



T.C  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASİDİK ORTAMDA  $C_{19}H_{18}N_4O_3$  SCHIFF BAZININ KOROZYON  
İNİHİTÖRÜ OLARAK KULLANILMA POTANSİYELİNİN  
ARAŞTIRILMASI

HATİCE ASLIHAN AKBAL TÜYSÜZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN  
PROF. DR. HÜSNÜ GERENGİ

DÜZCE, 2021

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

**ASİDİK ORTAMDA C<sub>19</sub>H<sub>18</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub> SCHİFF BAZININ KOROZYON  
İNHİBİTÖRÜ OLARAK KULLANILMA POTANSİYELİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

H. Aslıhan Akbal Tüysüz tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr.Hüsnü GERENGİ

Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Ümit ERGUN

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Muhammed YILDIRIM

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 24/06/2021

## BEYAN

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

27 Mayıs 2021

Hatice Aslıhan AKBAL TÜYSÜZ

## TEŐEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca tecrübelerinden yararlanırken göstermiő olduğu hoőgörü ve sabrından dolayı değerli hocam, sayın Prof. Dr. Hüsnü GERENĐİ'ye.

Değerli katkılarından dolayı sayın Dr. Moses Monday SOLOMON, sayın Dr. Öğr. Üyesi Reőit ÇAKMAK ve sayın Dr. Öğretim Üyesi Beőir DAĞ'a.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen korozyon laboratuvarı çok değerli çalışma arkadaşlarım Sayın Mesut YILDIZ, Sayın Dr. Mine KURTAY ve Sayın Ertuğerul KAYA'ya teőekkür ederim.

Çalıőmalarım sırasında benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Ayten AKBAL'a, babam İsfendiyar AKBAL'a, sevgili eőim Cemil TÜYSÜZ'e ve motivasyon kaynağım, kızım Lina Berin ve oğlum Yahya Batın'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP: 2019.06.05.941 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiő ve Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Korozyon Araştırma Laboratuvarı'nda yürütülmüőtür.

27 Mayıs 2021

Hatice Aslıhan AKBAL TÜYSÜZ

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
SİMGELER.....	XI
ÖZET.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. ÇELİK.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. KOROZYON.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. İNHİBİTÖRLER.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1. Korozyon İnhibitörlerinin Çalışma Mekanizmaları.....</b>	<b>10</b>
1.3.1.1. Korozyon Önleyicilerin Metallere Adsorpsiyonu.....	11
1.3.1.2. Metal Üzerinde Yüzey Yükünün Varlığı.....	11
1.3.1.3. Fonksiyonel Grubun Ve İnhibitörün Yapısının Etkisi.....	11
1.3.1.4. İnhibitör Ve Su Molekülleri Arasındaki Etkileşim.....	11
1.3.1.5. Adsorbe Edilmiş İnhibitör Türlerinin Etkileşimi.....	12
1.3.1.6. Adsorbe Edilen İnhibitörlerin Reaksiyonu.....	12
1.3.1.7. Bir Difüzyon Bariyerinin Oluşumu.....	12
1.3.1.8. Reaksiyon Bölgelerinin Engellenmesi.....	13
1.3.1.9. Elektrot Reaksiyonlarına Katılım.....	13
1.3.1.10. Elektriksel Çift Katmanın Değiştirilmesi.....	13
<b>1.3.2. Korozyon İnhibitörlerinin Sınıflandırılması.....</b>	<b>13</b>
1.3.2.1. Katodik İnhibitörler.....	14
1.3.2.2. Anodik İnhibitörler.....	14
1.3.2.3. Karma İnhibitörler.....	15
<b>1.4. ADSORPSİYON VE ADSORPSİYON İZOTERMLERİ.....</b>	<b>15</b>
<b>1.5. SCHİFF BAZLARI.....</b>	<b>17</b>
<b>1.6. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>18</b>
<b>2.MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1. YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.1. Çalışmada Kullanılan Korozyon Belirleme Yöntemleri.....</b>	<b>26</b>
2.1.1.1. Tafel Polarizasyon Yöntemi (TP).....	26
2.1.1.2. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS).....	27
<b>2.1.2. Yüzey Analizi.....</b>	<b>28</b>
2.1.2.1. SEM ve EDS Analizi.....	28
<b>2.1.3. Schiff Bazının Sentezi.....</b>	<b>28</b>
2.1.3.1. FT-IR, <sup>1</sup> H NMR ve <sup>13</sup> C NMR Spektrometrik Analizleri.....	28
2.1.3.2. M-nitroasetofenonun Hazırlanması.....	29
2.1.3.3. 4-aminoantipirid Schiff Bazı Türevinin Sentezi.....	29
<b>2.2. MATERYAL.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.1. Sentez İçin Kullanılan Malzemeler ve Çözeltiler.....</b>	<b>30</b>

2.2.2. Çalışma Elektrotu .....	30
2.2.3. Elektrokimyasal Deneylerin Yapılışı.....	30
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>32</b>
3.1. DNPP SCHIFF BAZININ KİMYASAL SENTEZİ .....	32
3.2. DNPP SCHIFF BAZININ İNHİBİTÖR ETKİSİNİN ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ .....	36
3.2.1. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi .....	36
3.2.2. Tafel Ekstra Polarizasyon Yöntemi.....	39
3.3. YÜZEY ANALİZİ.....	41
3.3.1. SEM ve EDS Analizi .....	41
3.3.2. Adsorpsiyon İzotermi ve Adsorpsiyon Mekanizması .....	44
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>47</b>
<b>5. KAYNAKLAR .....</b>	<b>48</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>58</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Çevremizde gözlemlediğimiz korozyona örnekler.....	1
Şekil 1.2. Korozyondan koruma yöntemleri.....	2
Şekil 1.3. Demirin çeşitli elementlerle alaşımlandırılması.....	3
Şekil 1.4. Demirin korozyonu sonucunda oluşan reaksiyon.....	5
Şekil 1.5. Korozyon inhibitörlerinin 2013-2024 yılları arasındaki tahmini pazar değeri.....	8
Şekil 1.6. İnhibitörlerin sınıflandırılması.....	14
Şekil 1.7. Schiff bazlarının oluşum mekanizması.....	18
Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan elektrokimyasal korozyon ölçme yöntemleri.....	26
Şekil 2.2. Nyquist diyagramı.....	27
Şekil 2.3. SEM ve EDS cihazı.....	28
Şekil 2.4. Elektrokimyasal deney ortamları.....	31
Şekil 3.1. Aminoantipiridin türevinin sentez basamakları.....	32
Şekil 3.2. M-nitroasetofenonun <sup>1</sup> H NMR spektrumu.....	33
Şekil 3.3. M-nitroasetofenonun <sup>13</sup> C NMR spektrumu.....	33
Şekil 3.4. M-nitroasetofenonun FT-IR spektrumu.....	34
Şekil 3.5. 4-aminoantipirin Schiff bazı türevinin <sup>1</sup> H NMR spektrumu.....	34
Şekil 3.6. 4-aminoantipirin Schiff bazı türevinin <sup>13</sup> C NMR spektrumu.....	35
Şekil 3.7. 4-aminoantipirin Schiff Bazı Türevinin FT-IR Spektrumu.....	35
Şekil 3.8. SAE 1012 metalinin %15 HCl Çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının Nyquist diyagramı.....	36
Şekil 3.9. <i>R(QR)</i> eşdeğer devre modeli.....	37
Şekil 3.10. SAE 1012 metalinin %15 HCl çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının bode diyagramı.....	38
Şekil 3.11. SAE 1012 metalinin %15 HCl çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının TP eğrileri.....	40
Şekil 3.12. EIS yöntemi sonrası SAE 1012 metalinin SEM görüntüleri ve EDS Analizi (a) Deney Öncesi, (b) %15 HCl, (c) %15 HCl + 1 mM 1-DNPP Schiff Bazı, (d) %15 HCl + 4 mM DNPP Schiff Bazı.....	42
Şekil 3.13. 25 °C'de SAE 1012 karbon çelik yüzeyinde DNPP Langmuir adsorpsiyon izotermin grafiği.....	45

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Çizelge 2.1. SAE 1012 metalinin kimyasal bileşimi (Kütlece %). .....	30
Çizelge 3.1. %15 HCl çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının EIS sonucu.....	38
Çizelge 3.2. %15 HCl çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının TP sonucu.....	41
Çizelge 3.3. %15 HCl çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının EDS analiz sonucu. ....	43
Çizelge 3.4. 25 °C'de %15 HCl çözeltisi içerisinde SAE 1012 karbon çeliği yüzeyindeki DNPP için adsorpsiyon ölçümü sonuçları.....	45



## KISALTMALAR

AC	Alternatif Akım
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
DC	Doğru Akım
EIS	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TP	Tafel Ekstra Polarizasyon
XRD	X-Işını Difraktometresi



## SİMGELER

$\Omega$	Ohm
$\beta_a$	Anodik Tafel Sabiti (mv/dec)
$\beta_c$	Katodik Tafel Sabiti (mv/dec)
$\mu A$	Mikroamper
$\mu m$	Mikrometre
mV	Milivolt
Nm	Nanometre
$E_{corr}$	Korozyon Potansiyeli
$I_{corr}$	Korozyon Akım Yoğunluğu ( $\mu A/cm^2$ )
$R_{ct}$	Yük Transfer Direnci ( $\Omega.cm^2$ )
$R_p$	Polarizasyon Direnci ( $\Omega.cm^2$ )
$R_s$	Çözelti Direnci ( $\Omega.cm^2$ )
Z	Empedans ( $\Omega$ )
$Z_{im}$	Hayali Empedans
$Z_{re}$	Gerçek Empedans
mM	Milimol
Q	Sabit Faz Elemanı
MPa	Megapaskal
$\theta$	Yüzey Kaplanma Derecesi
$K_{ads}$	Adsorpsiyon Katsayısı
$\Delta G^0_{ads}$	Gibbs Serbest Enerjisi
T	Mutlak Sıcaklık
R	Molar Gaz Sabiti

## ÖZET

### ASİDİK ORTAMDA C<sub>19</sub>H<sub>18</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub> SCHIFF BAZININ KOROZYON İNİHİTÖRÜ OLARAK KULLANILMA POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Hatice Aslıhan AKBAL TÜYSÜZ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ

Mayıs 2021, 57 sayfa

Yeni bir korozyon inhibitörü olarak kullanılmak üzere sentezlenen Schiff bazı 4-[(2-nitroasetofenonyiliden)-amino]-antipirin (DNPP) molekülünün yapısı FT-IR, <sup>1</sup>H ve <sup>13</sup>C-NMR teknikleri ile karakterize edildikten sonra %15 HCl çözeltisi içinde SAE 1012 karbon çeliğinin korozyon mekanizmasına etkisi araştırılmıştır. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve Potansiyodinamik Polarizasyon (TP) yöntemleri sonrası metal yüzeyi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi (EDS) ile incelenmiş ve uygulanan tüm yöntemlerin sonuçları kıyaslanarak tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlar; DNPP'nin SAE 1012 karbon çeliğinin korozyonunu geciktirmede etkili bir korozyon inhibitörü olarak kullanabileceğini göstermektedir. İnhibitör miktarındaki artışa bağlı olarak %15 HCl çözeltisi içindeki SAE 1012'nin daha az korozyona uğradığı uygulanan tüm yöntemlerle ispatlanmıştır. TP sonuçları, DNPP'nin karma inhibitör özelliğine sahip olduğunu ve Langmuir izoterm modeli ile hem fiziksel hem de kimyasal adsorpsiyon ile metal yüzeyine tutunduğunu göstermektedir.

**Anahtar sözcükler:** C<sub>19</sub>H<sub>18</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub>, Korozyon, SAE 1012, Schiff bazı.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE USAGE POTENTIAL OF C<sub>19</sub>H<sub>18</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub> SCHIFFF BASIS AS A CORROSION INHIBITOR IN ACIDIC ENVIRONMENT

Hatice Aslihan AKBAL TÜYSÜZ

Düzce University

Institute of Science, Department of Composite Material Technologies

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ

May 2021, 57 pages

The structure of the Schiff base 4 - [(2-nitroacetophenonylidene) -amino] -antipyrine (DNPP) molecule, which was synthesized to be used as a novel corrosion inhibitor, was characterized by FT-IR, <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C-NMR techniques, and then the effect of the corrosion mechanism of SAE1012 carbon steel in 15% HCl solution was investigated. After the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) and Potentiodynamic Polarization (TP) methods, the metal surface was examined with Scanning Electron Microscope (SEM) and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) and the results of all the applied methods were compared and discussed. Obtained results shows that DNPP can be used as an effective corrosion inhibitor in retarding the corrosion of SAE 1012 carbon steel. It has been proved by all methods applied that SAE 1012 in 15% HCl solution is less corrosive due to the increase in the amount of inhibitor. TP results show that DNPP has mixed inhibitory property and is attached to the metal surface by both physical and chemical adsorption with the Langmuir isotherm model.

**Keywords:** C<sub>19</sub>H<sub>18</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub>, Corrosion, SAE 1012, Schiff base.

# 1. GİRİŞ

Korozyon olayı en genel anlamı ile metal ve metal alaşımlarının buldukları çevre ile etkileşim haline geçerek elektrokimyasal veya diğer kimyasal etkilerle yapısının bozulması şeklinde tanımlanmaktadır [1]. Bir diğer tanımlama ise, metal ve alaşımları doğadaki kararsız formlarından dolayı ilk halleri olan kararlı hale geçme isteğindedirler. Bu isteğin gerçekleştiği elektrokimyasal ve kimyasal tepkimelerin sürecine korozyon adı verilmektedir. Korozyon olayı doğal bir süreçtir ve hayatımızın hemen hemen her yerinde gözlemlenebilmektedir (Şekil 1.1). Bu doğal olayın sonuçları insanlar ve diğer canlılar için olumsuz etkilere neden olmaktadır.

