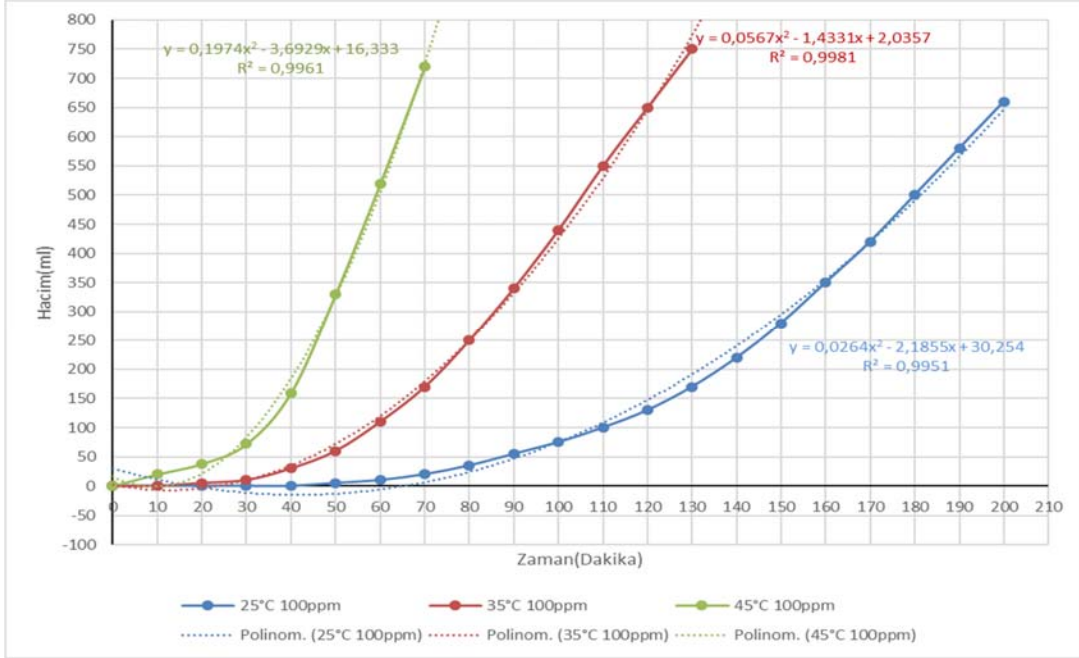
##### Hidrojen deneylerin çıkışına dayalı ölçümler

**Tablo 4.1.** Hidrojen gazı (ml) çıkışı zamana (dakika) bağlı ölçümleri.

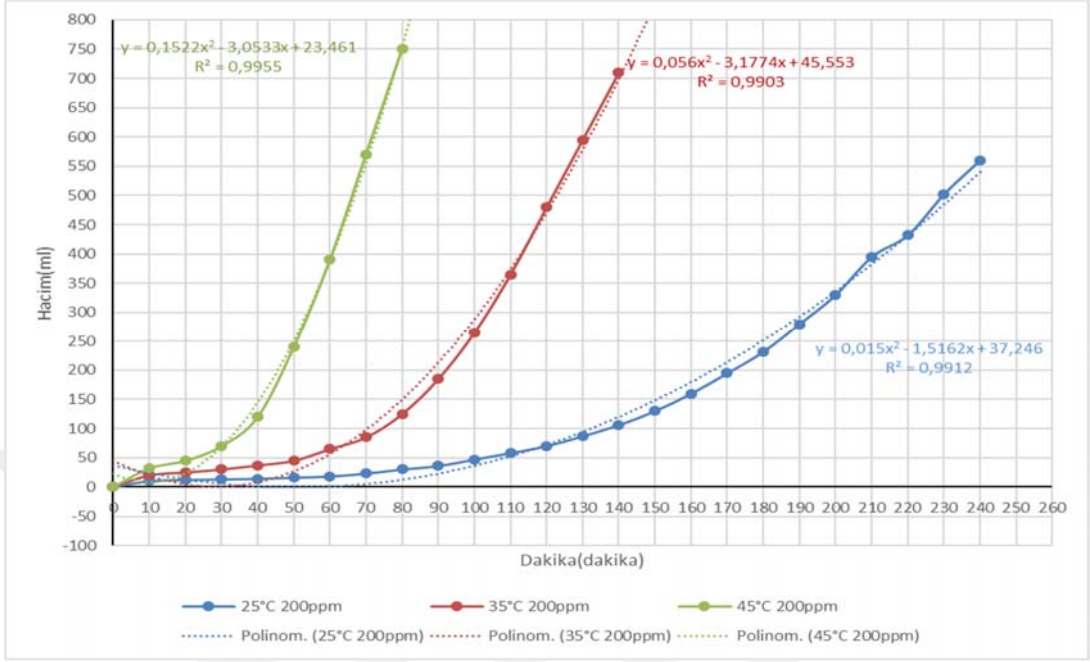
Numune	Zaman (dakika)												% EI
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	
AA25°C İnhibitörsüz ortamda	0	10	40	100	195	350	540	740					
AA25°C 100 mg/L	0	0	10	35	75	130	220	350	500	660			89,80
AA25°C 200 mg/L	12	14	18	30	47	70	106	160	232	330	4432	560	91,84
AA25°C 300 mg/L	6	8	10	12	19	26	39	56	80	118			93,88
AA25°C 400 mg/L	7	10	12	16	20	24	30	39	50	68	990	1125	93,88
AA35°C İnhibitörsüz ortamda	25	100	285	550	750								
AA35°C 100 mg/L	5	30	110	250	440	650							88
AA35°C 200 mg/L	25	37	65	125	265	480	710						88,53
AA35°C 300 mg/L	28	37	60	130	280	500	700						89,33
AA35°C 400 mg/L	25	40	50	86	160	300	480	655					89,33
AA45°C 00 İnhibitörsüz ortamda	50	370	740										
AA45°C 100 mg/L	10	40	180	500									89,60
AA45°C 200 mg/L	45	120	390	750									88,40
AA45°C 300 mg/L	40	100	290	550									88,00
AA45°C 400 mg/L	30	47	115	333	630								89,33



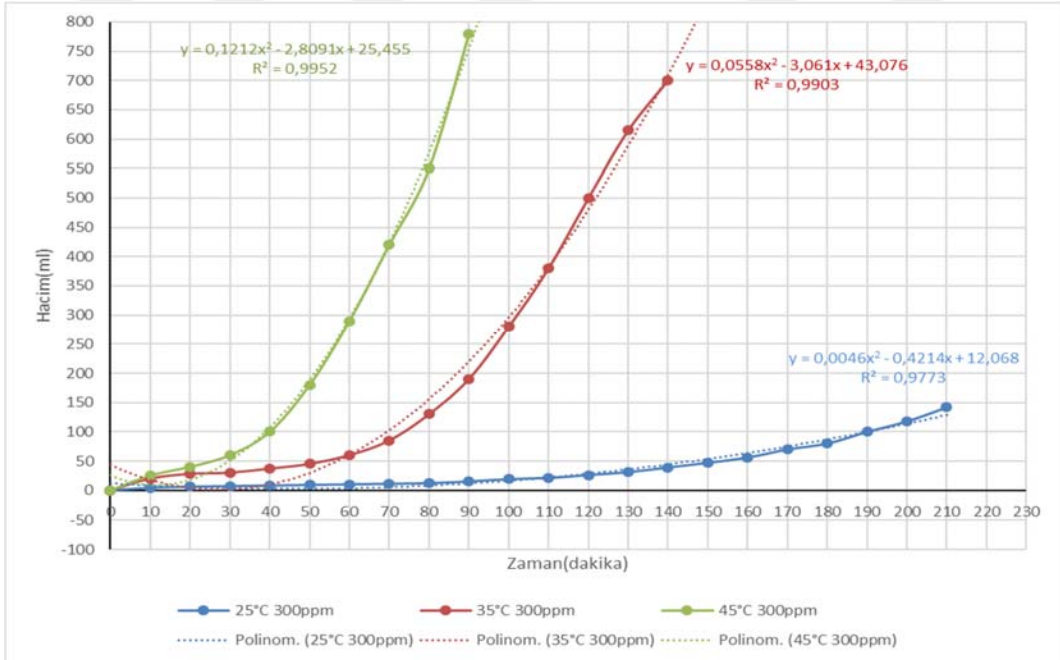
Şekil 4.1. İnhibitörsüz ortamda 25, 35, 45 °C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı.



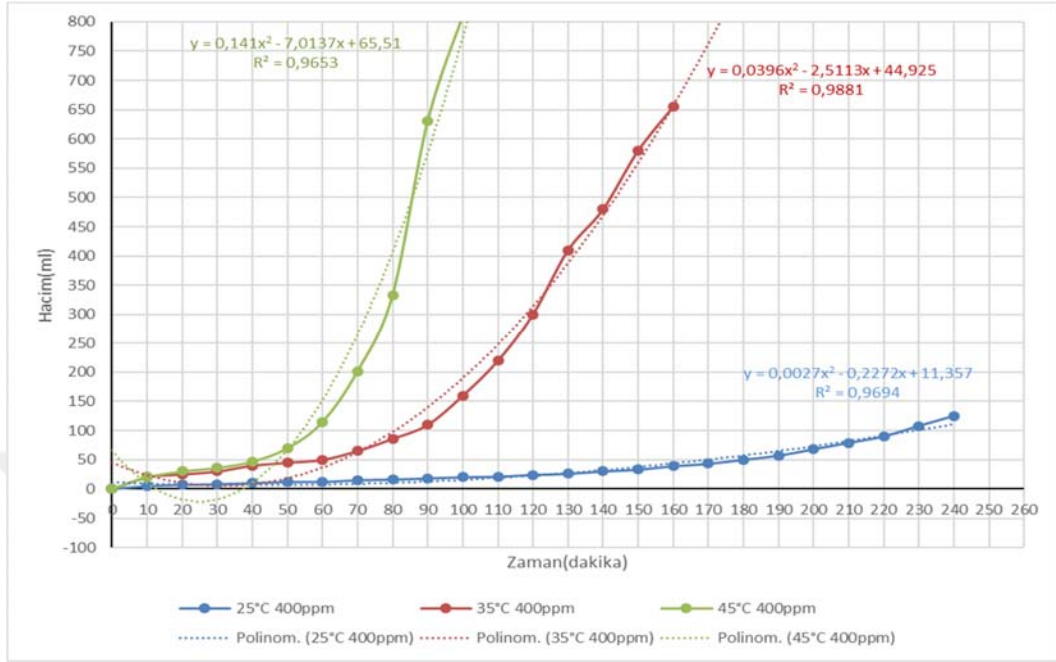
Şekil 4.2. 100 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35, 45 °C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı.



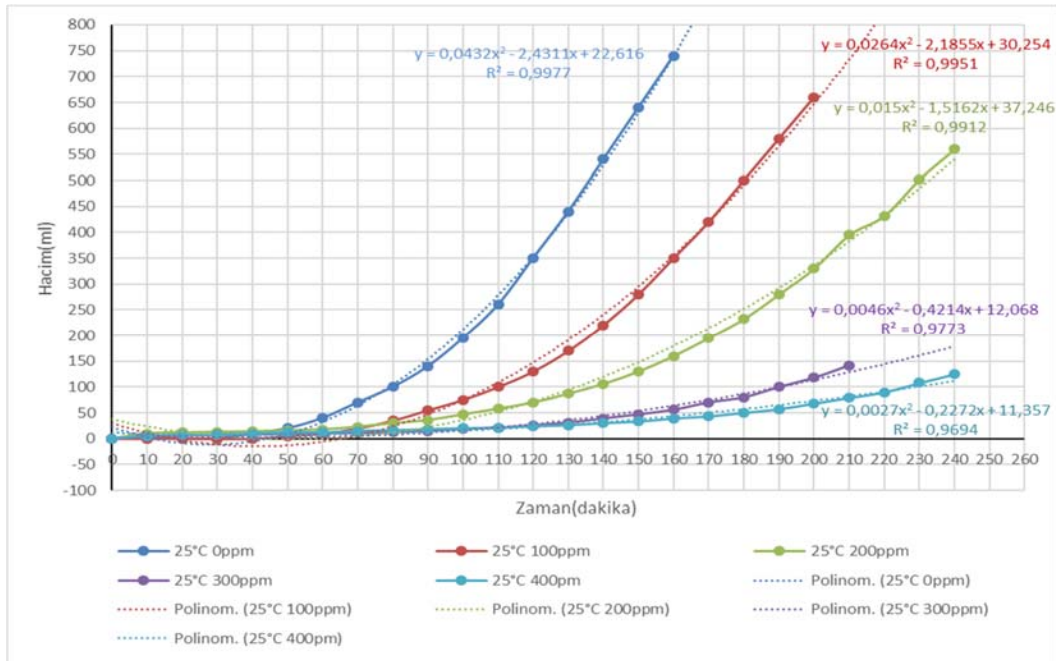
Şekil 4.3 200 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35, 45 °C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı.



Şekil 4.4. 300 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35, 45 °C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı.

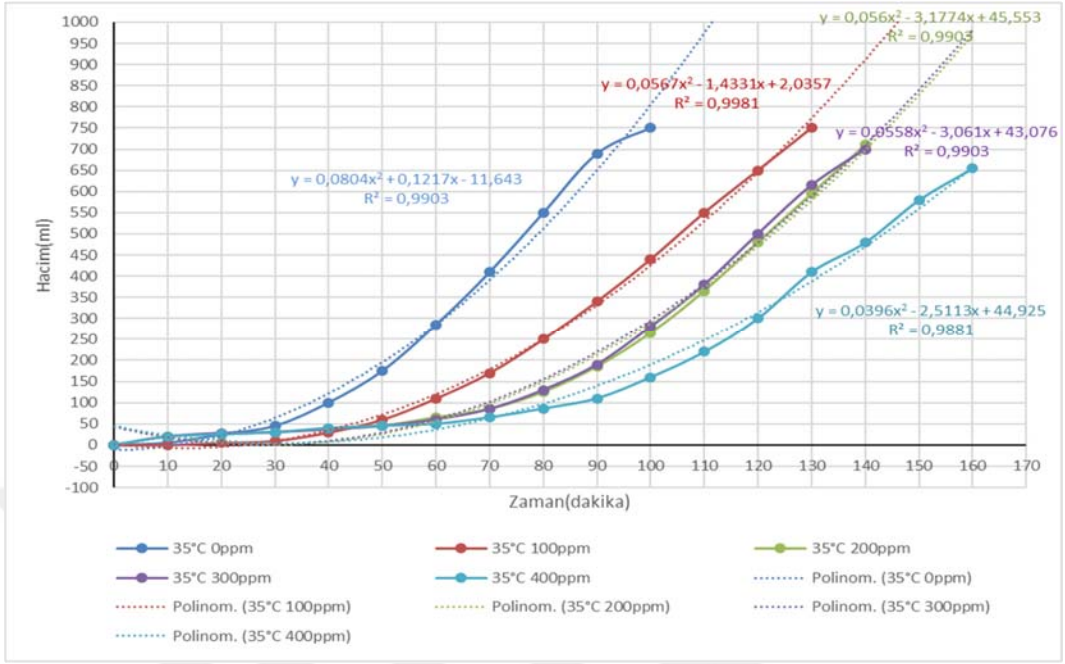


Şekil 4.5. 400 mg/L inhibitörlü ortamda 25, 35, 45 °C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı.

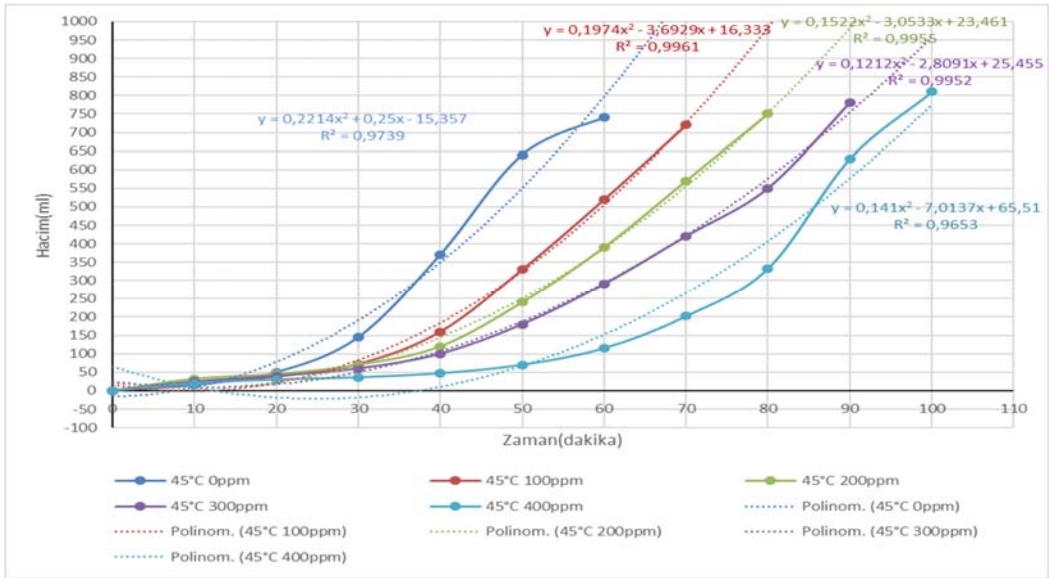


Şekil 4.6 25°C'de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı.



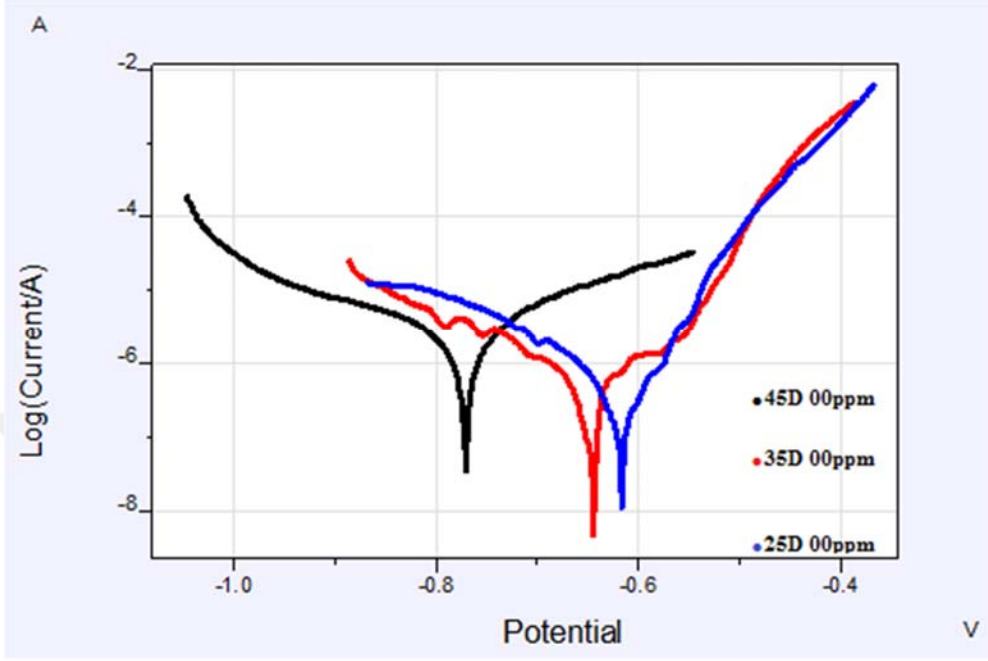


Şekil 4.7. 35°C’de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı.

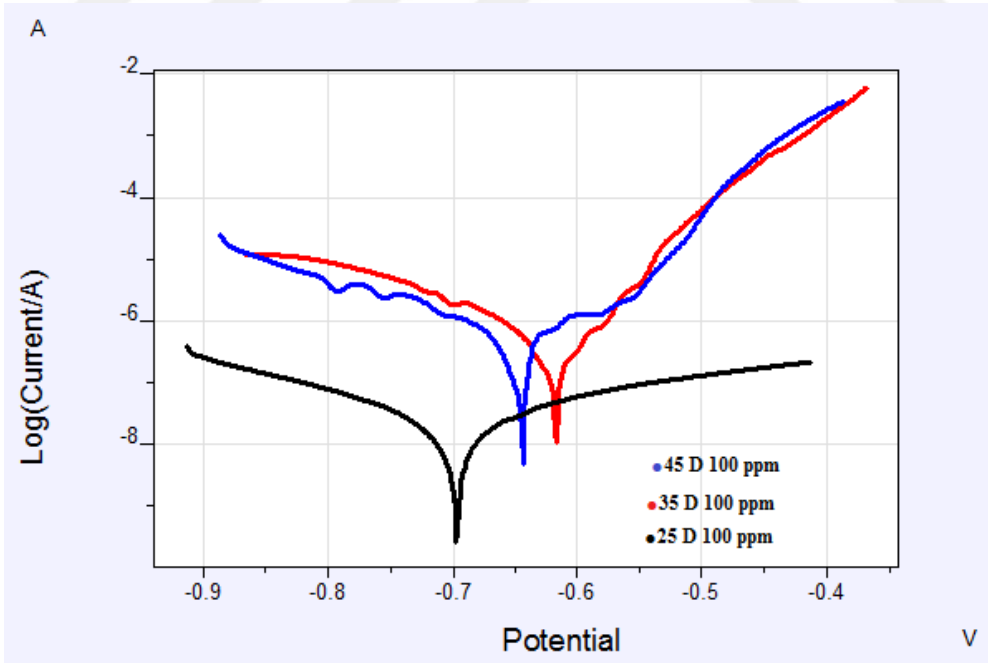


Şekil 4.8. 45°C’de zamana bağlı Hidrojen gazı (ml) çıkışı.