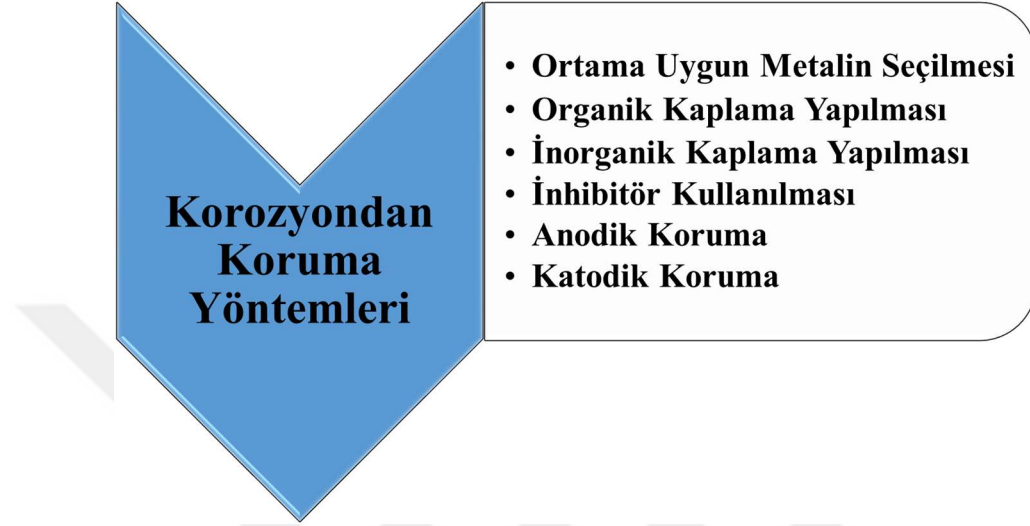
Korozyon sonucu metal ve alaşımları geri dönüştürülemez hale gelerek ülkelerin ekonomisine ciddi hasarlar vermektedir. Bunun yanı sıra insan ve canlı sağlığına tehdit oluşturmaktadır. Ayrıca çalışma sahalarında ve dışında güvenliğinin azalmasına neden olarak geri dönülemez kayıplara neden olmaktadır.



Şekil 1.1. Çevremizde gözlemlediğimiz korozyona örnekler.

Metal ve metal alaşımları endüstrinin her bölümünde kullanılmaktadır. Bu malzemeler gerekli önlemler alınmadığı takdirde atmosferik ortamda, suda ve kimyasallarla tepkimelere girerek korozyona uğramaktadır. İş makineleri, gemiler, yeraltı boru hatları, demir yolları, iskeleler, tanklar gibi yapılar korozyona maruz kalarak ekonomi ve çevreye oldukça büyük zarar vermektedirler. Bunun yanı sıra malzemelerin korozyona uğraması nedeniyle kullanılamaz hale gelmesi, yeni malzemelerin üretiminde kullanılacak enerji, zaman ve sermayenin de kaybına neden olmaktadır [2].

Korozyon günümüzün ve geleceğin en önemli sorunları arasında yer almaktadır. Endüstride kullanılan metal malzemelerin korozyona karşı dayanıklılığını arttırmak için çeşitli yöntemlere başvurulmaktadır. Bu yöntemler Şekil 1.2’de gösterildiği gibi, anodik-katodik koruma [3], [4] organik-inorganik kaplamalar [5], [6] ortama uygun metalin seçilmesi [7] ve inhibitör kullanımı [8]-[10] yer almaktadır.



Şekil 1.2. Korozyondan koruma yöntemleri.

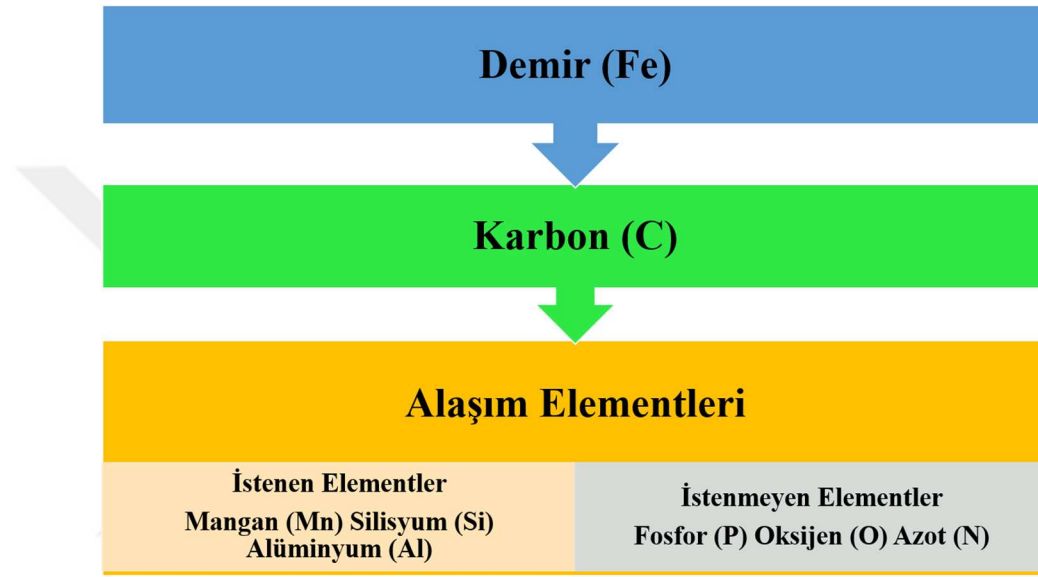
Bu çalışmada, yeni bir korozyon inhibitörü, ((E) -1,5-dimetil-4 - ((1- (3-nitrofenil) etiliden) amino) -2-fenil-1,2-dihidro-3H-pirazol-3-on) (DNPP) sentezlenmiştir. Sentezlenen ürün FT-IR, <sup>1</sup>H ve <sup>13</sup>C-NMR teknikleri ile karakterize edilmiştir. Bu korozyon inhibitörü %15 HCl çözeltisi içinde farklı konsantrasyonlarda SAE 1012 karbon çeliği üzerindeki korozyon inhibitörü etkinliğinin elektrokimyasal yöntemler ile aydınlatılmıştır. Korozyon mekanizmasının aydınlatılması için elektrokimyasal yöntemler olan Tafel Ekstrapolarizasyon (TP), Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) yöntemleri kullanılmıştır. Elektrokimyasal ölçümler sonrası kullanılan metal numunelerin yüzey morfolojisindeki değişim Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi (EDS) ile incelenmiştir.

## 1.1. ÇELİK

Mükemmel mekanik özellikleri ve düşük maliyetleri nedeniyle, korozyona dayanıklı alaşımlara kıyasla karbon çelikleri, petrol-gaz endüstrilerinde taşıma boru hatları, işleme ve depolama tankları gibi pek çok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla

birlikte, karbon çeliklerinin korozyona yatkınlığı sektörde ciddi bir sorundur ve asit temizleme, pikling gibi endüstriyel prosesler metalde gerçekleşen korozyonu şiddetlendirir [11]-[14].

Çelik alaşımları, genellikle karbon miktarlarına göre adlandırılmakta ve sınıflandırılmaktadır. %0,2 ila %2,1 karbon oranına sahip ve demir oranı diğer elementlerden fazla olan alaşımlar çelik olarak adlandırılmaktadır [15]. Şekil 1.3’de çelik alaşımlarının içerdiği elementler gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Demirin çeşitli elementlerle alaşımlandırılması.

SAE 1012, düşük karbon değeri sayesinde yüksek kaynak özelliği göstermektedir. İşlem sırası ve sonrasında kaynak işleminin gerçekleşmesi gereken makine parçalarında, otomotivde millerde ve pek çok yedek parçalarda kullanımı kolaylaştırmak için tercih edilmektedir [16]. Ayrıca bu çelik alaşımı sert olmadığı için rahat bir şekilde işlenmektedir. Fakat bunun yanında talaş kırılımı olmadığı için işlem süresi uzun olmaktadır. Düşük karbon çeliği gibi SAE 1012’de diğer çeliklere göre ekonomik ve kullanım alanı geniş bir çelik alaşım türüdür.

## 1.2. KOROZYON

Korozyon olayı doğal bir süreçtir. Tüm doğal süreçler en kararlı ve en düşük enerjiye yönelmektedir. Malzemeler çevresinde bulunan tahrip edici maddelerle reaksiyona girerler ve doğadaki ilk buldukları formlara dönüşmektedir. Bu dönüşüm malzeme için düşük enerji seviyesine geçmek anlamına gelse de bizim için çok önemli kayıplara neden olmaktadır [17]. Değerli kaynakların kaybına, verimliliğin düşmesine, ürün kalitesinin azalmasına ve ürünün maliyetinin artması gibi unsurları karşımıza çıkartmaktadır. Bunun yanı sıra teknolojik ilerleme ve can güvenliğinin azalmasına da neden olmaktadır. Korozyondan doğan problemler tek yönlü bir sorundan öte multidisipliner yönlü bir problemdir. Bu problemin kontrolü için gerekenler, korozyonu tanımak, anlamak ve korozyon mekanizmalarını malzemeler üzerinden aydınlatmaktır [18].

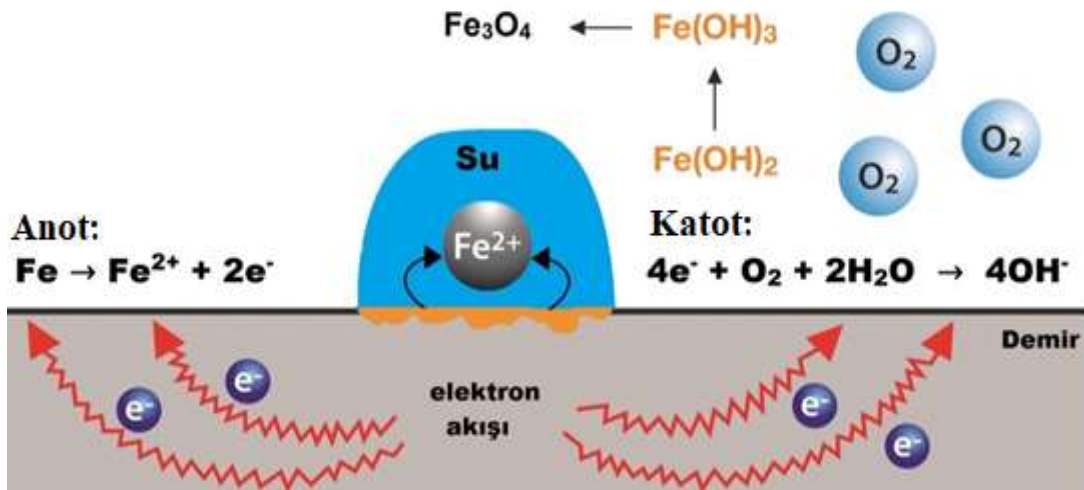
Korozyon olayı yaşamımızın hemen hemen her alanında karşımıza çıkmaktadır. Devletler için korozyonun ekonomik maliyetleri oldukça pahalıdır. Korozyon olayı malzemelere doğal afetlerden daha fazla hasar vermektedir [19]. Her yıl altyapılar, su yolları, limanlar, demiryolları, karayolları, inşaat alanları, madenler, otomobiller, gemiler, uçaklar, petrol arıtım tesisleri, petrokimya endüstrisi, gıda, elektronik, savunma sanayi, ev aletleri, petrol, su, doğalgaz iletim boru hatları, köprüler gibi pek çok sektör ve çalışma alanı korozyona bağlı hasarlar almaktadır. Bu devasa endüstri korozyondan meydana gelen kayıplar nedeniyle milyarlarca dolar zarara uğramaktadır. Ekonomik faktörlerin yanında bir diğer önemli faktörde güvenlik faktörüdür. İşletim sistemleri ekipmanlarının güvenliği, basınçlı kaplar, kazanlar, reaktörler, zehirli malzemeler için yapılan kaplar, nükleer santraller için ekipmanlar ve nükleer santrallerin atıklarının bertarafındaki ekipmanların korozyona uğraması çok büyük bir güvenlik zafiyetine neden olmaktadır [20].

Madenler ülkelerin değerli kaynaklarından. En önemli madenler demir, alüminyum, bakır, krom, manganez, titanyum gibi madenlerdir [21]. Madenlerin işlenmesi sonucunda pek çok malzeme günlük hayatımızın en önemli parçaları haline almıştır. Korozyon nedeniyle bu malzemeler bozunup yok olmaktadır. Bu durum sürekli bir üretim ve tüketimin hızlanmasına neden olmaktadır [22]. Malzemelerin korozyona uğraması madenlerin azalmasına ve ileride maden krizine neden olabileceği düşünülmektedir. Bu durumun engellenmesi için alternatif madenler, korozyona dayanıklı malzemeler ve malzemeleri korozyona karşı koruma yollarının geliştirilmesi gerekmektedir [23].

Korozyon olayı mühendislik alanının vazgeçilmez bir parçasıdır [24]. Gemiler, otomobiller ve uçaklar tasarlanırken korozyon önleme mekanizmalarına başvurulmaktadır. Korozyonu önlemek veya korozyona karşı önlem almak sivil ve askeri uçakların düşmesini, denizcilikte gemilerin batmasını ve gemilerin ömrünün kısılmasını, petrol doğalgaz boru hatlarının ve tankların patlamasını, köprüler, güverteler, sondaj platformlarının arızalanmasını ve yıkılmasını azaltacaktır [25]. İnsan vücudu için implant tasarımlarının yapılmasına imkan sağlayacaktır. Ayrıca hava, su ve toprak kirliliğinin azalmasına katkı sağlayacaktır [26].

Korozyon olayı karmaşık bir süreç almasına rağmen elektrokimyasal reaksiyon olarak en kolay anlaşılabilir adımları Şekil 1.4'te verilmiştir [27].

- Metalin katodik bölgesi daha düşük potansiyele sahiptir ve bu bölgeden metalde kayıp gerçekleşmektedir. Bu durumda demir su veya bir çözeltide kaybolur (Oksitlenme sonucu  $Fe^0 \rightarrow Fe^{2+}$  durumuna geçer).
- $Fe^{2+}$  iyonunun oluşması sonucu, iki elektron katodik alana doğru akması için serbest bırakılmaktadır.
- Sulu çözelti içerisinde bulunan oksijen katoda taşınarak metal yüzeyinde  $OH^-$  oluşturarak katoda akan elektronları kullanarak elektrik devresini tamamlar.



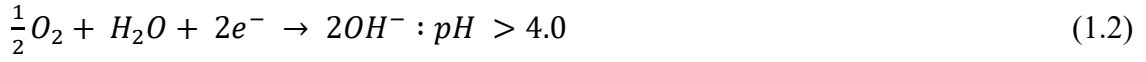
Şekil 1.4. Demirin korozyonu sonucunda oluşan reaksiyon.

Demirin sulu ortamda korozyonu Eşitlik 1.1 ve 1.2'deki reaksiyonlarla gerçekleşmektedir [28]:

Anodik reaksiyon:



Katodik reaksiyon:



Oksijen yokluğunda  $H^+$ , oksijen yerine katottaki reaksiyona katılarak ve elektrik devresini Eşitlik 1.3'deki gibi tamamlamaktadır [28]:



Hidroksil iyonları, metalin çözünmesi ile üretilen  $Fe^{2+}$  ile Eşitlik 1.4'deki reaksiyon sonucu birleşmektedir [28]:



Oluşan demir hidroksit çok düşük bir çözünürlüğe sahiptir ve metal-su arayüzünde hızla çökmektedir. Bu yapı daha sonra hızla oksitlenerek ferrik hidroksite (Eşitlik 1.5) dönüşmektedir [28]:



Bu ürünün dehidrolizi, normalde korozyon ürünlerinin oluşumuna yol açmakta ve metal yüzeyinde belirgin bir şekilde görülmektedir (Eşitlik 1.6 ve 1.7) [28]:



İnhibitör molekülleri anodik, katodik veya her iki bölgeyi bloke edebilmekte ve metal çözünmesi veya hidrojen evrimi reaksiyonlarına girmelerini engellemektedir. Eşitlik 1.8, 1.9, 1.10 ve 1.11 metalin asidik ortamda çözünmesine ve hidrojen oluşum sürecinde meydana gelen reaksiyonlar verilmiştir [29].