## Elektrokimyasal ölçümler kısmı

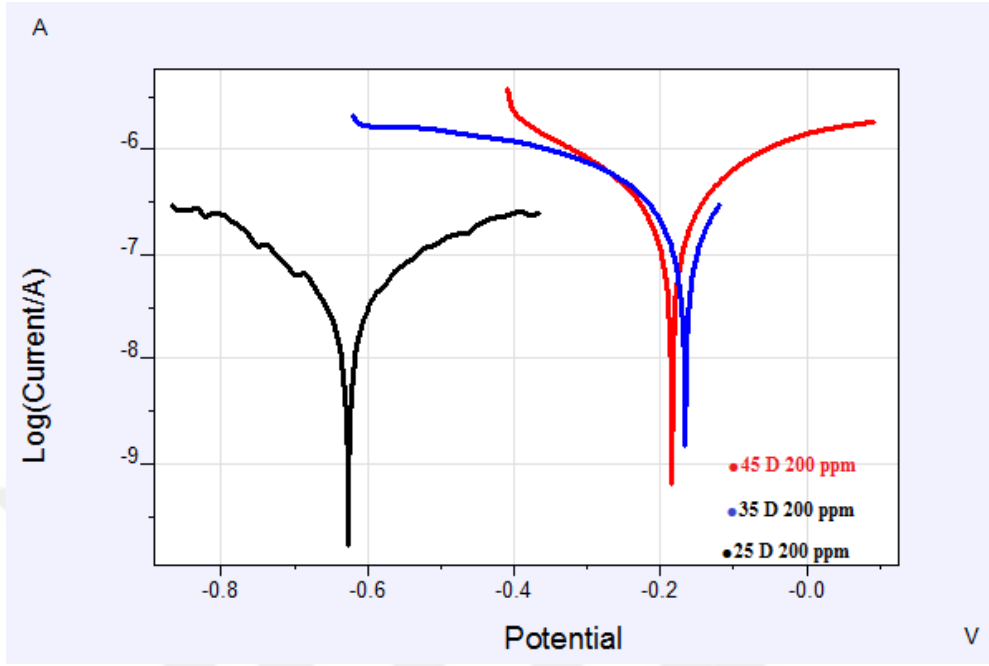


Şekil 4.9. İnhibitörsüz ortamda çözeltinin 25, 35 ve 45°C'deki Tafel eğrileri

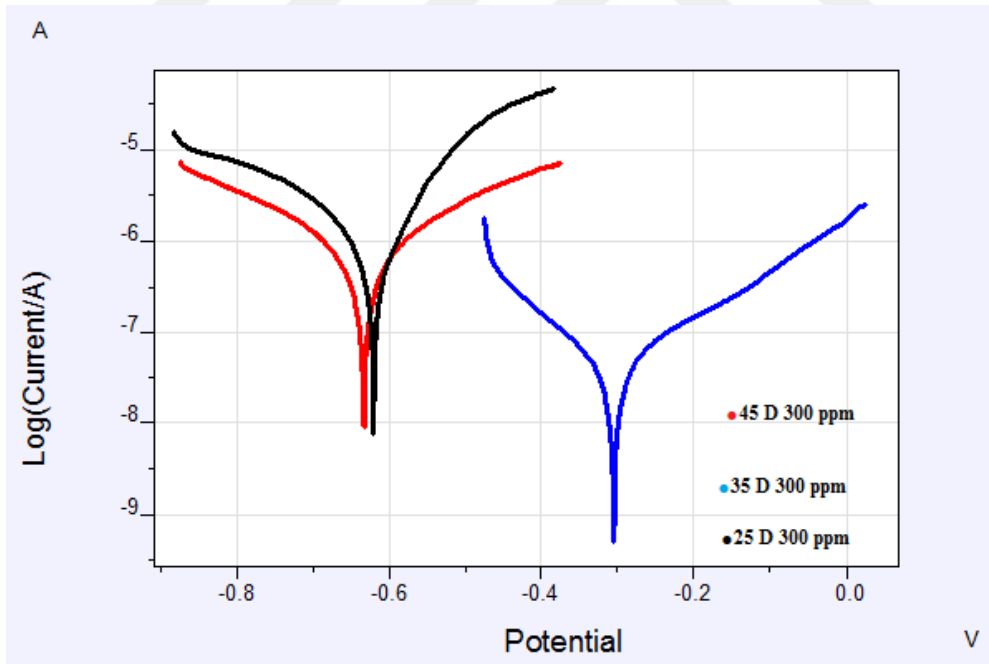


Şekil 4.10. 100 mg/L inhibitörlü ortamda çözeltinin 25, 35 ve 45°C'deki Tafel eğrileri.

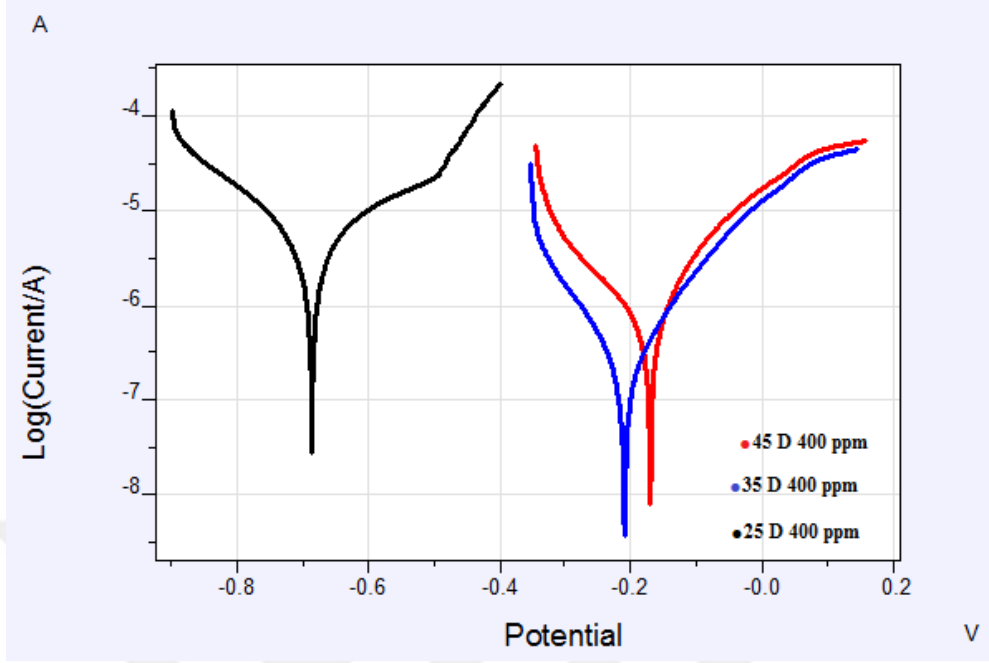




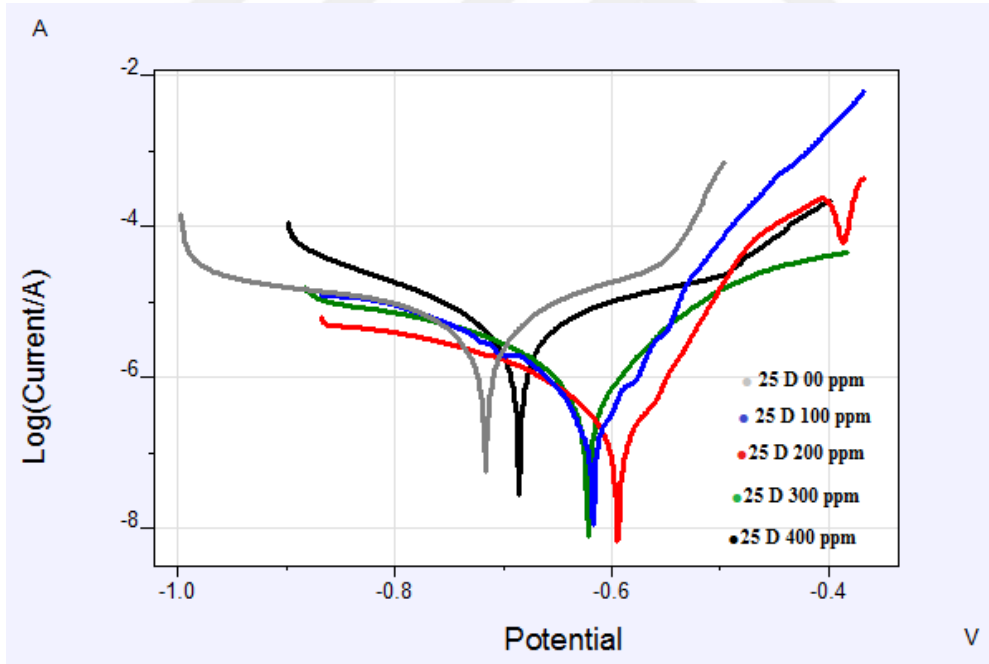
Şekil 4.11. 200 mg/L inhibitörlü ortamda çözeltinin 25, 35 ve 45°C’deki Tafel eğrileri



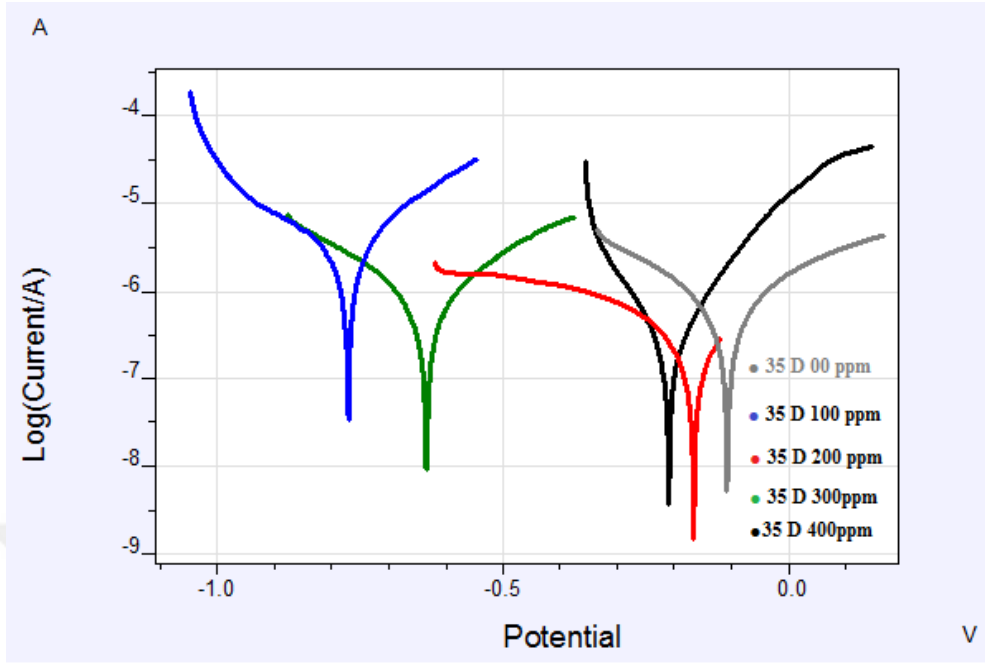
Şekil 4.12. 300 mg/L inhibitörlü ortamda çözeltinin 25, 35 ve 45°C’deki Tafel eğrisi.