Katodik bölgede gerçekleşen hidrojen çıkışı reaksiyonu Eşitlik 1.12, 1.13 ve 1.14'de verilmiştir [29].



Katı korozyon ürünleri anotta çökmesi ve diğer su ve asit iyonlarının çökmesi ile bir korozyon filmi tabakası oluşmaktadır. Bir metal üzerinde film oluşması durumunda da korozyon devam edebilmektedir [28]. Çünkü metal iyonları yüzeye nüfuz edebilmekte ve çözelti arayüzüne ulaşmaktadırlar. Ancak sıkı bir yapışkan film oluştuğunda iyonik difüzyon önlenmekte ve metal artık çözünmez duruma gelmektedir [29].

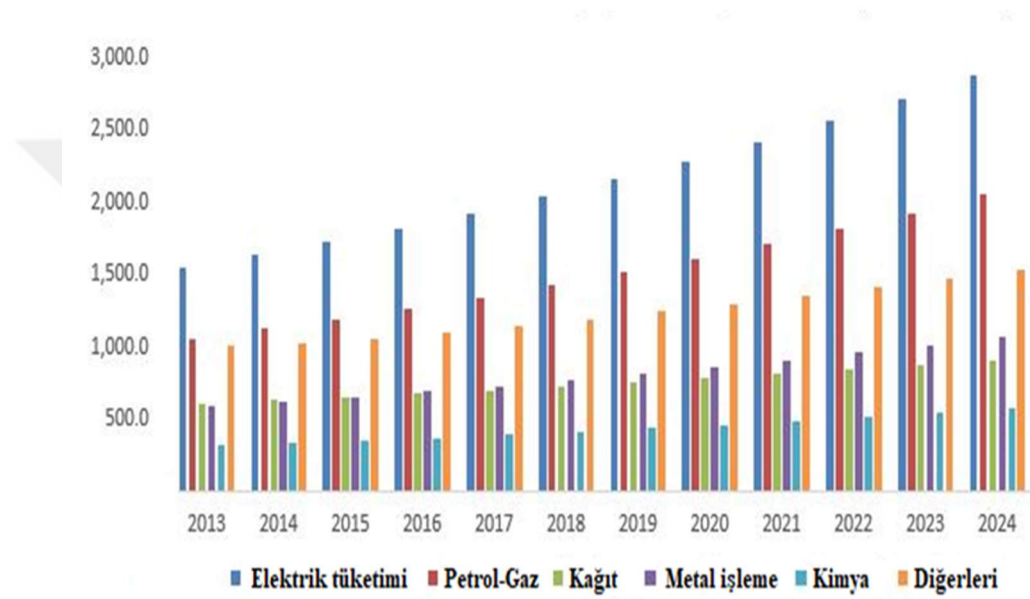
### 1.3. İNHİBİTÖRLER

Korozyon inhibitörü, aşındırıcı bir ortama çok düşük konsantrasyonlarda eklendiğinde, ortamın bileşenleri ile önemli bir reaksiyon vermeden korozyonu etkili bir şekilde önleyen veya azaltan kimyasal bir madde veya maddeler kombinasyonu olarak adlandırılmaktadır [30].

Korozyon inhibitörlerinin konsantrasyonları 1 ila 15.000 ppm (ağırlıkça % 0.0001 ila 1.5) arasında değişebilmektedir. Korozyon inhibitörleri katı, sıvı ve gaz olabilir ve katı, sıvı ve gaz halinde kullanılabilir [31]. Katı ortamlar beton, kömür bulamaçları veya organik kaplamalar (boyalar) olabileceği gibi, sıvılar su, sulu çözeltiler veya organik çözücüler olabilmektedir. Gaz halinde bir ortam ise bir atmosfer veya su buharıdır. Korozyon inhibitörleri, inhibe edilecek olan sıvılarda çözünürlük veya dağılıbilirlik esasına göre seçilmektedir. Örneğin, bir hidrokarbon sisteminde, hidrokarbona çözünür bir korozyon inhibitörü kullanılmaktadır [32].

Korozyon hızını azaltmak için kimyasal inhibitörlerin kullanımı oldukça değişkenlik göstermektedir. Korozyon inhibitörleri, petrol, gaz arama ve üretimi, petrol rafinerileri, kimyasal imalat, ağır imalat, su arıtma ve ürün katkı sanayilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Petrol çıkarma, işleme ve kimya endüstrilerinde korozyon inhibitörleri her zaman ilk savunma hattı olarak kabul edilmektedir [33].

Korozyon inhibitörleri küresel ölçekte oldukça rağbet gören bir pazara sahiptir. Küresel korozyon inhibitörlerinin pazar büyüklüğü 2015 yılında 5,99 milyar ABD doları olmuştur. Bu değer her geçen gün artmaktadır. Bunun temel nedeni yükselen metal işleme, enerji üretimi ve inşaat sektöründeki büyümeye bağlanmaktadır. Korozyon inhibitörleri, yüzeyde koruyucu bir tabaka oluşturarak ekipmanların hizmet ömrünü artırdığı için son birkaç yıldır popülerlik kazanmaktadır. Su arıtma, enerji üretimi, rafinaj, inşaat ve madencilik sektörlerinde artan uygulama, önümüzdeki sekiz yıl boyunca ürün talebini teşvik edecektir [34].



Şekil 1.5. Korozyon inhibitörlerinin 2013-2024 yılları arasındaki tahmini pazar değeri.

Hindistan, Çin, Malezya, Tayland, Suudi Arabistan, BAE ve Meksika gibi çeşitli ülkelerde sanayileşmenin yanı sıra hızlı kentleşme, ürün talebini artırarak inşaat endüstrisini ve diğer sektörleri büyütmektedir. Ekipmanların bakım maliyetlerini düşürdüğü için korozyon inhibitörlerinin artan kullanımı, büyüme için muazzam bir potansiyel yaratacağı öngörülmektedir. Şekil 1.5’de 2024 yılına kadar tahmini olarak korozyon inhibitörlerinin pazarı hakkında bir grafik verilmiştir. Bu grafikte her geçen yıl korozyon inhibitör pazarının artan talepler doğrultusunda büyüdüğü gözlemlenmektedir [34].

İnhibitörler, yeterli ve kontrollü bir inhibitör konsantrasyonu sağlanabilmesi için iyi dolaşıma sahip kapalı çevre sistemlerinde büyük kullanım alanı bulmaktadır. Bu koşullara, örneğin soğutma suyu devirdaim sistemlerinde, yağ üretiminde, yağ

rafınasyonunda ve elik bileşenlerin asitle asitlendirilmesinde karşılaşılmaktadır. İnhibitörler için daha fark edilebilir uygulamalardan biri, otomobil radyatörleri için antifrizlerdir. İnhibitörlerin uygulanması sırasında dikkatli olunmalıdır, çünkü inhibitörler belirli bir sistemdeki bir metal için mükemmel koruma sağlayabileceği gibi aynı sistemdeki diğer metaller için korozyonu artırabilmektedir [34].

İnhibitörler organik veya inorganik bileşikler olabilir ve genellikle sulu ortamlarda çözülebilmektedir. En etkili inorganik inhibitörlerden bazıları kromatlar, nitritler, silikatlar, karbonatlar, fosfatlar ve arsenatlarıdır. Organik inhibitörler arasında aminler, heterosiklik azot bileşikleri, tioeterler, tioalkoller, tioamidler, tiyüre ve hidrazin gibi kükürt bileşikleri bulunmaktadır. Kromatlar ve çinko tuzları toksisiteleri nedeniyle giderek daha az kullanılmaktadır ve günümüzde büyük ölçüde yerlerini organik inhibitörlere bırakmışlardır [35]. Bu nedenle, önleyici özelliklere sahip çeşitli inorganik ve organik maddelerden korozyon inhibitörlerinin seçimi için kriterler, sadece inhibisyon verimlilikleri değil, aynı zamanda kullanım güvenliği, ekonomik kısıtlamalar ve sistemdeki diğer kimyasallarla uyumluluk ve çevresel endişeler olarak tanımlanmaktadır.

Metalik malzemelerin korozyonunu önlemek veya azaltmak için örneğin; soğutma sisteminde kullanılan inhibitörlerin aşağıdaki kriterleri karşılaması gerekmektedir [36]:

- a) Çok düşük bir inhibitör konsantrasyonunda etkili bir korozyon koruması sağlamalıdır.
- b) Aşındırıcı ortama maruz kalan tüm malzemeleri korozyon saldırısından korumalıdır.
- c) Aşırı çalışma koşullarında (daha yüksek sıcaklık ve hız) etkili olmalıdır.
- d) Düşük veya aşırı inhibitör dozu durumunda, korozyon oranı büyük ölçüde artmamalıdır.
- e) İnhibitör, reaksiyon ürünleri ve metal üzerinde herhangi bir tortu oluşturmamalıdır.
- f) Hem homojen hem de lokal korozyonu önlemelidir.
- g) Uzun vadeli etkililiği olmalıdır.
- h) Toksikite ve kirlilik sorunlarına neden olmamalıdır.

### 1.3.1. Korozyon İnhibitörlerinin Çalışma Mekanizmaları

Birçok korozyon inhibitörü metal yüzey üzerinde koruyucu filmler oluşturur ve agresif bileşenlerle olası teması azaltmaktadır. Metalleri korozyondan korumak için inhibitörler metallerin yüzeyine ulaşmalı ve elektrokimyasal reaksiyon ürünleri ile reaksiyona girmeli veya adsorbe etmelidir [37]. Anodik, katodik ve adsorbe edici inhibitörlerin koruyucu mekanizmaları farklılık göstermektedir. Anodik inhibitörlerin (fosfatlar, karbonatlar, molibdatlar ve nitritler) koruyucu mekanizması, inhibitörün metal yüzeyiyle reaksiyona girmesi ve pasif oksit, hidroksit veya tuz katmanlarının oluşumuna dayanmaktadır. Bu inhibitörler, korunan metallerin korozyon potansiyelini önemli ölçüde etkilemektedir [38].

Katodik inhibitörlerin koruyucu mekanizması genellikle bir katodik elektrokimyasal reaksiyon ( $\text{OH}^-$ ) ürünlerine dayanmaktadır. Örneğin  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$  ile metalik yüzeylerin katodik bölgelerinde çözünmeyen  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  oluşumu ile reaksiyona girmektedir [39]. Organik inhibitörler metal yüzeyinde adsorbe edilir ve N, S, O ve P atomlarında serbest elektronlu organik inhibitörlerin CN, CS, CO ve CP gibi polar grupların varlığı metalik yüzeylerde adsorpsiyonunu artırmaktadır. Adsorpsiyon mekanizması fiziksel veya kimyasal olabilmektedir. İnhibitörlerin atomları ile metalik atomlar arasında zayıf Coulomb kuvvetleri oluştuğunda, adsorpsiyon fizikseldir. İnhibitörlerin atomları ile metalik atomlar arasında güçlü kimyasal bağlar oluşursa, kimyasal adsorpsiyon meydana gelmektedir. Metallerin korozyon potansiyeli üzerinde neredeyse hiçbir etkileri bulunmamaktadır [40].

Çoklu bağlar, tercihen üçlü bağlar içeren organik bileşikler etkili inhibitörler olarak bilinmektedir. Etkili inhibitörlerin seçimi, etki mekanizmalarına ve elektron verme yeteneklerine dayanmaktadır. İnhibitörün inhibe etme kabiliyeti sülfür, oksijen, fosfor ve azot atomları içeren heterosiklik halkalar gibi p orbitalleri olan adsorpsiyon aktif bölgelerinin moleküler yapısı ile desteklenmektedir [41].

İnhibitörler genellikle bir koordine kovalent bağın (kimyasal adsorpsiyon) veya metal ile inhibitör arasındaki elektrostatik etkileşimin (fiziksel adsorpsiyon) oluşturulmasıyla metal yüzeyine adsorbe edilmektedir. İnhibitörlerin asit çözeltileri içindeki etkisi, oksit içermeyen çözeltilerde metal yüzeyindeki adsorpsiyona bağlıdır [42]. Adsorbe edilen inhibitörler daha sonra katodik veya anodik elektrokimyasal korozyon işlemlerini geciktirmektedir. Asit çözeltilerindeki inhibitörler metallerle etkileşime girebilmekte ve

bazıları aynı anda meydana gelebilecek olan korozyon reaksiyonunu çeşitli şekillerde etkileyebilmektedir [43].

Bir inhibitöre tek bir genel etki mekanizması atamak çok zordur çünkü mekanizma deneysel koşullar ile değişebilmektedir [44]. Bu nedenle, bir inhibitörün etkisi, konsantrasyonuna, ortamın pH'ına, asit anyonunun doğasına, çözeltideki diğer türlerin varlığına, ikincil inhibitörleri oluşturmak için reaksiyonun derecesine ve metalin doğasına bağlıdır. Aynı fonksiyonel gruba sahip inhibitörlerin etki mekanizması ayrıca moleküler yapının etkisi ve elektron yoğunluğu gibi faktörlerle farklılık gösterebilmektedir. İnhibisyon genellikle aşağıdaki mekanizmaların bir veya daha fazlasından kaynaklanmaktadır [45].

#### *1.3.1.1. Korozyon Önleyicilerin Metallere Adsorpsiyonu*

İnhibitörün performansı genellikle kaplanan yüzeyin, adsorbe edilmiş inhibitör ile oranına bağlıdır. Ancak, düşük yüzey kaplama alanında ( $\theta < 0.1$ ), adsorbe edilmiş inhibitör türlerinin korozyon reaksiyonlarını geciktirmedeki etkinliği, yüksek yüzey kaplama alanından daha büyük olabilmektedir [46].

#### *1.3.1.2. Metal Üzerinde Yüzey Yükünün Varlığı*

Metal yüzeyinde inhibitörün adsorpsiyonu, adsorbe edilen türlerin iyonik yükleri veya dipolleri ile metal/çözelti arayüzünde elektrik yükü arasındaki elektrostatik çekim gücüne bağlı olabilmektedir [47].