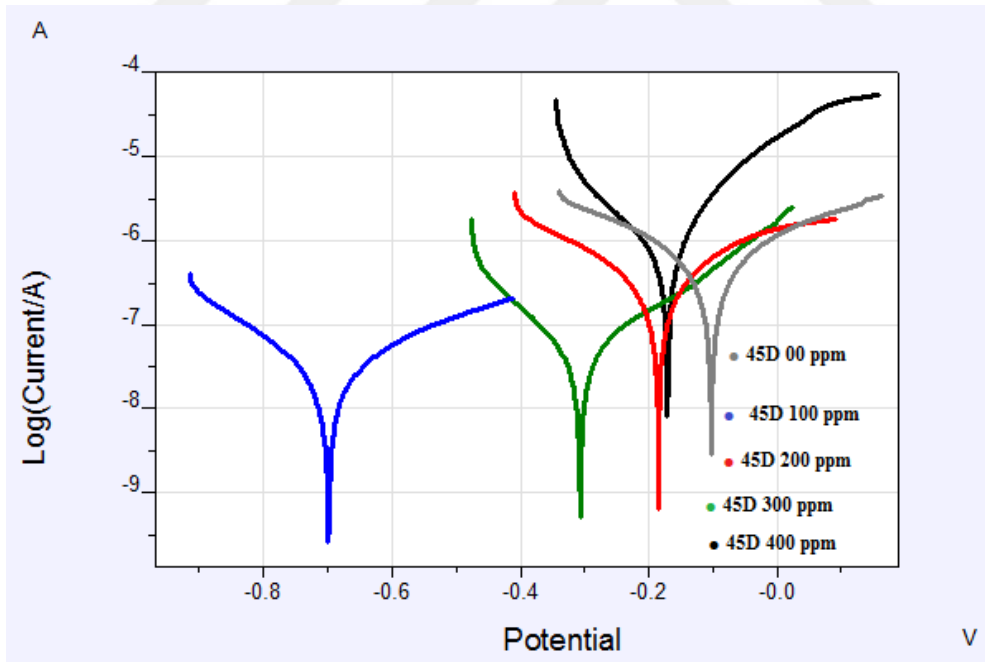
Şekil 4.13. 400 mg/L inhibitörlü ortamda çözeltinin 25, 35 ve 45°C'deki Tafel eğrileri.



Şekil 4.14. 25°C'deki inhibitörsüz ve 100-400 mg/L inhibitörlü ortamda Tafel eğrileri.



Şekil 4.15. 35°C'deki inhibitörsüz ve 100-400 mg/L inhibitörlü ortamda Tafel eğrileri.



Şekil 4.16. 45°C'deki inhibitörsüz ve 100-400 mg/L inhibitörlü ortamda Tafel eğrileri.

**Tablo 4.2.** Elektrokimyasal deneylerden elde edilen sonuçlar.

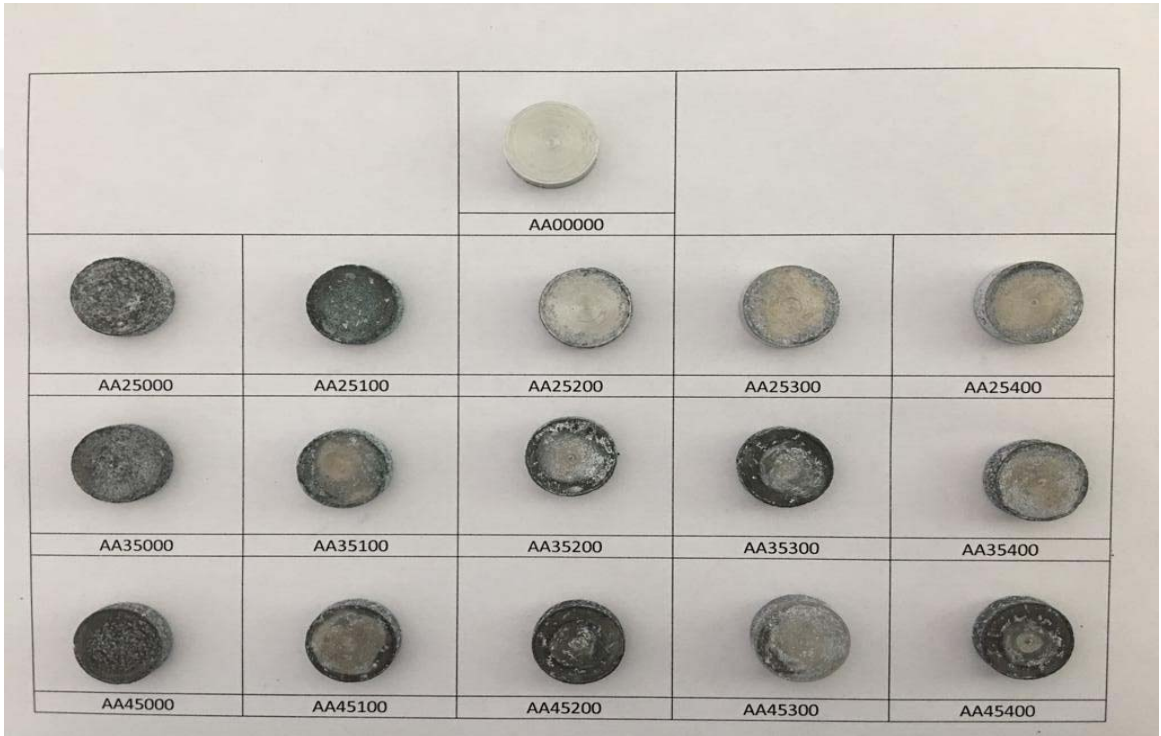
Numune	Ecorr(v)	Icor(A)	Rp(ohm)	ba(V/dec)	bc(V/dec)	C(mm/y)	%EI
AA25°C 00 mg/L	-0,7185	1,43×10 <sup>-6</sup>	9919	0,067	0,064	4,68x10 <sup>-3</sup>	
AA25°C 100 mg/L	-0,2617	2,98×10 <sup>-9</sup>	4,02×10 <sup>6</sup>	0,036	0,117	5,401x10 <sup>-3</sup>	15,40
AA25°C 200 mg/L	-0,5934	1,02×10 <sup>-7</sup>	1,046×10 <sup>5</sup>	0,047	0,051	3,337x10 <sup>-4</sup>	92,86
AA25°C 300 mg/L	-0,6228	9,267×10 <sup>-7</sup>	2,93×10 <sup>4</sup>	0,103	0,159	1,032x10 <sup>-3</sup>	77,94
AA25°C 400 mg/L	-0,6866	3,74×10 <sup>-6</sup>	1,04×10 <sup>4</sup>	0,205	0,160	1,226x10 <sup>-3</sup>	73,80
AA35°C 00 mg/L	-0,1170	3,475×10 <sup>-7</sup>	9,81×10 <sup>4</sup>	0,168	0,147	1,137x10 <sup>-3</sup>	
AA35°C 100 mg/L	-0,7736	1,667×10 <sup>-6</sup>	1,76×10 <sup>4</sup>	0,125	0,148	1,904x10 <sup>-3</sup>	70,62
AA35°C 200 mg/L	-0,1258	1,09×10 <sup>-7</sup>	1,74×10 <sup>5</sup>	0,080	0,097	3,575x10 <sup>-4</sup>	68,55
AA35°C 300 mg/L	-0,6354	5,922×10 <sup>-7</sup>	7,163×10 <sup>4</sup>	0,200	0,191	1,938x10 <sup>-3</sup>	70,44
AA35°C 400 mg/L	-0,2089	2,38×10 <sup>-7</sup>	9,55×10 <sup>4</sup>	0,114	0,109	8,303x10 <sup>-3</sup>	26,97
AA45°C 00 mg/L	-0,0968	3,21×10 <sup>-7</sup>	1,105×10 <sup>5</sup>	0,161	0,166	1,052x10 <sup>-3</sup>	
AA45°C 100 mg/L	-0,1802	3,21×10 <sup>-7</sup>	9,914×10 <sup>4</sup>	0,155	0,139	2,053x10 <sup>-3</sup>	95,15
AA45°C 200 mg/L	-0,1839	1,937×10 <sup>-7</sup>	1,89×10 <sup>5</sup>	0,164	0,174	6,338x10 <sup>-3</sup>	39,75
AA45°C 300 mg/L	-0,3059	3,141×10 <sup>-8</sup>	9,011×10 <sup>5</sup>	0,137	0,124	1,028x10 <sup>-4</sup>	90,22
AA45°C 400 mg/L	-0,1533	1,001×10 <sup>-6</sup>	2,25×10 <sup>4</sup>	0,092	0,120	3,276x10 <sup>-4</sup>	68,85

Tafel eğrileri H<sub>2</sub> gazı çıkışı deneylerinde olduğu gibi iki ana başlık altında incelenmiştir. Birinci grupta 25°C, 35°C ve 45°C dikkate alınarak korozyon hızları elektrokimyasal metotla ölçülmüş ve sonuçları değerlendirilmiştir. İkinci grupta ise inhibitör derişimi dikkate alınarak 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, ve 400 mg/L'de elektrokimyasal ölçümler yapılmıştır. Bu sonuçlar inhibitörsüz numuneyle karşılaştırılmıştır.

25°C’de inhibitörsüz numune ile inhibitör derişimi artışına bağlı olarak korozyon etkinliği incelendiğinde en iyi sonucun %93 ile ortamda 200 mg/L inhibitör bulunan alüminyum numunesinin en az korozyona uğradığı tespit edilmiştir. 35°C’de inhibitör etkinlikleri incelendiğinde 100 mg/L, 200 mg/L, ve 300 mg/L yaklaşık %70 korozyon etkinliği hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre en uygun inhibitör derişimini 100 mg/L kabul edebiliriz. 45°C’de korozyon etkinliklerini incelediğimizde 100 mg/L ve 300 mg/L inhibitör bulunan ortamdaki alüminyum alaşımının en az korozyona uğrayan numuneler olduğunu söyleyebiliriz. Düşük derişimlerde korozyonu daha etkin bir şekilde önlediği söylenebilir. Optimum kahve atığı derişimi sıcaklık artışına bağlı olarak alüminyum alaşımının korozyonunu inhibe etmek için 200 mg/L olarak seçilmesi en uygun olduğu bulunmuştur.

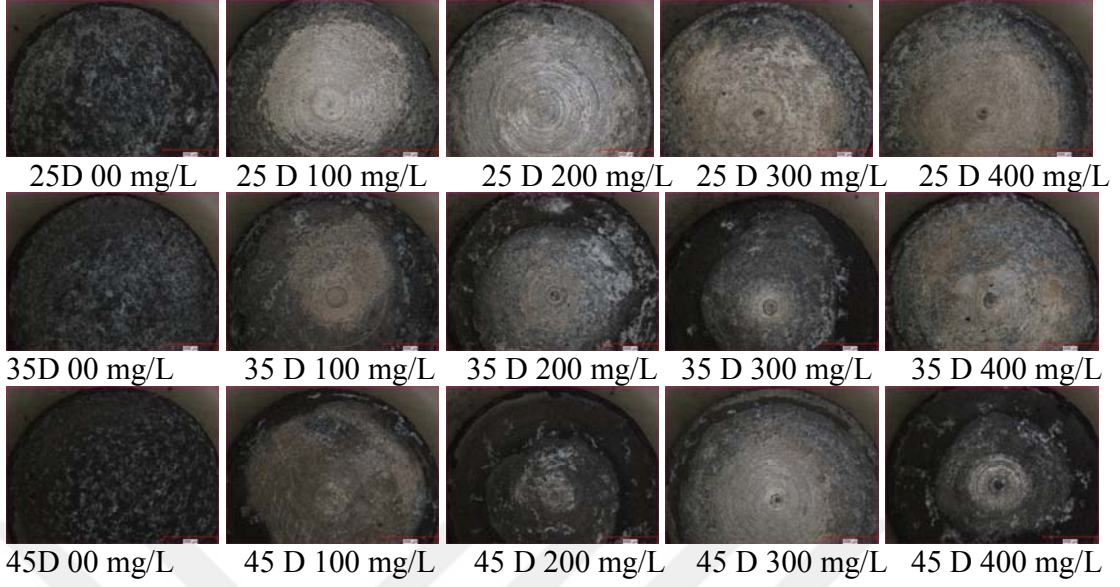
## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hidrojen gazı çıkışı ölçümleri sonunda korozyona uğrayan alüminyum alaşımlarının görüntüsü Şekil 5.1’de verilmiştir. Bu numuneler incelendiğinde sıcaklık artışının ve inhibitör derişiminin etkileri net bir şekilde görülmektedir. Bu görsel elektrokimyasal olarak korozyon etkinliği ölçüm sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

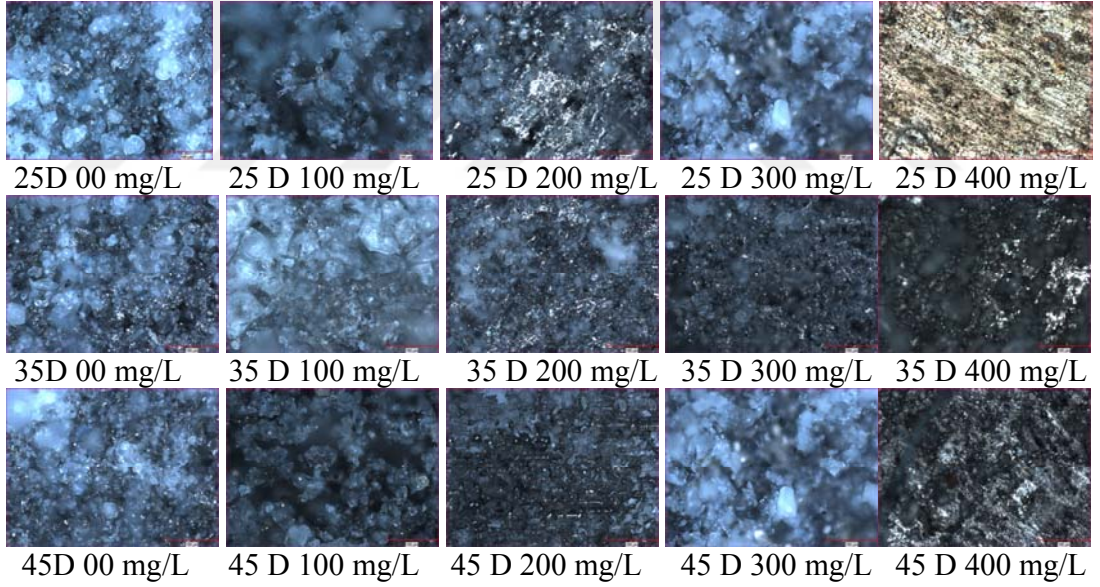


**Şekil 5.1** Hidrojen gazı çıkışı deneylerinin sonrasındaki alüminyum numunelerinin görüntüsü.

Hidrojen gazı çıkışı deneylerinin sonrasındaki normal görüntüleri yanında ayrıca korozyona uğramış alüminyum alaşımlarının optik mikroskopla ve stereo mikroskopla görüntüleri daha detaylı çekilmiştir. Bu görüntüler Şekil 5.2. ve Şekil 5.3’te verilmiştir. Bu örnekler Manisa Celal Bayar Üniversitesi Makine mühendisliğinde bulunan Nikon LV150N marka optik mikroskop ve Nikon marka stereo mikroskopla incelenmiştir.

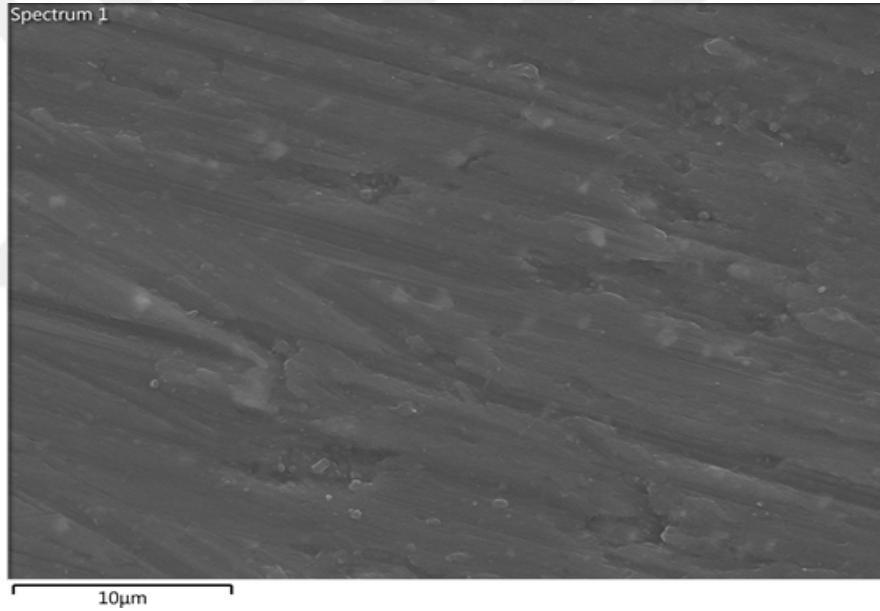


**Şekil 5.2.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası alüminyum numunelerin Stereo mikroskop görüntüleri.



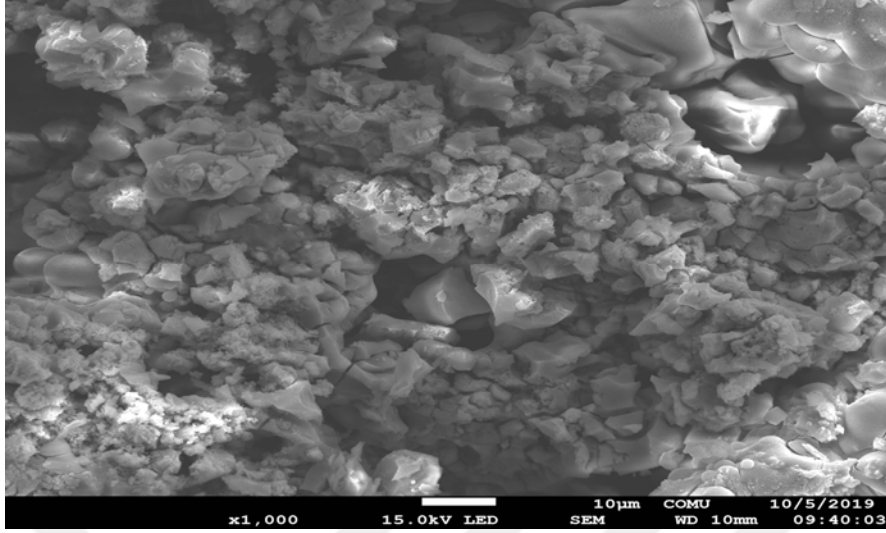
**Şekil 5.3.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası alüminyum numunelerin Optik mikroskop görüntüleri.

Şekil 5.5 - Şekil 5.19 arasındaki SEM görüntüleri korozyona uğrayan alüminyum alaşımlarının SEM görüntülerine aittir. İnhibitör ve sıcaklığın etkileri yüzeyde bariz şekilde görülmektedir. Şekil 5.4'te işlem görmemiş alüminyum alaşımının SEM görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.5'te inhibitörsüz ortamda asitin oluşturduğu metal yüzeyindeki deformasyon oldukça belirgindir. Şekil 5.6'da 25 °C ve 100 mg/L inhibitör varlığında ve Şekil 5.7'de 25 °C ve 200 mg/L inhibitör varlığında asitin yol açtığı tahribatın azaldığı yüzeyde oksit tabakası ve inhibitör tabakası gözlenmektedir. Şekil 5.8'de ve Şekil 5.9'da 25°C için sırasıyla 300 mg/L ve 400 mg/L inhibitör bulunan ortamdaki alüminyum metali üzerinde çatlakların oluştuğu inhibitör pozitif etkiden çok negatif etkide bulunduğu görülmektedir.