#### *1.3.1.3. Fonksiyonel Grubun ve İnhibitörün Yapısının Etkisi*

İnhibitörler, koordine kovalent tipi bir bağ oluşturmak için metale elektron transferi yoluyla bağlanabilmektedir. Genellikle bu işlem, geçiş metalleri gibi düşük enerjili boş elektron orbitalleri içerdiğinde tercih edilmektedir. Adsorbe edilen türlerden elektron transferi, nispeten gevşek bağlı elektronların varlığı ile olmaktadır. Örneğin; birden fazla bağla, özellikle üçlü bağlarla veya aromatik halkalarla ilişkili, yalnız çift elektron veya elektron sistemleri içeren anyonlar ve nötr organik moleküller. Fonksiyonel gruptaki elektron yoğunluğu ile ilişkili bileşiğin inhibitör etkinliği doğru orantılıdır [48].

#### *1.3.1.4. İnhibitör ve Su Molekülleri Arasındaki Etkileşim*

İnhibitör moleküllerinin adsorpsiyonu, adsorbe edilmiş su moleküllerinin metal yüzeyinden çıkarılmasını içeren bir yer değiştirme reaksiyonudur. Bir inhibitör

molekölünün adsorpsiyonu sırasında, çözülmüş durumdan adsorbe edilmiş duruma geçerken su molekülleri ile etkileşim sırasındaki enerjisiindeki değişiklik, adsorpsiyondaki serbest enerji değişikliğinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu, bir inhibitör molekülünün hidrokarbon bölümünün büyüklüğü ile ilişkilidir ve inhibitör türlerinin çözölme enerjisini artırmaktadır. Böylece artan boyut, çözünürlüğün azalmasına ve adsorpsiyon yeteneğinin artmasına neden olmaktadır [49].

#### *1.3.1.5. Adsorbe Edilmiş İnhibitör Türlerinin Etkileşimi*

Adsorbe edilmiş inhibitör türleri arasındaki yanıl etkileşimler, yüzey kaplaması ve dolayısıyla adsorbe edilen türlerin yakınlığı arttıkça önemli hale gelmektedir. Bu yanıl etkileşimler çekici veya itici olabilmektedir. Büyük hidrokarbon bileşenleri (örneğin, n-alkil zincirleri) içeren moleküller arasında çekici etkileşimler meydana gelmektedir. Zincir uzunluğu arttıkça, bitişik moleküller arasındaki artan Van der Waals kuvveti, yüksek kaplama alanında daha güçlü adsorpsiyona yol açmaktadır [50].

#### *1.3.1.6. Adsorbe Edilen İnhibitörlerin Reaksiyonu*

Bazı inhibitörlerde, adsorbe edilmiş korozyon inhibitörü genellikle bir ürün oluşturmak için elektrokimyasal indirgenme yapabilmektedir. Eklenen maddeye bağlı inhibisyona birincil inhibisyon ve reaksiyon ürününe bağlı inhibisyona ise sekonder inhibisyon denmektedir. Engelleyici etkinlik zamanla artabilir veya azalabilmektedir. Bu durum sekonder inhibisyonun birincil inhibisyondan ne kadar etkili olduğuna bağlıdır. Örneğin, sülfoksitler daha etkili inhibitörler olan sülfidlere indirgenebilmektedir [51].

#### *1.3.1.7. Bir Difüzyon Bariyerinin Oluşumu*

İnhibitörler, iyonların veya moleküllerin metal yüzeyine veya metal yüzeyinden difüzyonunu sınırlamak ve böylece korozyon reaksiyonlarının hızını geciktirmek için fiziksel bir bariyer görevi gören bir yüzey filmi oluşturabilmektedir. Genel olarak bu etki, inhibitör türlerinin büyük moleküller (Örneğin; Jelatin veya agar-agar gibi proteinler, dekstrin gibi polisakkaritler veya uzun hidrokarbon zincirleri içeren bileşikler) olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu tip inhibitörlerin bir yüzey filmi hem anodik hem de katodik reaksiyonları etkilemektedir [52].

#### *1.3.1.8. Reaksiyon Bölgelerinin Engellenmesi*

Bloklama, korozyon reaksiyonlarının meydana gelebileceği metal atomlarının sayısını azaltmaktadır. Bu sırada, reaksiyon mekanizmaları ve polarizasyon eğrilerinin Tafel eğimleri etkilenmemektedir [53].

#### *1.3.1.9. Elektrot Reaksiyonlarına Katılım*

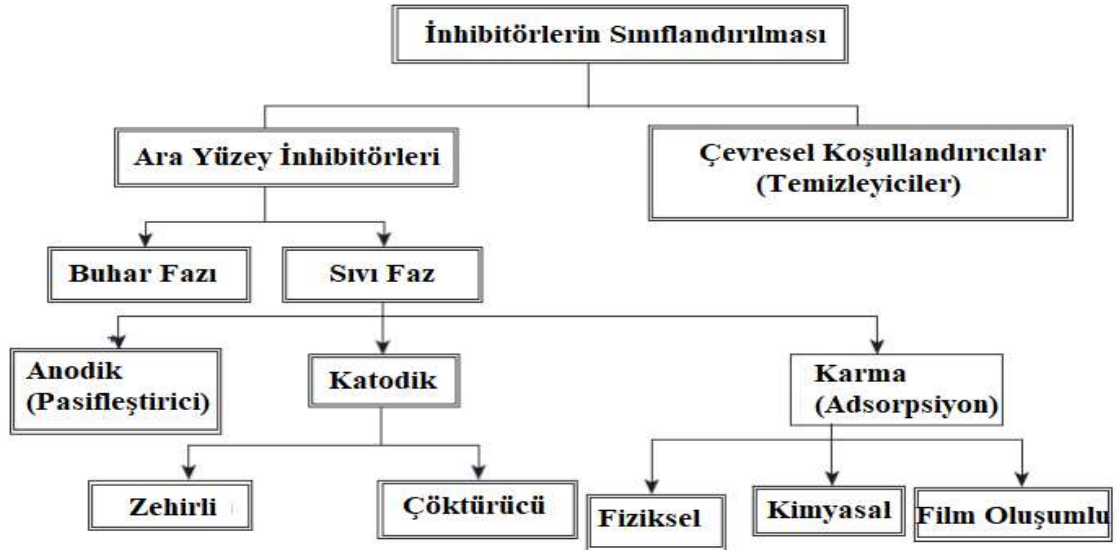
Bazen korozyon reaksiyonları, metal yüzeyindeki atomları ile adsorbe edilmiş ara türlerin oluşumunu içermektedir. Adsorbe edilen inhibitörler, bu adsorbe edilmiş ara maddelerin oluşumunu engelleyecektir, ancak elektrot işlemleri, inhibitörleri içeren ara maddeler yoluyla alternatif yollarla ilerleyebilmektedir [54]. Bu işlemlerde, inhibitör türleri katalizör gibi davranmakta ve değişmeden kalmaktadır. İnhibitörün bu tür etkisi genellikle metalin anodik çözünmesinin Tafel eğiminde bir artış ile karakterizedir. İnhibitörler ayrıca katodik polarizasyon eğrilerinin Tafel eğimlerini artırarak reaksiyon mekanizmasını etkileyerek metaller üzerindeki hidrojen gelişim hızını geciktirebilmektedir. Bu etki demir üzerinde feniltiyoüre, asetilenik hidrokarbonlar, anilin türevleri, benzaldehit türevleri ve piridinyum tuzları gibi inhibitörlerin varlığında gözlemlenmiştir [55].

#### *1.3.1.10. Elektriksel Çift Katmanın Değiştirilmesi*

Metal yüzeylerde iyon oluşturabilen iyonların veya türlerin adsorpsiyonu metal/çözelti arayüzündeki elektriksel çift tabakayı değiştirerek ve bu elektrokimyasal reaksiyonların oranlarını etkilemektedir. Kuaterner amonyum iyonları ve protonlu aminler gibi katyonların adsorpsiyonu, çözüldüden metal iyonlarına en yakın yaklaşım düzleminde potansiyeli daha pozitif hale getirmektedir [56]. Bu pozitif potansiyel kayması, pozitif yüklü hidrojen iyonlarının deşarjını engellemektedir. Öte yandan, anyonların adsorpsiyonu, elektriksel çift katmanın metal tarafında potansiyelini daha olumsuz hale getirir ve bu, hidrojen iyonlarının deşarj oranını hızlandırma eğiliminde olmaktadır. Bu etki, sülfosalisilat iyonları ve benzoat iyonları ile gözlemlenmiştir [57], [58].

### **1.3.2. Korozyon İnhibitörlerinin Sınıflandırılması**

İnhibitörlerin sınıflandırması, korozyon işleminde yer alan elektrokimyasal reaksiyonlar üzerindeki etkilerine dayanmaktadır (Şekil 1.6) [59].



Şekil 1.6. İnhibitörlerin sınıflandırılması.

#### 1.3.2.1. Katodik İnhibitörler

Katodik inhibitörler, elektrokimyasal korozyon hücresinin indirgeme reaksiyon hızını yavaşlatarak korozyonu azaltmaktadır. Örneğin, kalsiyum, magnezyum ve çinko iyonları, lokal ortamdaki bu bölgelerde indirgeme reaksiyonu nedeniyle daha alkaline hale geldiğinden katodik bölgelerde hidroksit olarak çökelecektir. Katodik inhibitörler katodik reaksiyon hızını yavaşlattıklarında etkilidir [60]. Katodik zehirler olarak adlandırılan arsenik, bizmut ve antimon, hidrojen indirgeme reaksiyon hızını azaltır ve böylece toplam korozyon hızını düşürmektedir. Diğer katodik inhibitörler indirgenebilir türleri ortamdaki uzaklaştırmaktadır. Oksijenin korozif ortamdaki uzaklaştırılması korozyon oranını önemli ölçüde azaltmaktadır [61].

#### 1.3.2.2. Anodik İnhibitörler

Kromatlar, fosfatlar, tungstatlar ve yüksek oksijen içeriğine sahip geçiş elementlerinin diğer iyonları gibi anodik inhibitörler, bir metal iyonu ile az çözünür bir bileşik oluşturarak anotta meydana gelen korozyon reaksiyonunu bastırmaktadır. Metal bir yüzeye adsorbe edilerek koruyucu bir film veya bariyer oluşturmakta ve böylece korozyon oranını azaltmaktadır [62]. Anodik inhibitörler, anot boyunca ince bir koruyucu film oluşturur ve metalin potansiyelini artırarak korozyon reaksiyonunu yavaşlatır. Kromatlar, nitratlar, tungstat ve molibdatlar, anodik inhibitörlerin bazı örnekleridir [63].

### 1.3.2.3. Karma İnhibitörler

Bazı maddeler, korozyon sürecine dahil olan anodik ve katodik reaksiyonların oranını aynı anda azaltarak korozyonu inhibe eder ve bu nedenle karışık inhibitörler olarak adlandırılmaktadır. Tipik olarak, hem anodik hem de katodik bölgeleri dolaylı olarak bloke eden yüzeyde çökelti oluşumuna neden olan film oluşturucu bileşiklerdir. Anodik inhibitörler, özellikle konsantrasyonları çok daha azsa, çoğunlukla tehlikeli inhibitörlerdir. Ancak katodik inhibitörler genellikle güvenlidir [64]. Karışık inhibitörler saf anodik inhibitörlerden daha az tehlikelidir ve bazı durumlarda korozyon yoğunluğunu artırmamaktadır. Bu kategorinin en yaygın inhibitörleri silikatlar ve fosfatlardır [65].

## 1.4. ADSORPSİYON VE ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

Adsorpsiyon, katı maddeler tarafından sergilenen, temas ettikleri gaz, sıvı ve çözülmüş maddelerin moleküllerinin son derece ince bir tabakasına yapışmalarından oluşan bir yüzey fenomenidir. Çözeltiye batırılmış çıplak metal yüzeyler üzerine iyonların veya nötr moleküllerin adsorpsiyonu, faz sınırında bulunan tüm türlerin karşılıklı etkileşimleri ile belirlenmektedir [66]. Bunlar, adsorbantın yüzey ile elektrostatik ve kimyasal etkileşimlerini, adsorbant-adsorban ve adsorbant-solvent etkileşimlerini içermektedir. İlgili kuvvetlerin doğasına bağlı olarak iki tip adsorpsiyon vardır [67].

- a) Kimyasal adsorpsiyon: Bu tip adsorpsiyonda, tek bir molekül, atom veya iyon tabakası yüzeye kimyasal bağlarla tutturulur ve esasen bu bağlar geri döndürülemez.
- b) Fiziksel adsorpsiyon: Bu tipte, ek, enerji seviyeleri yoğuşma seviyelerine yaklaşan zayıf Van der Waals kuvvetleri tarafından yapılmaktadır.

İnhibitör iyonlarının metal yüzeylere adsorpsiyonunu etkileyen faktörler:

Metal üzerindeki yüzey yükü: Adsorpsiyon, inhibitör üzerindeki iyonik yükler veya dipoller ile metal çözeltisi arayüzündeki metal üzerindeki elektrik yükü arasındaki elektrostatik çekici kuvvetler nedeniyle adsorpsiyon meydana gelebilmektedir [68].

İnhibitörün fonksiyonel grupları ve yapısı: İnhibitörler elektron transferi ile metal yüzeyine bağlanabilmektedir. Güçlü bağlanma ve etkili inhibisyona yol açan koordine bir bağlantı oluşturabilmektedirler. Anyonlarda nispeten gevşek bağlı elektronlar, nötr moleküller, yalnız elektron çifti,  $\pi$  - üçlü bağlarla ilişkili elektron sistemleri veya organik

halka sistemleri ile ilişkili elektron sistemleri ve periyodik tablonun V veya VI grubunun elemanlarını içeren fonksiyonel gruplar, kolay elektron transferini, daha güçlü bağ oluşumu ve dolayısıyla etkili inhibisyonu desteklemektedir. Daha güçlü koordine bağ oluşturma eğilimi, azalan elektronegatiflik ile artar ve  $O < N < S < P$  sırasını takip eder [69].

Adsorbe edilmiş inhibitör türleri arasındaki etkileşim (sinerjizm ve antagonizma): Adsorbe edilen türler, bir elektrotun yüzeyinde inhibitör özelliklerini ve etki mekanizmalarını önemli ölçüde etkileyebilecek çeşitli etkileşimlere girebilmektedir [70].

Adsorbe edilen inhibitörlerin reaksiyonu: Adsorbe edilmiş inhibitör türleri, aynı zamanda inhibitör olan bir ürün oluşturmak için genellikle elektrokimyasal indirgeme ile reaksiyona girmektedir [71].