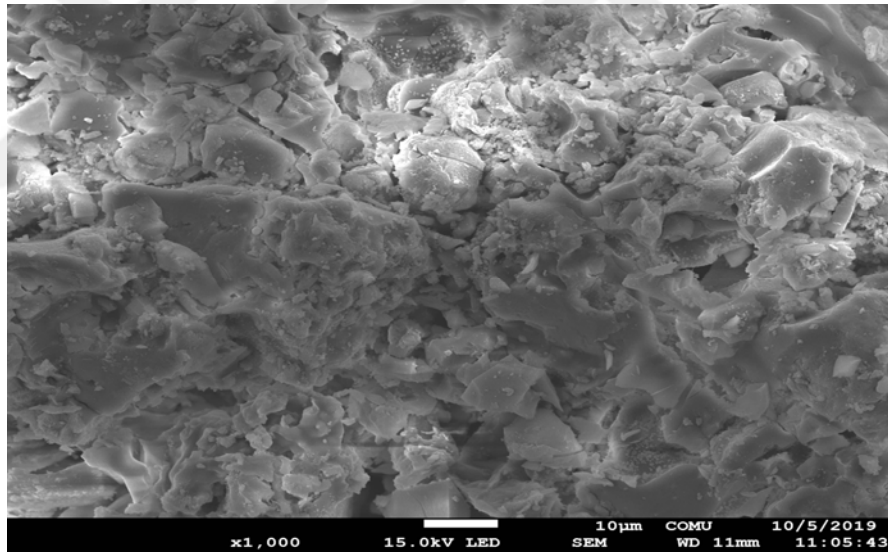


**Şekil 5.4.** Referans alüminyum numunesinin SEM görüntüsü.

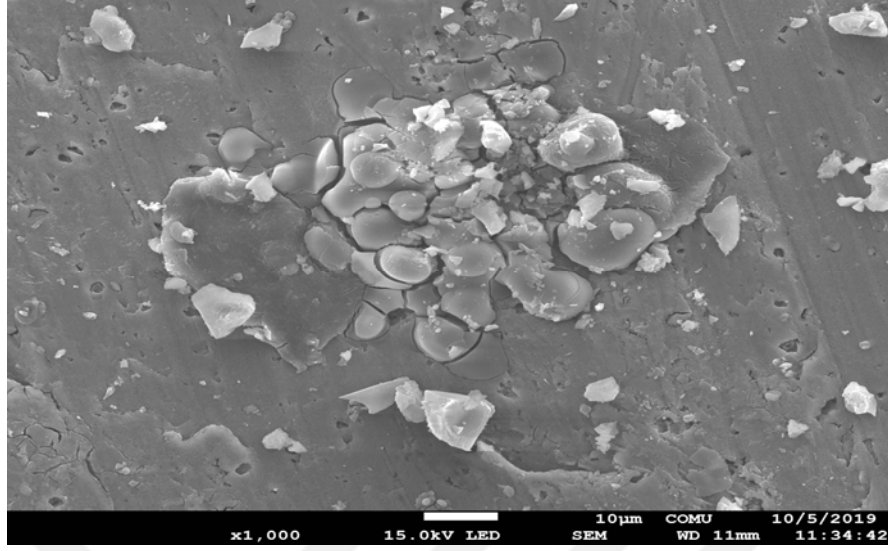




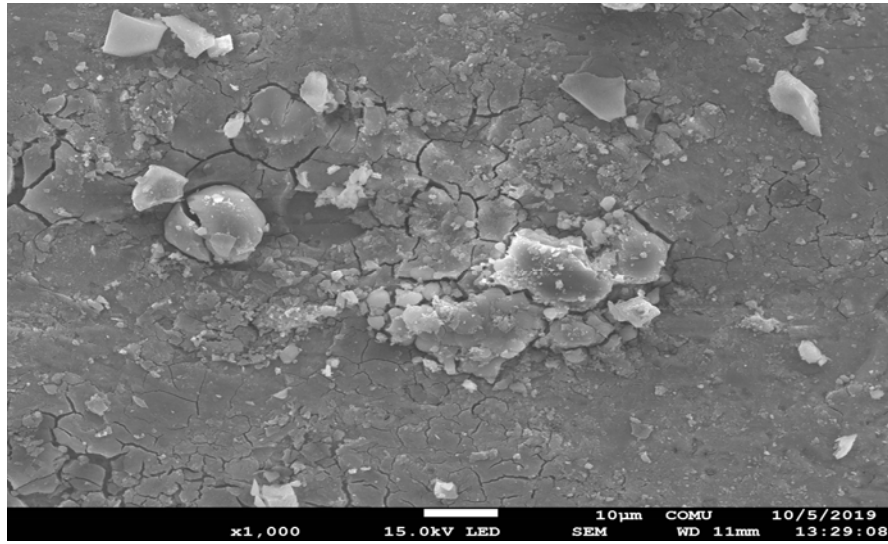
**Şekil 5.5.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası inhibitörsüz ortamda alüminyum numunenin 25°C'deki SEM görüntüsü



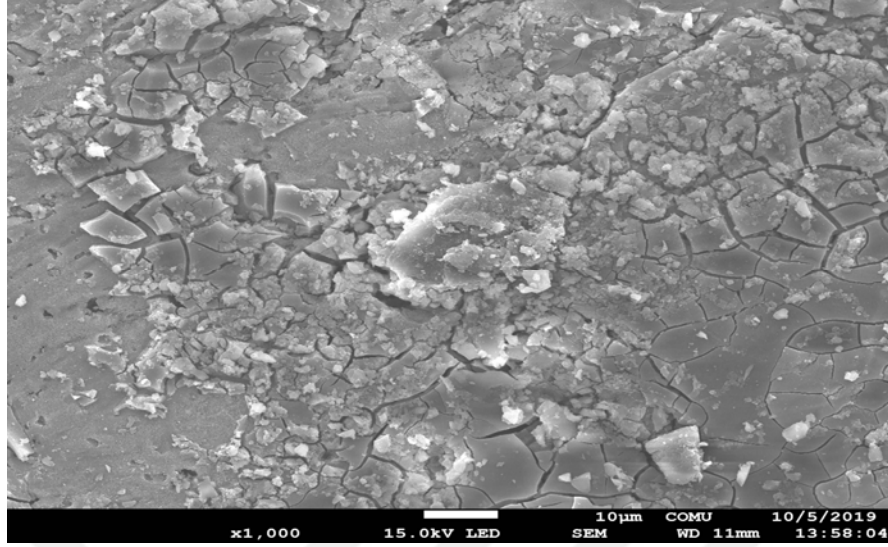
**Şekil 5.6.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 100 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 25°C'deki SEM görüntüsü



**Şekil 5.7** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 200 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 25°C'deki SEM görüntüsü

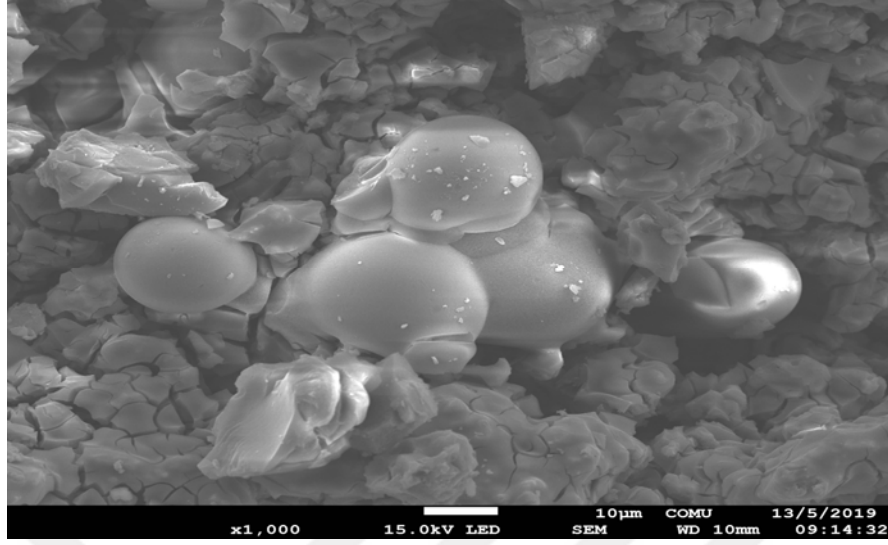


**Şekil 5.8.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 300 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 25°C'deki SEM görüntüsü

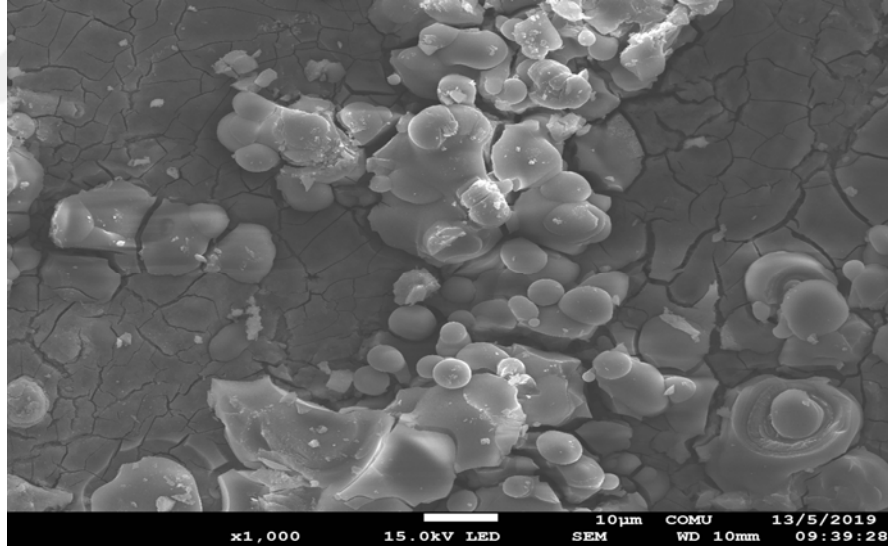


**Şekil 5.9.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 400 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 25°C'deki SEM görüntüsü

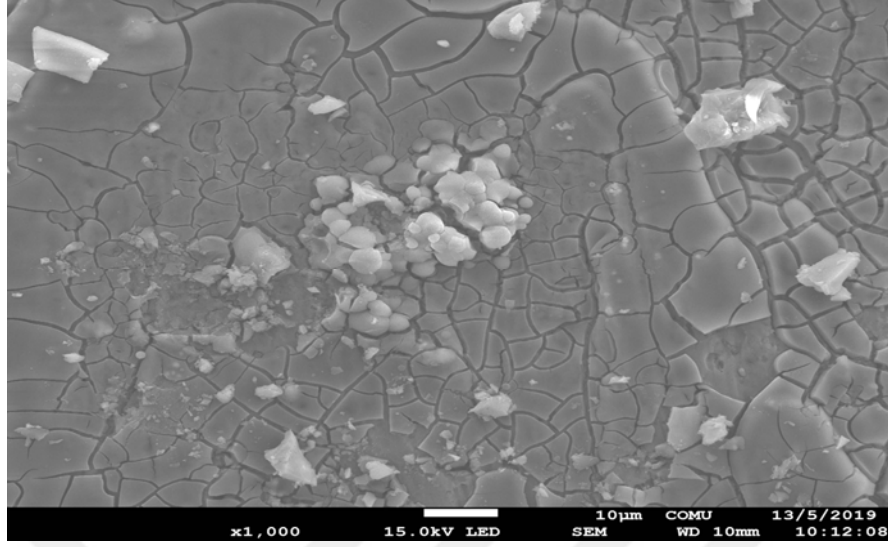
35°C'deki SEM görüntüleri (Şekil 5.10-Şekil 5.14) incelendiğinde; inhibitörsüz ortamdaki Şekil 5.10'da alüminyum alaşımının en çok korozyona uğradığı görülmektedir. Yüzeyinde meydana gelen derin çatlaklar sıcaklık ve asitin etkilerini belirgin bir şekilde ortaya koymaktadır. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de sırasıyla 100 mg/L ve 200 mg/L de inhibitörün yüzeyi koruduğu bir oksit tabakasıyla birlikte daha az korozyona uğradığı görülmektedir. Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te bu oksit tabakasının ve inhibitör tabakasının kaybolduğu derin çatlakların oluşmaya başladığı görülmektedir. 25°C'deki etkiler ile kıyaslandığında 35°C'de metal yüzeyinde meydana gelen deformasyon daha sert bir mizaca sahiptir.



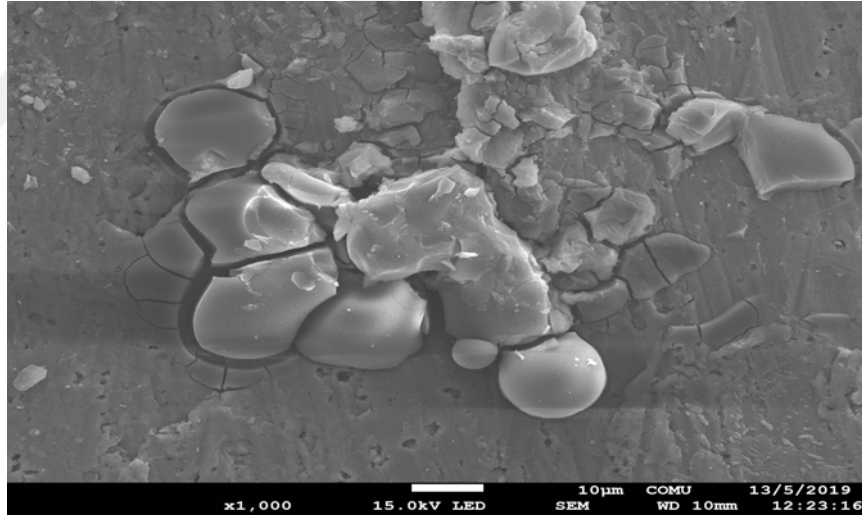
**Şekil 5.10.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası inhibitörsüz ortamda alüminyum numunenin 35°C'deki SEM görüntüsü