Adsorpsiyon genellikle izotermilerle, yani adsorban üzerindeki adsorbant miktarı, (gazlarda) basıncın veya (sıvılarda) sabit sıcaklıktaki konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bir izoterm için ilk matematiksel uyum Freundlich ve Kuster tarafından yayınlanmıştır. Bu, gazlı adsorbantlar için tamamen ampirik bir formüldür. Irving Langmuir katılara adsorbe edilmiş gazlar için kendi adını taşıyan yeni bir izoterm modeli yayınlamıştır. İleri sürülen bir kinetik mekanizmadan türetilen yarı deneysel bir izotermdir [72]. Bu izoterm dört varsayımı temel alır:

1. Adsorbanın yüzeyi eşittir/özdeşdir.
2. Adsorbe edilmiş moleküller etkileşime girmemektedir.
3. Tüm adsorpsiyonlar aynı mekanizma ile gerçekleşmektedir.
4. Maksimum adsorpsiyonda, sadece tek bir tabaka oluşmaktadır.

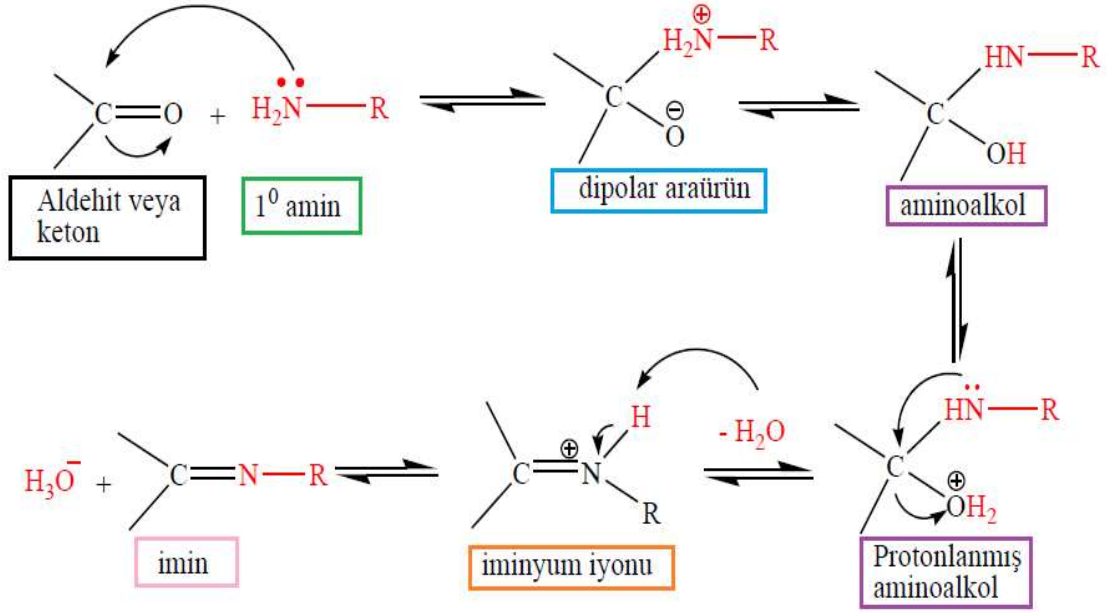
Malzeme yüzeyinde her zaman kusurlar vardır ve adsorbe edilen moleküller her daim atıl/durağan değildir. İlk molekülden son moleküle adsorbe etme mekanizması açıkça görülüyor ki aynı değildir. Dördüncü varsayım, en zahmetli olanıdır, çünkü sıklıkla daha fazla molekül tek tabakada adsorbe olmaktadır. Bu sorun, nispeten düz (mikro gözeneksiz) yüzeyler için BET izotermi ile ele alınmaktadır. Bununla birlikte, Langmuir izotermi çoğu adsorpsiyon modeli için ilk tercihtir ve yüzey kinetiği (genellikle Langmuir-Hinshelwood kinetiği olarak adlandırılır) ve termodinamikte birçok uygulamaya sahiptir [73].

Langmuir [74], Temkin [75], Frumkin [76], Flory- Huggins [77], Dhar – Flory – Huggins [78], Bockris – Swinkels [79] ve Freundlich [80] gibi metal yüzey üzerindeki inhibitörlerin adsorpsiyonunu tarif etmek için farklı adsorpsiyon izotermi bulunmuştur.

### **1.5. SCHİFF BAZLARI**

1860 yılında Hugo Schiff tarafından sentezlenen schiff bazları [81] aldehit ve ketonların reaksiyon şartlarının optimize olduğu koşullarda primer aminlerle kondenzasyonu sonucu meydana gelmektedir. Schiff bazları yapılarında karbon-azot çift bağları (C=N) bulundurmaktadır. Günümüzde halihazırda birçok kimyacı yeni, spesifik ve daha iyi düzenlenmiş Schiff bazlarının sentezi üzerinde çalışmaktadır [82].

Schiff bazları ligandlarının sentezleri iki basamakta gerçekleşmektedir (Şekil 1.7). Birinci basamakta, nükleofil özelliğe sahip olan aminin asidik ortamda kısmi pozitif yük taşımakta olan karbonil grubuna katılıp, azotun bir proton kaybederek oksijene bir proton bağlanmasıyla oluşmaktadır. İkinci basamakta, protonlanmış olan hidroksil grubu su olarak ayrılmaktadır [83]. Schiff bazlarının oluşumunda pH ve çözücü türleri, sıcaklık, katalizör, stokiometrik oran gibi etmenler oldukça önemlidir. Bunun nedeni kondenzasyon reaksiyonu mekanizmasının katılma-ayırılma reaksiyonu üzerinde yürütmesinden kaynaklanmaktadır [84].



Şekil 1.7. Schiff bazlarının oluşum mekanizması.

Schiff bazları genel olarak suda çözünmeyen katı bileşiklerdir. Zayıf asit özelliği gösteren Schiff bazları kuvvetli asitlerle çözünmektedir. Bunun yanı sıra alkol, aromatik amin ve fenol gibi maddelerle tepkime vermektedir [85].

## 1.6. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Karbon çeliği üzerinde Schiff bazlarının korozyon davranışı ile ilgili son yıllarda literatürde çalışmalar artmıştır.

Behpour ve arkadaşları 2M HCl'de yumuşak çelik için korozyon inhibitörleri olarak disülfür bağı içeren üç Schiff bazının inhibisyon performansını kütle kaybı ölçümleri, potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ile araştırmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon çalışması, tüm inhibitörlerin karma tipte inhibitörler olduğunu göstermiştir. Yumuşak çelik yüzeyi üzerindeki inhibitörlerin adsorpsiyonunun Langmuir adsorpsiyon izotermi takip ettiği ve adsorpsiyon izoterm parametrelerinin ( $K_{ads}$ ,  $\Delta G_{ads}$ ) izlendiği bulunmuştur. Adsorpsiyon yapısını ortaya çıkarmak ve deney sonuçlarını açıklamak için kuantum kimyasal hesaplamalar uygulamışlardır [86].

Yeni sentezlenmiş üç triazol Schiff bazı (3-bromo-4-floro-benziliden) - [1,2,4] triazol-4-il-amin (BFBT), (4-triflorometil-benziliden) - [1,2,4] triazol-4-il-amin (TMBT) ve (2-

floro-4-nitro-benziliden) -[1,2,4] triazol-4-il-amin (FNBT), 0.5M HCl ortamında yumuşak çelik üzerinde korozyon inhibitörleri olarak kullanımları araştırılmıştır. Kimyasal olarak (kütle kaybı) ve elektrokimyasal olarak (potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans) teknikler ile inhibitör etkinlikleri konsantrasyondaki artış ve azalışa bağlı olarak oda sıcaklığında incelenmiştir. Çeşitli aktivasyon ve adsorpsiyon termodinamik parametreleri değerlendirilmiştir. Sentezlenen üç inhibitörün hepsinin adsorpsiyonu Langmuir izotermini takip ettiği rapor edilmiştir. Elektrokimyasal empedans çalışmaları, yük transfer direncinin inhibitörlerin konsantrasyonu ile arttığını göstermektedir. Polarizasyon çalışmaları ise inhibitörlerin etki mekanizmalarının karma tipte olduğunu göstermiştir. Yüzey morfolojisi SEM ve FTIR çalışmaları kullanılarak incelenmiştir. Kuantum kimyasal hesaplamalar deneysel sonuçlara kanıt olarak gösterilmiştir. Daha yüksek  $E_{HOMO}$  değeri, daha düşük  $E_{LUMO}$  değeri, daha küçük yörünge boşluğu ( $\Delta E$ ) ve daha yüksek dipol momenti, BFBT'yi TMBT ve FNBT'ye göre daha üstün kıldığını göstermiştir [87].

Yapılan araştırmada heterosiklik aminler ve aldehitlerden türetilen iki yeni Schiff bazı sentezlenmiş ve 1M  $H_2SO_4$  ortamında yumuşak çelik için korozyon inhibitörleri olarak kullanımı kütle kaybı ve elektrokimyasal yöntemlerle araştırılmıştır. İnhibisyon mekanizmasını anlamak için adsorpsiyon izotermine bakılmıştır. Çalışmalar, inhibisyon etkinliğinin inhibitör konsantrasyonu artışına bağlı olarak inhibisyonun arttığını göstermektedir. Ayrıca inhibitörlerin karma tip inhibitör olarak davrandığı rapor edilmiştir [88]

İki Schiff bazı ligandı, 4 - (((4-etilfenil) imino) metil) fenol (4EMP) ve (E) -4- ((naftalen-2-ilimino) metil) fenol (4NMP), 4-etilanilin, 4EMP veya naftalen-2-amin, 4NMP ile hidroksibenzaldehid reaksiyonu ile sentezlenmiştir. Bileşikler NMR ( $^1H$  ve  $^{13}C$ ), ve FTIR kullanılarak karakterize edilmiştir. Bileşiklerin korozyon önleme potansiyeli yumuşak çelik üzerinde 1M hidroklorik asit (HCl) çözeltisi içinde PDP ve EIS yöntemleri ile incelenmiştir. Elektrokimyasal yöntemlerin sonuçları, incelenen moleküllerin yüksek korozyon inhibisyonu gösterdiğini ve elektronların metal-elektrolit platformu boyunca akışına izin verdiğini göstermiştir. İnhibitörler karma tip olarak davranış göstermektedir. 4EMP'li inhibitörler, 4NMP'den daha iyi inhibisyon özelliği gösterdiği rapor edilmiştir [89].

İki yeni Schiff bazı, ferrosen karboksaldehid propanoilhidrazon (FCPH) ve ferrosen karboksaldehid furoilhidrazon (FCFH) sentezlenmiş ve elementel analizler IR ve NMR spektral çalışmaları ile karakterize edilmiştir. FCPH ve FCFH'nin moleküler yapıları, tek kristal X-ışını kırınım tekniği ile belirlenmiştir. Her iki bileşiğin yapıları, moleküller arası H-bağlanması ile stabilize edilmiştir. Bu bileşiklerin elektrokimyasal çalışması, yarı geri dönüşümlü bir elektron redoks davranışı sergilemektedir. Schiff bazlarının korozyon önleme çalışması, kütle kaybı, potansiyodinamik polarizasyon ve EIS ölçümleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. FCPH ve FCFH bileşikleri, 298 K'da 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde yumuşak çeliğin korozyonuna karşı kayda değer bir korozyon önleme özelliği sergilemiştir. FCFH'nin FCPH'den daha fazla korozyon önleme etkinliği gösterdiği rapor edilmiştir [90].

Üç Schiff bazı, 2-amino-6 (2-hidroksibenzelideneamino) heksanoik asit (SB-1), 2-amino-6-(4-metoksibenzelideneamino) heksanoik asit (SB-2) ve 2-amino-6 - ((4-dimetilamino) benzilideneamino) lisin (amino asit) ve üç farklı aldehitten türetilen heksanoik asit (SB-3) sentezlenmiştir. Sentezlenen bu maddelerin korozyon inhibitörü olarak kullanımı 1M HCl çözeltisinde yumuşak çelik üzerinde kütle kaybı ve elektrokimyasal yöntemler kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlar inhibitörlerin konsantrasyonlarının artması ile birlikte inhibisyon etkinliğinin arttığını göstermiştir. İncelenen inhibitörler arasında SB-3, 400 mgL<sup>-1</sup> konsantrasyonunda maksimum %95,6 inhibisyon etkinliği göstermiştir. Potansiyodinamik polarizasyon çalışmasında incelenen inhibitörlerin katodik tip inhibitörler olarak davrandıklarını rapor edilmiştir. İnhibitörlerin yumuşak çelik yüzeyine adsorpsiyonu Langmuir adsorpsiyon izotermine uymaktadır. Kütle kaybı, elektrokimyasal sonuçlar, SEM, EDX ve AFM analizleri ile uyumlu sonuçlar göstermektedir [91].

Bir dizi benzilden ikame edilmiş Schiff bazı (2-4) korozyon inhibisyonu açısından elektrokimyasal empedans spektroskopisi, polarizasyon ve lineer polarizasyon yöntemleri kullanılarak 25<sup>0</sup>C'de 1M HCl'de yumuşak çelik üzerinde test edilmiştir. Deneysel sonuçlar Schiff bazlarının korozyon önleme etkinliğinin, benzen halkasında C=C ve C=N kovalent bağ etkileşimi yoluyla olduğu rapor edilmiştir. Korozyon önleme etkinliği ile fizikokimyasal ve inhibitörlerin elektronik özellikleri yoğunluk fonksiyonel teorisi yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Teorik sonuçlar açıkça korozyon önleme

verimliliğinin sınır orbital parametrelerine (iyonlaşma potansiyeli ve elektronik afinite) bağlı olduğunu göstermiştir [92].

İki yeni benzohidrazid Schiff bazı, (Z) -2-hidroksi-N' - (2-hidroksi-1,2-difeniletilden) benzohidrazid (B1) ve (Z) -2-hidroksi-N' - (2-okso-1,2-difeniletilden) benzohidrazid (B2) sentezlenmiş ve kütle kaybı (WL) yöntemi, potansiyodinamik polarizasyon (PDP), elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS), tarayıcı elektron mikroskopisi (SEM), Kuantum kimyasal hesaplamaları (QCC) ve moleküler dinamik (MD) simülasyonları kullanılarak karbon çeliği üzerinde korozyon inhibitörü olarak kullanılması incelenmiştir. Sentezlenen her iki Schiff bazının, ağırlıklı olarak kimyasal tutunma ile Langmuir adsorpsiyonuna uyan adsorptif korozyon inhibitörleri olduğu rapor edilmiştir. Maksimum inhibisyon verimleri (kütle kaybı sonuçlarına göre), B1 ve B2 için sırasıyla %94,0 ve %96,5 olduğu bildirilmiştir. Yapılan çalışmada adsorpsiyon işleminin termodinamiği incelenmiş ve korozyon reaksiyonunun aktivasyon parametreleri de hesaplanmış ve tartışılmıştır. Hesaplanan elektronik parametreler,  $E_{HOMO}$ ,  $E_{LUMO}$ , HOMO-LUMO arasındaki enerji boşluğu ve dipol momenti, inhibisyon etkinliklerini açıklamaktadır. Moleküler dinamik simülasyonlar, inhibitörlerin neredeyse düzlemsel bir şekilde adsorbe edildiğini ve daha verimli bir adsorpsiyon ve inhibisyona yol açtığını ortaya koymuştur [93].