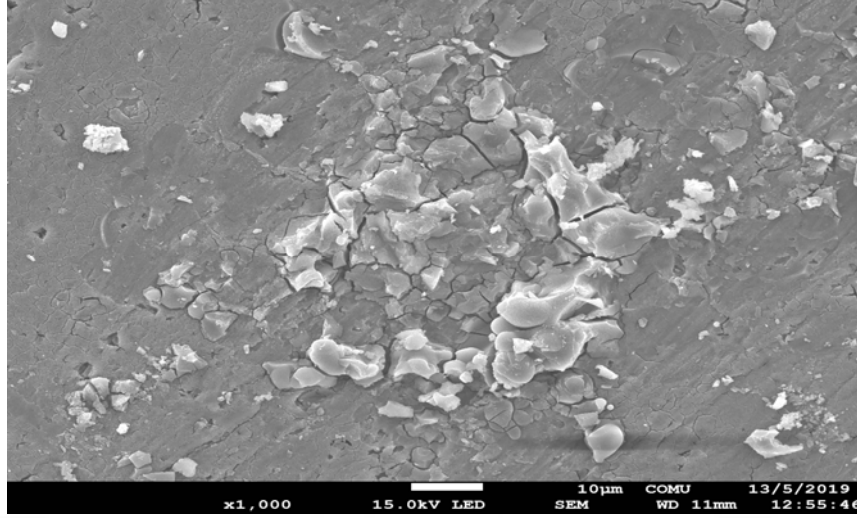
**Şekil 5.11.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 100 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 35°C'deki SEM görüntüsü



**Şekil 5.12.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 200 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 35°C'deki SEM görüntüsü

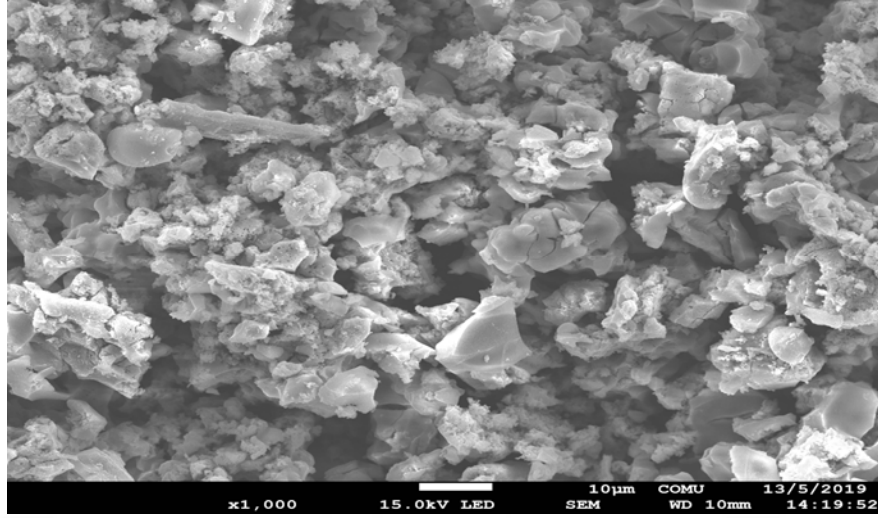


**Şekil 5.13.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 300 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 35°C'deki SEM görüntüsü

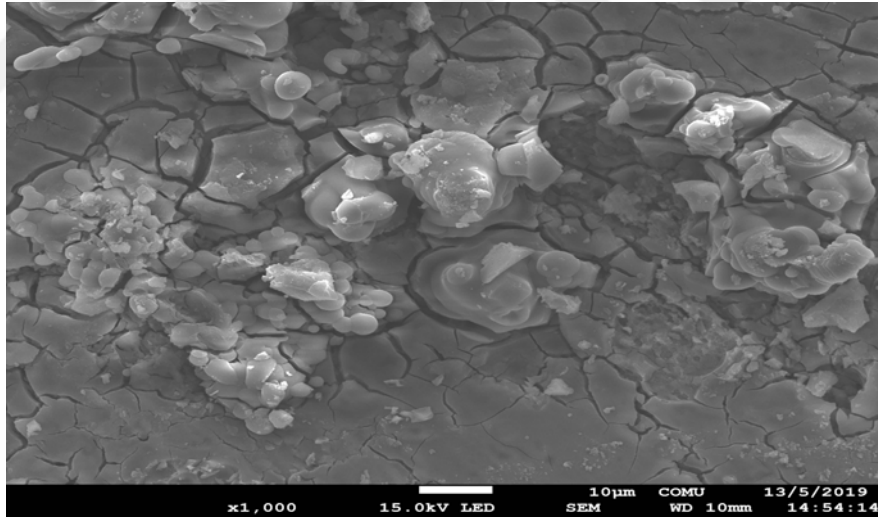


**Şekil 5.14.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 400 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 35°C'deki SEM görüntüsü

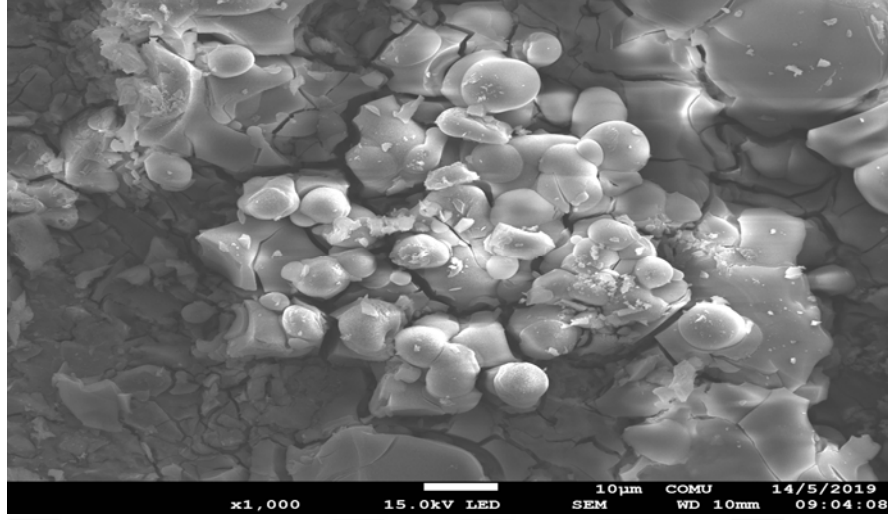
45°C'deki SEM görüntüleri (Şekil 5.15-Şekil 5.19) incelendiğinde; inhibitörsüz ortamdaki Şekil 5.15'da alüminyum alaşımının bütün numuneler içinde en çok korozyona uğradığı görülmektedir. Yüzeyinde meydana gelen derin çatlaklar sıcaklık ve asitin etkilerini belirgin bir şekilde ortaya koymaktadır. Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de sırasıyla 100 mg/L ve 200 mg/L de inhibitörün yüzeyi koruduğu bir oksit tabakasıyla birlikte daha az korozyona uğradığı görülmektedir. Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da bu oksit tabakasının ve inhibitör tabakasının kaybolduğu derin çatlakların oluşmaya başladığı görülmektedir. 25°C'deki ve 35 °C'deki etkiler ile kıyaslandığında 45°C'de metal yüzeyinde meydana gelen deformasyon daha sert bir mizaca sahiptir.



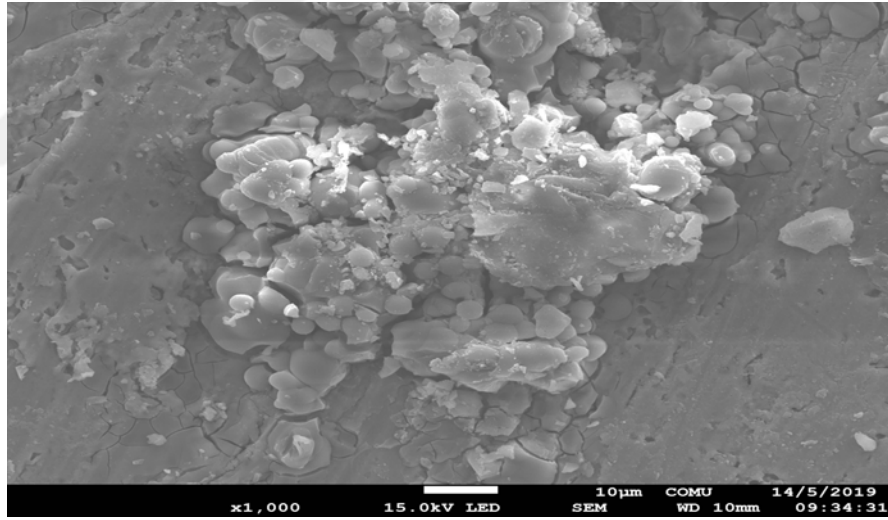
**Şekil 5.15.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası inhibitörsüz ortamda alüminyum numunenin 45°C'deki SEM görüntüsü



**Şekil 5.16.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 100 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 45°C'deki SEM görüntüsü

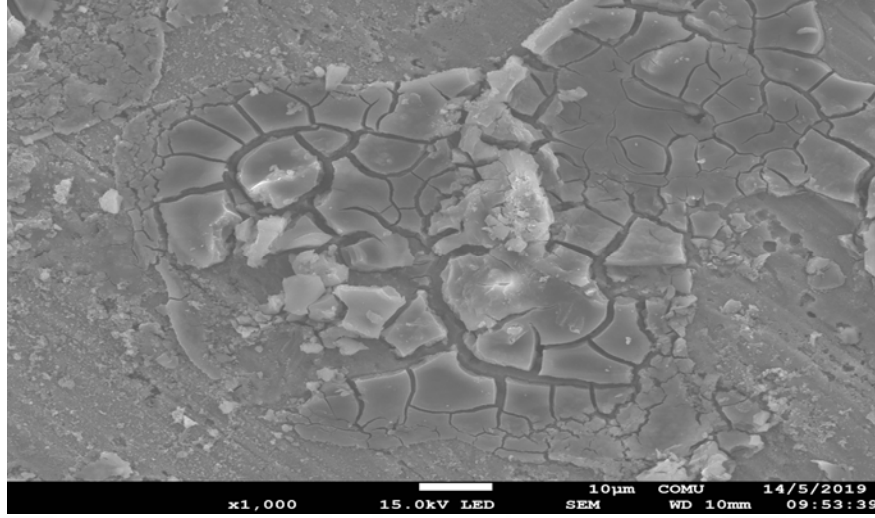


**Şekil 5.17.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 200 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 45°C'deki SEM görüntüsü



**Şekil 5.18.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 300 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 45°C'deki SEM görüntüsü





**Şekil 5.19.** Hidrojen gazı çıkışı deneyleri sonrası 400 mg/L inhibitörlü ortamda alüminyum numunenin 45°C’deki SEM görüntüsü

Bu çalışmada, ilgili literatür gözönünde bulundurularak hidrojen gazı çıkışı metodu ile korozyon ölçümü, elektrokimyasal metotlarla yapılan korozyon ölçümleri, gözleme dayalı değerlendirmeler ve metal yüzeyinde detaylı görüntüleme teknikleri yardımıyla yapılan incelemeler ile kahve atıklarının ekstraktlarının alüminyum alaşımı üzerinde inhibisyon etkinliği araştırılmıştır.

Hidrojen gazı çıkışı ile yapılan ölçümlerde sıcaklık artışı ile korozyon hızının arttığı ve inhibitör ilavesi ile bu hızın yavaşladığı görülmüştür. Asit ortamındaki inhibitör etkinliğinin düşük sıcaklıklarda ve düşük inhibitör derişimlerinde sağlanabilmiştir.