L-Tryptophan, methyl 2-((2-hydroxybenzylidene) amino-3-(1H-indol-3-yl) propanoate (S1) ve 2-(((1-hydroxy-3-(1H-indol-3-yl)-1,1-diphenylpropan-2-yl) imino) methyl) phenol (S2) 'den türetilen Schiff bazlarının, 1M hidroklorik asit çözeltisindeki paslanmaz çelikte korozyon inhibisyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi gibi elektrokimyasal teknikler, inhibitörlerin inhibisyon etkinliğini anlamak için kullanılmıştır. S1 ve S2 inhibitörlerinin, 1M HCl'de paslanmaz çeliğin korozyonu üzerinde iyi bir inhibisyon verimliliğine sahip olduğu belirtilmiştir. Polarizasyon ölçümleri, katodik reaksiyonun baskın kontrolü ile S1 ve S2'nin karma tipte inhibisyon modunu doğrulamıştır. SEM-EDX, FT-IR, UV-görünür ve X-Işını Kırınımı (XRD) sonuçları, inhibitör moleküllerinin paslanmaz çelik yüzeyinde adsorbe edildiğini ve paslanmaz çelik üzerinde adsorpsiyonunun Langmuir adsorpsiyon izotermine uyduğunu ortaya koymuştur [94].

Üç farklı triazin bazlı Schiff bazının, sülfürik asitte hafif çelik üzerindeki inhibisyon davranışı kütle kaybı, elektrokimyasal yöntemler, yüzey morfoloji çalışmaları

kullanılarak araştırılmıştır. İnhibisyon etkinliği, inhibitör konsantrasyonundaki artışla birlikte arttığı, ancak bu üç inhibitöründe sıcaklık ve asit konsantrasyonundaki artışla inhibisyonunun azaldığı rapor edilmiştir. Polarizasyon çalışmaları, bu inhibitörlerin karma tip davranışlı olduğunu göstermiştir. Yüzey morfolojisi çalışmaları, inhibitör moleküllerinin adsorpsiyonu yoluyla koruyucu bir film oluşturarak metal yüzeyini koruduğunu ortaya koymuştur [95].

Korozyon nedeniyle karbon çeliğinden yapılan petrol ve gaz kullanımındaki boru hatlarının arızalanması ciddi bir sorundur. Yapılan çalışmada iki yeni Schiff bazı, 5 - ((3-fenilaliliden) amino) -1,3,4-tiadiazol-2-tiol (PATT) ve 5 - ((tiofen-2-ilmetlen) amino) -1,3,4-tiadiazol-2-tiol (TATT), X65 karbon çeliğinin korozyonunu önlemek için inhibitör olarak sentezlenmiştir. CO<sub>2</sub> ile doymuş, petrol sahası suyu içerisinde elektrokimyasal ölçümler ve yüzey analizi yapılmıştır. Polarizasyon sonuçlarına göre hem PATT hem de TATT'nin, anodik inhibitör olarak davrandığı görülmüştür. Gibbs serbest enerji, PATT ve TATT adsorpsiyonlarının öncelikle kimyasal olduğu bildirilmiştir. Moleküler dinamik simülasyonları hem PATT hem de TATT için Fe yüzeyinde düzlemsel yönde adsorbe olduğunu göstermektedir. PATT, deneysel ölçümler ve teorik olarak TATT'den daha yüksek bir inhibisyon etkisi gösterildiği rapor edilmiştir [96].

Farklı Schiff bazları sentezlenerek pH 3.3'te konsantre sentetik asit yağmurunda bronz korozyon inhibitörleri olarak test edilmiştir. En etkili inhibitör (2- (salisilidenimino) tiofenol, SITP) ayrıca bu inhibitöre sodyum dihidrojen fosfat (P) ilavesiyle testler yapılmıştır. Fosfat, kırılma olaylarına karşı yüzey filmi direncini artırmıştır. XPS ve SEM araştırmaları, SITP ve SITP + P'nin korozyonu önemli ölçüde engellediğini göstermiştir. Ayrıca, SITP bronz üzerinde hem Cu(I)-SITP kompleksleri hem de adsorbe edilmiş inhibitör moleküllerinden oluşan koruyucu bir tabaka oluşturduğu bildirilmiştir [97].

Şimdiye kadar sentezlenmemiş iki adet yoğunlaştırılmış Schiff bazı, yani 4-(4-((Piridin-2-il) metilenamino) fenoksi)-N-((piridin-2-il) metilen) benzenamin (PMB) ve 4-(4-(4 - ((Piridin-2-il) metilenamino) fenoksi) fenoksi)-N-((piridin-2-il)metilen) benzenamin (PPMB) sentezlenerek yumuşak çelik üzerindeki korozyon önleyici performansları gravimetrik ve elektrokimyasal ölçümlerle 1 mol L<sup>-1</sup> HCl ortamında araştırılmıştır. Alan emisyon tarama elektron mikroskobu, enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi ve atomik kuvvet mikroskopisi, yumuşak çelik yüzeylerde koruyucu filmlerin oluşumunu teyit etmiştir. Temas açısı ölçümü, korozif çözeltide uygulanan inhibitör molekülleri

tarafından modifiye edilen yüzeyin hidrofobik doğasını ortaya çıkarmıştır. İnhibitörlerin korozyon önleme davranışındaki moleküler konfigürasyonun etkisi DFT, DFTB hesaplaması ve MD simülasyonu ile araştırılmıştır. Sonuçlara göre PPMB'nin, PMB'den daha etkili bir korozyon inhibitörü olduğunu göstermiştir [98].

Yeni sentezlenen 4-(4-bromophenyl)-N0-(2,4-dimethoxybenzylidene) thiazole-2-carbohidrazide (BDTC), 4-(4-bromophenyl)-N0-(4-methoxybenzylidene) thiazole-2-carbohidrazide (BMTC) ve 4-(4-bromophenyl)-N0-(4-hydroxybenzylidene) thiazole-2-carbohidrazide (BHTC) Schiff bazlarının korozyon önleme etkinliği yumuşak çelik üzerinde kütle kaybı ve elektrokimyasal teknikler kullanılarak 0.5M HCl ortamında araştırılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon sonuçları, incelenen tüm inhibitörlerin karma tip olarak davrandığını göstermiştir. Adsorpsiyon süreci yumuşak çelik yüzeyinde Langmuir izotermine uyduğu belirlenmiştir. İlişkili aktivasyon parametreleri ve termodinamik veriler değerlendirilip ve tartışılmıştır. Metal yüzeyinde oluşan adsorbe edilmiş film SEM ve IR spektroskopisi ile karakterize edilmiştir. Ayrıca, Schiff bazlarının antioksidan aktivitesine bakılıp inhibisyon etkinliği ile ilişkilendirilmiştir [99].

Salisilaldehid (OH-BT), naftaldehid (HNT) ve 2-hidroksinaftaldehid (OH-NT) ile yoğunlaşması yoluyla o-tolidinden türetilmiş schiff bazları sentezlenmiş ve FT-IR ve <sup>1</sup>H NMR spektroskopik tekniklerle karakterize edilmiştir. Sentezlenmiş Schiff bazları, katalitik konvertörlerin verimliliğini etkilediği bilinen kükürt, fosfor ve halojenler gibi istenmeyen elementler içermediğinden tribolojik açıdan çevresel olarak güvenlidir. Bu bileşiklerin triboaktivitesi, dört bilyalı test cihazı (FBT) kullanılarak ASTM D4172 ve D5183 test koşulları altında %0.25 ağırlık/hacim optimize edilmiş bir konsantrasyonda parafin yağı içinde incelenmiştir. Sonuçlar benzer koşullar altında bir referans katkı maddesi olan çinko dialkil ditiyofosfat (ZDDP) ile karşılaştırılmıştır. Tribolojik verilere, ortalama aşınma izi çapı, ortalama aşınma hacmi, sürtünme katsayısı, yük taşıma kabiliyeti ve aşınma oranına dayanarak, araştırılan katkı maddelerinin tribolojik davranışı için şu sıra ortaya çıkmıştır: OH-BT > OH-NT > H-NT > ZDDP. Aşınma izinin morfolojisi ve bileşimi Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) Enerji Dağıtıcı X-ışını analizi (EDX) birlikte incelenmiştir ve gözlemlenen tribolojik verilerle çok iyi ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Sentezlenmiş katkı maddeleri ile yağlanan aşınma izinin EDX analizi, azot ve oksijenin varlığına dair kanıt sağlamaktadır. İmin grubunun tribolojik davranışa aktif katılımını belirlemek için

en aktif bileşik OH-BT'nin reaksiyonu, tioglikolik asit ile gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon ürününün (OH-BTS) azaltılmış aşınma önleme performansı, imin grubunun yokluğu ile doğrudan ilişkili olabileceği öngörülmüştür (-CH=N-). Demir levha üzerindeki parafin yağında incelenen Schiff bazlarının adsorpsiyon mekanizmasını incelemek için moleküler dinamik (MD) simülasyonları kullanılmıştır. Schiff bazı katkı moleküllerinin adsorpsiyon enerjilerinin sırasının, deneysel olarak gözlemlenen verilerle uyumlu olduğu bulunmuştur. Adsorpsiyon sonrası moleküllerin oryantasyonunun veya konfigürasyonunun doğası tartışılmıştır. MD simülasyonlarının bulguları, incelenen Schiff baz moleküllerinin ve OH-BT'nin tioglikolik asit ile siklizasyonu ile elde edilen ürün OH-BTS'nin tribolojik davranış mekanizmasını önermek için kullanılmıştır. MD simülasyon çalışmalarından önerilen mekanizma, adsorpsiyon sonrası heteroatomların ve katkı molekülünün düzlemselliğinin birleşik etkisine işaret etmektedir [100].

Üç farklı triazol Schiff bazının inhibisyon özellikleri, (4-(4-hidroksibenzilideneamino)-4H-1,2,4-triazol-3,5-diil) dimetanol (HATD), (4-(4-metoksibenzilideneamino)-4H-1,2,4-triazol-3,5-diil) dimetanol (MATD) ve (4-(3,4-dimetoksibenzilideneamino)-4H-1,2,4-triazol-3,5-diyl) dimetanol (DMATD) 'nin hidroklorik asitte düşük karbon çelik üzerinde kütle kaybı, elektrokimyasal çalışmalar ile araştırılmıştır. Sentezlenen bileşiklerin hidroklorik asit içindeki yumuşak çelik için etkili inhibitörler olarak davrandığını göstermiştir. Bu inhibitörlerin inhibisyon etkinliği, inhibitör konsantrasyonu ile artmaktadır, ancak sıcaklık ve asit konsantrasyonu ile azalmaktadır. Deneysel çalışmalardan elde edilen inhibisyon verimlilikleri, teorik olarak hesaplanan değerler ve spektroskopik çalışmaların sonuçları ile uyumludur [101].

Basit bir yoğuşma reaksiyonu yoluyla iki yeni Schiff bazı (AIMCH ve MIMCH) krom korozyonuna karşı yeşil korozyon inhibitörleri olarak sentezlenmiştir. %15 HCl ortamında karbon çeliği için bileşiklerin korozyon önleme verimlilikleri, kütle kaybı, potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ile araştırılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon, her iki inhibitörün de baskın katodik etkiye sahip karma tipte bir inhibitör olarak davrandığını ortaya çıkarmıştır. SEM-EDX analizi, çelik yüzeyinde koruyucu bir film oluşumunun varlığını ve bu da metal substrat üzerinde Cl<sup>-</sup>'nin yüzey adsorpsiyonunda bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca Schiff bazlarının antioksidan aktiviteleri FRAP testi ile araştırılmıştır. FRAP testinin sonuçları, demir indirgemesinin ve sonuç olarak AIMCH'nin antioksidan

özelliğinin, MIMCH'deki metoksi grubuna kıyasla fenil halkası üzerinde yüksek elektron yoğunluğuna sahip daha etkili asetamido fonksiyonel grubundan dolayı MIMCH'den daha yüksek olduğunu göstermiştir [102].

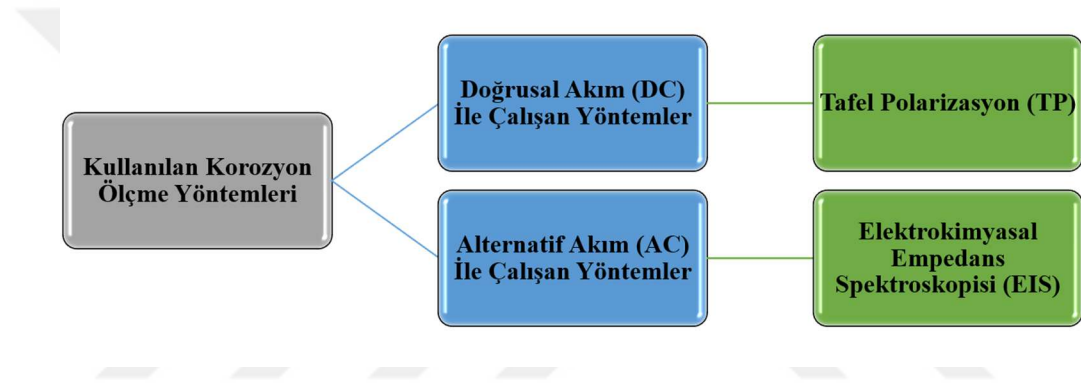


## 2.MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. YÖNTEM

#### 2.1.1. Çalışmada Kullanılan Korozyon Belirleme Yöntemleri

İnhbitör varlığında ve yokluğunda SAE 1012 metalinin %15 HCl çözeltisi içerisindeki korozyon mekanizması literatürde Tafel Polarizasyon yöntemi ve Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi yöntemleri ile belirlenmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan elektrokimyasal korozyon ölçme yöntemleri.

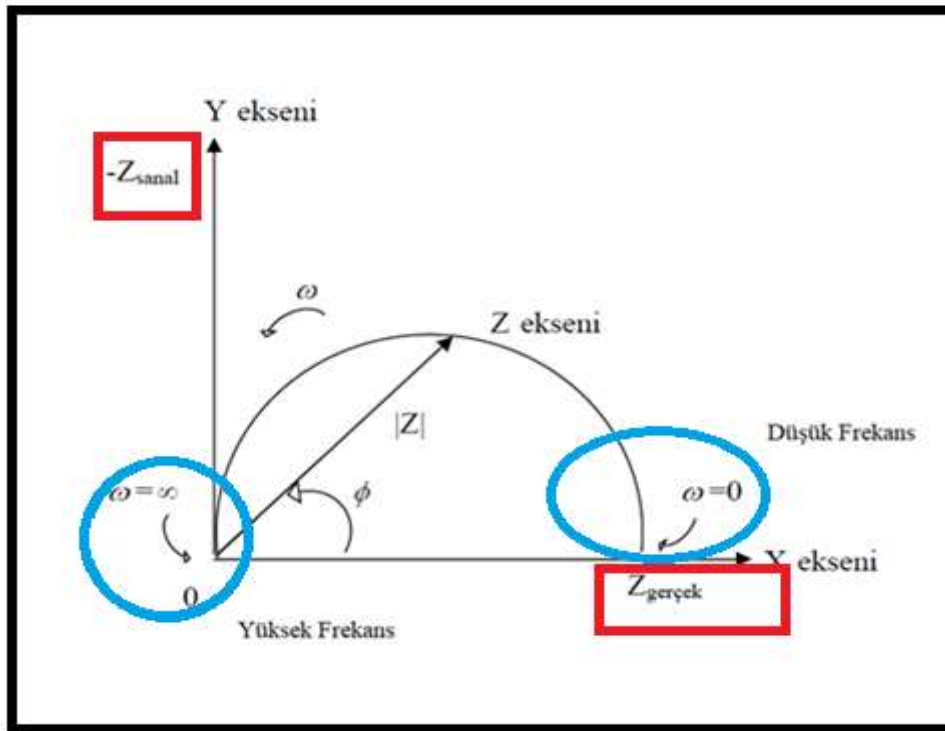
##### 2.1.1.1. Tafel Polarizasyon Yöntemi (TP)

Sanayide yaygın olarak kullanılan Tafel Polarizasyon yönteminin en önemli avantajı kısa sürede ölçüm yaparak yüksek duyarlılıkta sonuç vermesidir. Bu yöntemde korozyon hızı anodik ve katodik eğriler belirlenerek hesaplanmaktadır. Bu eğriler yöntemde kullanılan metalin korozyon potansiyelinden başlayarak akım verilip metalin anottaki yükseltgenmesine karşılık gelen anodik Tafel eğrisi ve katottaki indirgenmesine karşılık gelen katodik Tafel eğrisinin elde edilmesi sonucu belirlenmektedir. Metalin korozyon potansiyelinden başlanılarak potansiyostatik ve galvanostatik yöntemle anodik ve katodik eğrilere çizilen eğrilerin korozyon potansiyeline ekstrapole edilmesi sonucunda korozyon hızı hesaplanmaktadır. Eşitlik 2.1 ile korozyon akımı ( $I_{corr}$ ) hesaplanmaktadır. Eşitlikte verilen  $I_{corr}$  değeri korozyon akımını,  $\beta_a$  ve  $\beta_c$  değerleri sırasıyla anodik ve katodik sabitleri ve  $R_p$  değeri ise polarizasyon direncini göstermektedir [103].

$$I_{corr} = \frac{\beta_a \beta_c}{2.303 (\beta_a + \beta_c) R_p} \quad (2.1)$$

### 2.1.1.2. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS)

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS), koruyucu kaplamaların korozyon önleyici performansının hızlandırılmış değerlendirmesi için iyi kurulmuş nicel bir yöntemdir. EIS ölçümleri, kısa test sürelerinde, kaplamaların uzun vadeli performansının tahmin edilmesine izin veren güvenilir veriler sağlar. EIS'nin sonucu, frekansın bir fonksiyonu olarak elektrokimyasal sistemin empedansını vermektedir. EIS çok yönlü bir test prosedürüdür ve test edilen metallerin performansına bağlı olarak farklı stres koşulları altında gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemle çalışılan sistemlerin frekansı 0.001-100.000 Hz aralığında değişmektedir [104].



Şekil 2.2. Nyquist diyagramı.

EIS sonucuna bağlı olarak Nyquist diyagramları oluşturulmaktadır. Bu diyagramda reel bir kısım Z eksenini üzerinde, sanal kısım ise Y eksenini üzerine çizilmektedir (Şekil 2.2). Diyagrama bağlı olarak eşdeğer devre ile elektrokimyasal deneylere karşılık gelen elemanlar hesaplanmaktadır.

EIS, yüksek performanslı kaplamaların (delaminasyon, korozyon oranı, su alımı) dayanıklılığını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. EIS, her tür filmin bariyer performansını ölçmek için de kullanılabilir. EIS ayrıca iletkenliği ölçer ve bu nedenle emülsiyon tiplerini (yağ/su, su/yağ, mikro-emülsiyon) ve faz ters çevirme sıcaklığı gibi olayları değerlendirmek için kullanılabilir. Kaplamaların performansını ve bütünlüğünü belirlemek için yerinde ölçümler için EIS kullanılmaktadır [104].

## 2.1.2. Yüzey Analizi

### 2.1.2.1. SEM ve EDS Analizi

İnhibitör eklenen ve eklenmeyen %15 HCl ortamına maruz kalan SAE 1012 metalinin yüzeyindeki değişimler Şekil 2.3'te gösterilen J. Quanta FEG 250 (FEI, Holand) modeli cihaz ile incelenmiştir.



Şekil 2.3. SEM ve EDS cihazı.

## 2.1.3. Schiff Bazının Sentezi

### 2.1.3.1. FT-IR, $^1\text{H}$ NMR ve $^{13}\text{C}$ NMR Spektrometrik Analizleri

FT-IR spektrumları Perkin Elmer Model 100 spektrofotometresinde kaydedilmiştir.  $^1\text{H}$  (400 MHz) ve  $^{13}\text{C}$  (200 MHz) NMR spektrumları, çözücü olarak kloroform d-( $\text{CDCl}_3$ ) ve iç standart olarak trimetilsilan (TMS) kullanılarak bir Bruker DPX-400 Yüksek Performanslı Dijital FT-NMR spektrometresi üzerine kaydedilmiştir.

### 2.1.3.2. *M-nitroasetofenonun Hazırlanması*

8 mL asetofenon ilk önce, bir buz tuzu banyosunda 500 mL'lik bir erlenmeyer içerisinde, -5 °C - 0 °C arasındaki bir sıcaklıkta damla damla 20 mL konsantre sülfürik asit eklenerek çözülüp ve sonra nitratlama karışımı hazırlanmıştır. 5.3 mL konsantre nitrik asit, 8 mL konsantre sülfürik asit ile karıştırılarak 0 °C'de tutulmuştur. Nitrat karışımı, 0 °C'de 40-45 dakika boyunca konsantre sülfürik asit içindeki asetofenon karışımına damla damla ilave edilmiştir. İlave işleminin tamamlanmasından sonra, çözelti 20 dakika boyunca karıştırılmış ve 180 g kırılmış buz içeren 500 ml'lik bir behere eklenmiştir. Bu süreç, reaksiyonun söndürülmesiyle sonuçlanmış ve açık sarı bir katı ürün çökeltisi elde edilmiştir. Elde edilen ürün süzülerek kurutulmuştur ve daha sonra asetofenonun saf meta izomerini elde etmek için etanolde yeniden kristalleştirilmiştir [105], [106]. Verim 9.06 g, %80, 76-78 °C.

<sup>1</sup>H NMR(CDCl<sub>3</sub>):δ (ppm); 2.68 (s, 3H), 7.67-7.70 (m, 1H), 8.26-8.28 (d, 1H), 8.37-8.39 (d, 1H), 8.72 (s, 1H).

<sup>13</sup>C NMR(CDCl<sub>3</sub>):δ (ppm); 26.70, 123.11, 127.35, 129.95, 133.83, 138.22, 148.40, 195.70.

IR  $\nu$  (cm<sup>-1</sup>); 3089, 1688, 1614, 1524, 1470, 1429, 1347, 1317, 1276, 1245, 1109, 1061, 971, 910, 872, 818, 761, 739, 671, 662, 585, 536, 484.

### 2.1.3.3. *4-aminoantipirid Schiff Bazı Türevinin Sentezi*

4 aminoantipirinin metanolik çözeltisi (2.03 g, 0.01 mol), metanolik m-nitroasetofeno çözeltisine (1.65 g, 0.01 mol) ilave edilmiştir. Çözelti, bir yağ banyosu üzerinde 6 saat boyunca reflaks edilmiştir. Fazla çözücü buharlaştırılarak uzaklaştırılmış ve konsantre çözelti bir buz banyosunda karıştırılarak soğutulmuştur. Oluşan sarı katı ayrılarak süzölmüş, birkaç kez benzen ve deiyonize su ile yıkanmıştır. Tortu, sarı bir katı halinde saf Schiff bazı verecek şekilde etanolden yeniden geçirilerek kristalleştirilmiştir ve indirgenmiş basınç altında kurutulmuştur [106]. Verim 3.13 g, %88.

<sup>1</sup>H NMR(CDCl<sub>3</sub>):δ (ppm); 2.31 (s, 3H), 2.50 (s, 3H), 3.12 (s, 3H), 7.27-7.31(m, 1H), 7.42-7.48 (m, 4H), 7.55-7.59 (m, 1H), 8.23-8.26 (d, 1H), 8.29-8.31 (d, 1H), 8.83-8.84 (s, 1H).

<sup>13</sup>C NMR(CDCl<sub>3</sub>):δ (ppm); 10.93, 19.01, 36.61, 120.68, 122.05, 122.75, 124.20, 124.32, 126.69, 129.14, 129.17, 132.92, 135.32, 141.06, 148.42, 158.78, 164.49

IR  $\nu$  (cm<sup>-1</sup>); 3100, 1647, 1566, 1525, 1485, 1347, 1277, 1129, 848, 819, 737, 766, 699, 627, 590, 489.

## 2.2. MATERYAL

### 2.2.1. Sentez İçin Kullanılan Malzemeler ve Çözeltiler

Tüm kimyasallar, 4-aminoantipirin (4-Amino-2,3-dimethyl-1-phenyl-3-pyrazolin-5-one,  $\geq 99\%$ ), asetofenon ( $\geq 99\%$ ), etanol ( $\geq 99.8\%$ ), metanol ( $\geq 99\%$ ), benzen ( $\geq 99\%$ ), nitrik asit ( $\geq 90\%$ ), sülfürik asit ( $\geq 98,9\%$ ) ve hidroklorik asit ( $\geq 37\%$ ) Sigma-Aldrich ve Merck'ten satın alınmıştır. Tüm çözücüler çok fazla saflaştırılmadan kullanılmıştır. Deiyonize su, bir Millipore Milli-Q su sistemi kullanılarak arıtılmıştır. Malzemelerin erime noktaları, bir Barnstead IA9100 Elektrotermal Dijital Erime Noktası Aparatı ile belirlenmiştir.

### 2.2.2. Çalışma Elektrotu

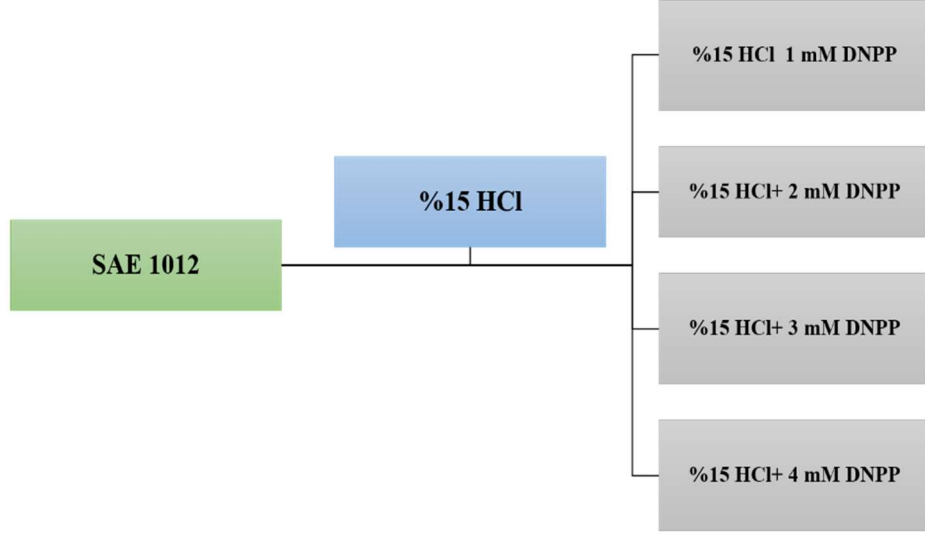
Çalışmada kullanılan SAE 1012 meteline ait numunelere 0,79 cm çapında olup Erdemir Çelik (Türkiye) şirketinden temin edilmiştir. Çalışma elektrodu olan SAE 1012 metalinin bileşimi Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. SAE 1012 metalinin kimyasal bileşimi (Kütlece %).

Numune	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Fe
SAE 1012	0.123	0.121	0.398	0.011	0.001	0.032	0.041	0.006	0.004	Balance

### 2.2.3. Elektrokimyasal Deneylerin Yapılışı

Deneyde kullanılan SAE 1012 metalinin yüzeyi 600-2000 numaralı zımpara kağıtları kullanılarak temizlenmiştir. Metal yüzeyi daha sonra saf su ile yıkandıktan sonra deney üçlü korozyon hücresine yerleştirilmiştir. Oda sıcaklığında 2 farklı elektrokimyasal yöntem kullanılarak metalin korozyon mekanizması incelenmiştir.



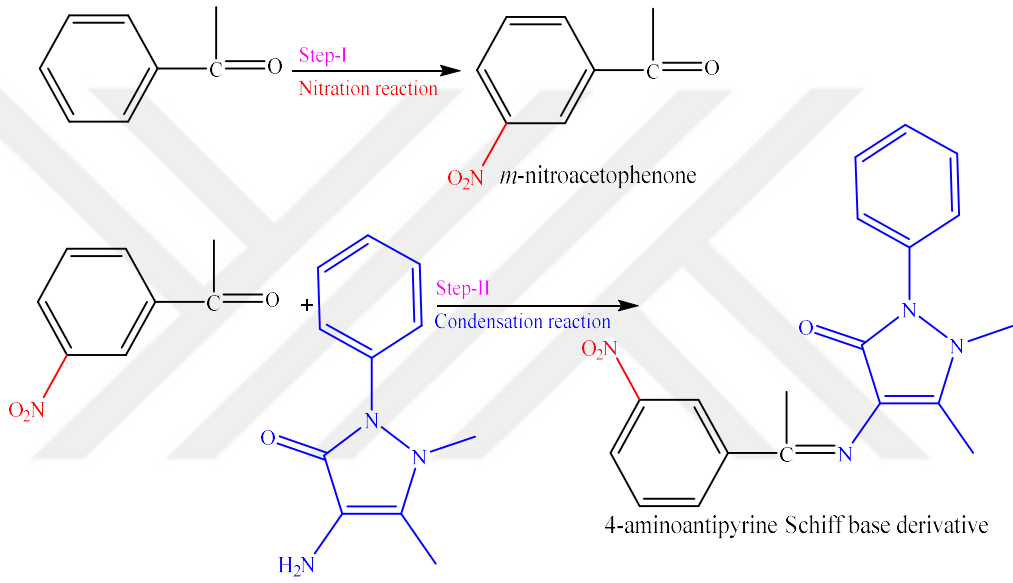
Şekil 2.4. Elektrokimyasal deney ortamları.