Elektrokimyasal ölçümler hidrojen gazı ile yapılan ölçümleri desteklemektedir. H<sub>2</sub> gazı ölçüm testlerinden farklı olarak elektrokimyasal testlerde %3.5 tuzlu su çözeltisi kullanılmıştır. Alüminyum alaşımının korozyonu son derece hassas bir şekilde ölçülmüştür. Tam bir karşılaştırma yapmak için ortamın her ikisi içinde asit seçildiğinde sağlıklı bir değerlendirme yapılması mümkündür.

Alüminyum alaşımı numunelerinin SEM ve mikroskop görüntüleri her iki metotla yapılan sonuçları teyit etmektedir. Yüzeylerinde meydana gelen deformasyonlar inhibitörü düşük sıcaklıklarda ve düşük derişimlerde kullanmanın uygun olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak deneysel çalışmalarımız, ekonomik olarak değeri olmayan kahve atıklarının alüminyum alaşımlarının korozyonunu önlemek için uygun olduğunu en iyi sonucun 25 °C ve 100 mg/L inhibitör derişiminde numunelerin en az korozyona maruz kaldığı tespit edilmiştir.



## KAYNAKLAR

1. Epelboin, I, Keddam, M. And Takenoutie, H, 'Use of Impedance Measurements for Determination the Instant Rate of Metal Corrosion', Journal of Applied Electrochemistry, Vol. 2, pp. 71 – 79, 1972.
2. Van Muylder, J., Pourbaix, M. Atlas d'équilibres électrochimiques à 25° C, Gauthier-Villars & Cie, Paris, 1963, 378 s.
3. Bazzi, L., Kertit, S., Hamdani, M. Revue de Métallurgie, Sciences et Génie des Matériaux Décembre, 1994,1835 s.
4. Samuels, B. W., Sotoudeh, K., & Foley, R. T. Inhibition and acceleration of aluminum corrosion. Corrosion, 1981, 37(2), 92-97
5. Richardson, J. A., & Wood, G. C. The interpretation of impedance changes on oxide-coated aluminum produced by immersion in inhibitive and corrosive aqueous media. Journal of the Electrochemical Society, 1973, 120(2), 193-202
6. Trabellini, G. 'Corrosion Mechanisms', F. Mansfeld Editor, Marcel Dekker, New York, p. 119, 1987.
7. Landolt, D. '12. Corrosion et Chimie de Surfaces des Métaux', Presses olytechniques Universitaires Romandes, pp. 62, 492, 495, 1997.
8. Luminita-Dinstirbu, E. 'Comportement à la Corrosion des Alliages d'Aluminium Utilisés dans l'Industrie Automobile pour la Fabrication de Radiateur de Chauffage' Thèse de l'Institut National des Sciences Appliquées, Lyon, France, 2005.
9. Stupnisek-Lisac, E. and Ademovic, Z. Proceedings of the 8 th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Ann. Univ. Forrara, Italy, N.S. Sez suppl 5, Vol. 10, p. 257, 1995.
10. Nobel Pujol-Lesueur, V. 'Etude du Mécanisme d'Action du Monoflorophosphate de Sodium comme Inhibiteur de la Corrosion des Armatures Métalliques dans le Béton', Thèse de l'Université Paris VI, 2004.
11. Yingchu, T., Quanzhong, Z., Zhimang, G., Wenli, J., and Sinong, C., 'Study on the Corrosion Inhibitor and Fog Suppressor for Chemical Pickling of Iron and Steel', Wuhan University Journal of Natural Sciences, Vol. 1, N°2, pp. 244 – 250, 1996.
12. Mercer, A.D., Shreir, L.L., Jarman, R.A, and Burstein, G.T. 'Corrosion Inhibition: Principles and Practice', In: (Eds), Corrosion Control, Oxford, UK, Butterworths: Heinemann, pp. 11– 39, 1994.
13. Nathan, C.C. Editor, 'Corrosion Inhibitors', NACE, Houston, Texas, 173, 1972. / V. Nobel Pujol-Lesueur, 'Etude du Mécanisme d'Action du Monoflorophosphate de Sodium comme Inhibiteur de la Corrosion des Armatures Métalliques dans le Béton', Thèse de l'Université Paris VI, 2004.
14. Morakchi, K., Hamel, A., Zazoua, A., & Kherrat, R. Caractérisation par spectroscopie d'impédance électrochimique des inhibiteurs de corrosion destinés au circuit de refroidissement. Revue des Energies Renouvelables, 2008, 11(3), 357-362.
15. Amira, S., Gagnon, M., & Gallant, D. Guide de solutions pratiques permettant de contrer la corrosion galvanique entre l'aluminium et l'acier dans le domaine du transport terrestre. Ottawa, Canada, 2010, 47s.
16. Iuliano, R., EL Ahmadi, J., Neutelers, T. Corrosion des métaux. Liege, 2014, 65s.
17. Doruk, M. Corrosion and Its Prevention. Middle East Technical University Publications, Ankara, 1982, Turkey, 70, 41.

18. Kaftan, M. A. Çelik yapılarda korozyon oluşumu ve korozyondan korunma yöntemlerinin maliyet açısından karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 2006, 90s (Yüksek Lisans Tezi).
19. Onat, A. Korozyon Ders Notu. Sakarya Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalurji Programı, Türkiye, 2015, 30 s.
20. Girit, N., Korozyon İnhibitörleri, THM-Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 426. Ankara, 2003/4, 141s.
21. Dariva, C. G. ve Galio, A. F., Developments in Corrosion Protection, (Ed: Aliofkhazraei, M.), AvE4EvA, 2014, Yayın yeri yok, 357-367s.
22. Volkan, Ç. ve ark., Corrosion Chemistry, Scrivener Publishing LLC, Salem, Massachusetts, 2011, 176 s.
23. Roberge, P. R., Handbook of Corrosion Engineering, The McGraw-Hill, 2000, New York, 332-368 s.
24. ASAN, A., Korozyondan Korunma Yöntemleri. Hitit Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, Çorum, 2017, 23s.
25. Pul, M. 7075, 6061 ve 2024 Alüminyum alaşımlarının Tornalamasında Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım aşınmasının Karşılaştırılması. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Kırıkkale (2017).
26. Çavuş, Z. “Susuzlaştırılmış boraksın alüminyum-bakır alaşımının mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkisi” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, s. 1-37.
27. [http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum\\_ve\\_Aluminyum\\_Alasimleri.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum_ve_Aluminyum_Alasimleri.pdf)
28. Vargel, C., Corrosion of Aluminium, (M. P. Schmidt, Çev.), Elsevier, 2004, Paris, Fransa, 658 s.
29. Davis, J.R., Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, ABD, 262s.
30. Schweitzer, P. A., Metallic Materials, Physical, Mechanical and Corrosion Properties, Marcel Dekker, 2003, New York, 700 s.
31. NACE Glossary of Corrosion Terms. Materials Protection, 4, 1, (1965), p. 79.
32. Bommersbach, P. Evolution des propriétés d'un film inhibiteur de corrosion sous l'influence de la température et des condition hydrodynamique. PhD, Institute of Applied Sciences Lyon, 2005, Villeurbanne, P. 133.
33. H.E. Waldrip, Present day Aspects of Condensate Well Corrosion. Corrosion, 4, (1948) 611.
34. Hammer Norman, E. Scope and importance of inhibitor technology, Nathan, Houston, NACE Corrosion Inhibitors, USA: National Association of Corrosion Engineers, (1973) 28.
35. Paul-Louis FABRE, O. REYNES, électrochimie résumé de cours et exercices corrigés, ellipses 214.
36. Mezhoud, B. Synthèse des inhibiteurs contre la corrosion des aciers. Université Mentouri-Constantine, Faculté Des Sciences Exactes, Department De Chimie, Algerie, 2010, 100 pages.

37. Singh, A. K., Mohapatra, S., Pani, B., Corrosion inhibition effect of Aloe Vera gel: Gravimetric and electrochemical study, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2016, 33, 288-297s.
38. Odewunmi, N. A., Umoren, S. A., Gasem, Z. M., Utilization of watermelon rind extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in acidic media, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2015, 21, 239-247s.
39. Odewunmi, N. A., Umoren, S. A., Gasem, Z. M., Watermelonwaste products as green corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2015, 3, 286-296s.
40. Bouknana, D., Hammouti, B. ve ark., Olive Pomace Extract (OPE) as Corrosion Inhibitor for Steel in HCl Medium, *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 2014, 4, 963-974s.
41. El-Haddad, M. N., Chitosan as a Green İnhibitor for Copper Corrosion in Acidic Medium, *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 55, 142-149s.
42. Akalezi, C. O., Enenebaku, C. K. ve ark., Inhibition of Acid Corrosion of Mild Steel by Biomass Extract From the Petersianthus Macrocarpus Plant, *Journal of Materials and Environmental Science*, 2013, 4 (2), 217-226s.
43. Flaud, C. Inhibiteur de corrosion, Université Pierre & Marie curie, ENSC, Paris. *Techniques de l'ingénieur, Traité corrosion – Vieillissement*, 2006, Vol. Cor 1005, pp. 1-14
44. Obot, I.B., Umoren, S.A., Obi-Egbedi, O., Corrosion inhibition and adsorption behaviour for aluminuim by extract of Aningeria robusta in HCl solution: Synergistic effect of iodide ions, *Journal of Materials and Environmental Science*, 2011, 2(1), 60-71.
45. Cheney, R.H. Coffee. The New York University Press, New York. 1925, 244 pages
46. Wrigley, G. Coffee. Longman Scientific Technical and John Wiley & Sons, Inc. New York, 1988, 639 pages
47. Charrier, A., Berthaud, J. Botanical classification of coffee. In: M.N. Clifford and K.C. Willson, eds. *Coffee: botany, biochemistry, and production of beans and beverage*. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, CN. 1985, pages. 13- 47.
48. <http://www.tibaagan.com/coffea-arabica-rubiaceae/>
49. Abalı, Y., Gümüş, R., Vatansever, S., & Ersöz, N. Türk Kahvesi Telvesinden Biyodizel Üretimi. 2009, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu. Diyarbakır, Sayfa 198-202
50. Saltan, F. Z., & Kaya, H. Kahve: Bir Farmakognozık Derleme. *FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2018, 43(3), 279-289.
51. Ranarivelo, N. D. "Variabilité de la composition chimique des caféiers spontanés de la région malgache (Mascarocoffea Chev.): cas de Coffea homollei, C. kianjavatensis, C. lancifolia de la série Verae." Université D'Antananarivo, Ecole Supérieure Des Sciences Agronomiques, Department des Eaux et Forets, Antananarivo, 2011, 114 pages.
52. Esquivel, P., Jiménez, V.M., 2012. Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International* 46: 488-495.

53. Borrelli, R.C., Esposito, F., Napolitano, A., Ritieni, A., Fogliano, V., 2004. Characterization of a new potential functional ingredient: coffee silverskin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52(5): 1338-1343.
54. Murthy, P.S, Madhava Naidu, M., 2012. Sustainable management of coffee industry byproducts and value addition-A review. *Resources, Conservation and Recycling* 66: 45-58.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mohamadou Abdoullahi Lamin  
Doğum yeri ve Yılı : Kamerun, 1990  
Medeni Hali : Bekar  
E-posta : abdoulaylamine@yahoo.fr

### Eğitim Durumu

Lise : Lycée Classique et Moderne de Ngaoundéré, 2011.  
Lisans : Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 2016.

### Mesleki Deneyim

Medoffice Sağlık Endüstri  
A.Ş 2017-