Kurulan üçlü elektrot düzeneğinde referans elektrotu Ag/AgCl, karşıt elektrot olarak platin elektrot ve çalışma elektrotu olarak SAE 1012 çeliği kullanılmıştır. Sistemin stabil hale gelmesi için deneyler başlamadan önce elektrot 1 saat çözelti içerisinde bekletilmiştir. %15 HCl çözeltisi içerisinde SAE 1012 metalinin korozyon mekanizması 2 saat boyunca EIS ve TP yöntemiyle GAMRY PC3/600 potansiyostat/galvanostat/ZRA sisteminde araştırılmıştır. Deneyler EIS yönteminde 100 kHz- 0,1 Hz frekans aralığında yapılmıştır. TP yönteminde denge potansiyeli 100 saniye boyunca katodik ve anodik yöne doğru  $\pm 250$  mV aralığında 1 mV/s hızla tarama yapılmıştır. Elde edilen deneysel veriler Gamry CMS-5.30 yazılımı ile analiz edilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

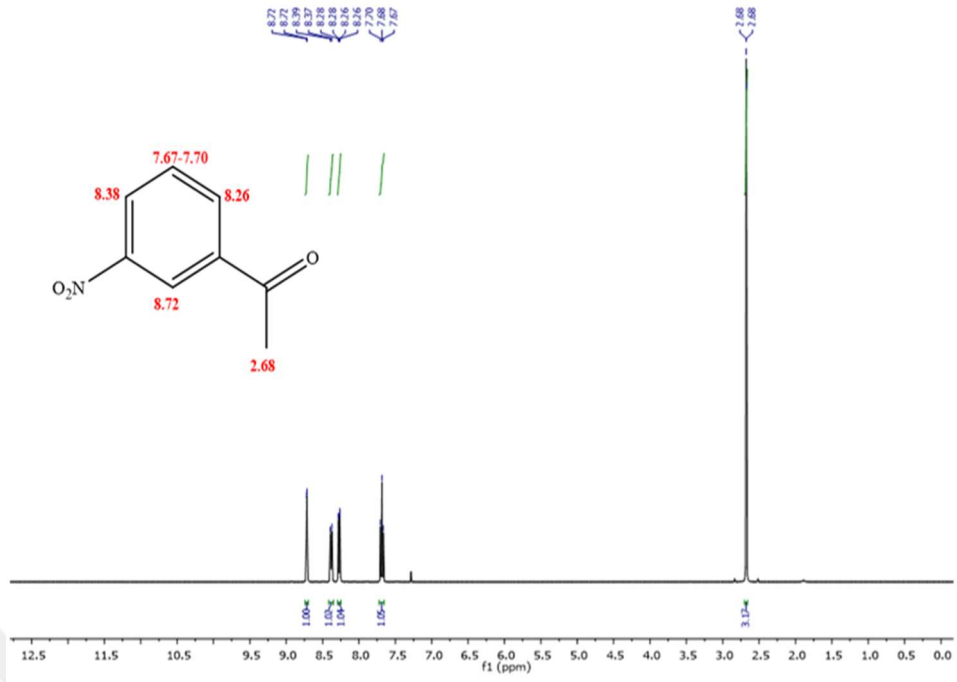
#### 3.1. DNPP SCHİFF BAZININ KİMYASAL SENTEZİ

Yeni bir Schiff baz türevi (AAAP) asidik ortamda SAE 1012 çeliği için potansiyel korozyon önleyici olarak yüksek verimle sentezlenmiştir. Schiff baz türevinin sentezi için yapılan çalışma Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

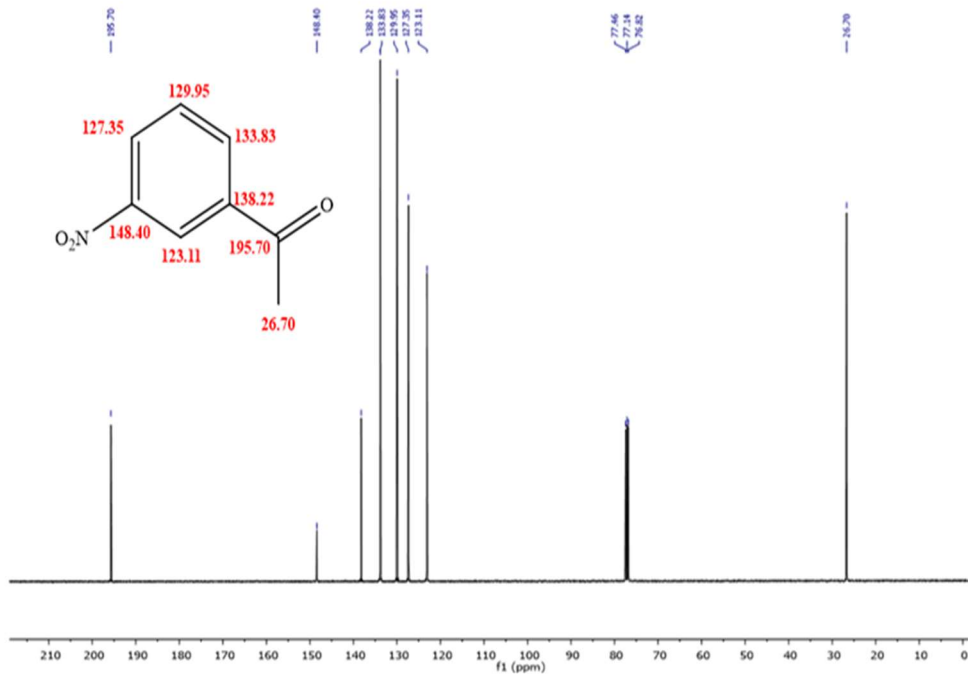


Şekil 3.1. Aminoantipiridin türevinin sentez basamakları.

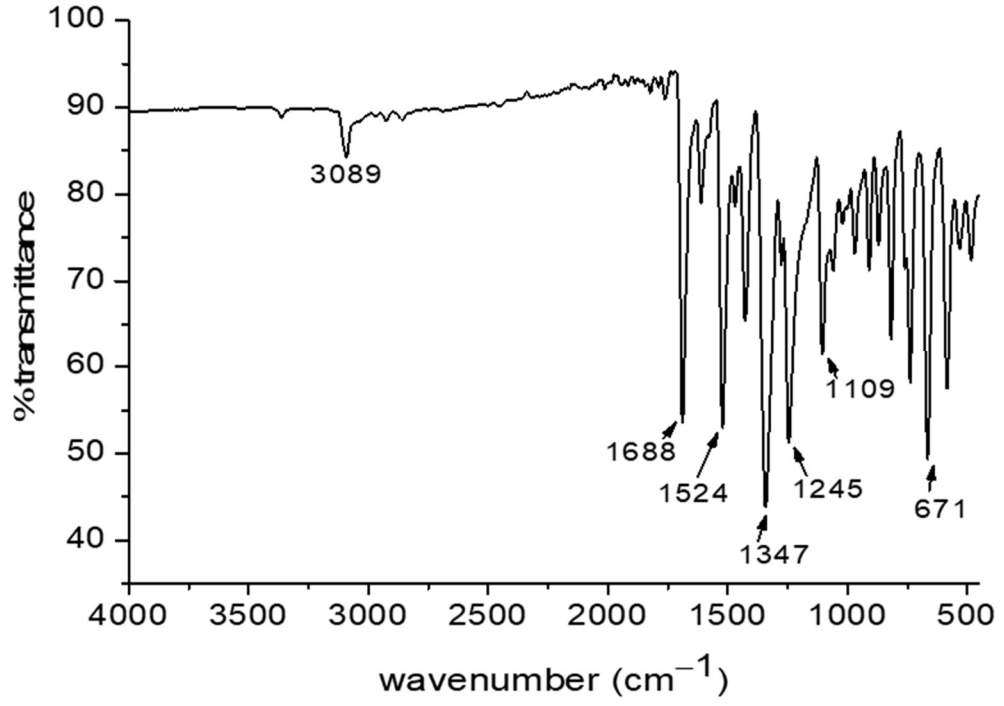
Şekil 3.1'de görüldüğü üzere, sentez için kullanılan 4 aminoantipirinin Schiff bazı türevi laboratuvarında iki aşamada hazırlanmıştır. İlk adımda, m-nitroasetofenon, 0 °C'de konsantre sülfürik asit ve nitrik asit varlığında asetofenonun nitratlanmasıyla hazırlanmıştır [106]. İkinci adımda hedeflenen bileşik, 4-aminoantipirin ile metanol içerisinde m-nitroasetofenon ile yoğunlaştırılıp 6 saat karıştırılarak sentezlenmiştir [106]. Elde edilen bileşiklerin yapıları FT-IR, <sup>1</sup>H NMR ve <sup>13</sup>C NMR spektroskopik yöntemlerle doğrulanmıştır. Sentezlenen bileşiklerin spektrum ve spektral karakterizasyon verileri aşağıda verilmiştir. İlk adımdaki m-nitroasetofenon <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR ve FT-IR verileri sırasıyla Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmiştir. İkinci adımdaki 4-aminoantipirin <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR ve FT-IR verileri sırasıyla Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de verilmiştir.



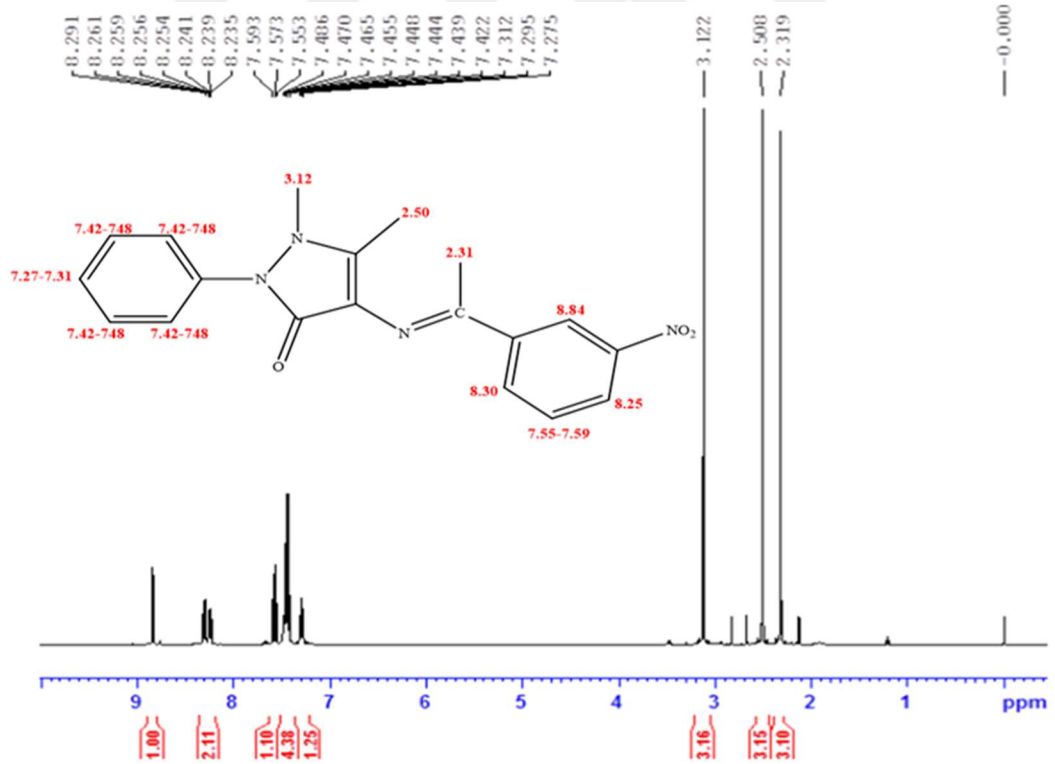
Şekil 3.2. M-nitroasetofenonun  $^1\text{H}$  NMR spektrumu.



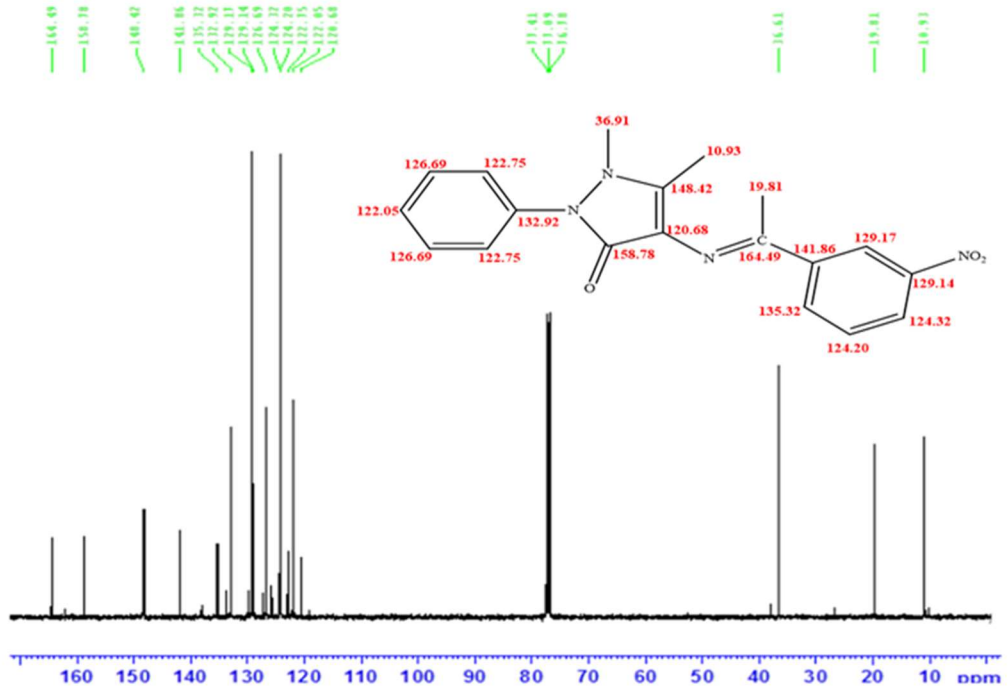
Şekil 3.3. M-nitroasetofenonun  $^{13}\text{C}$  NMR spektrumu.



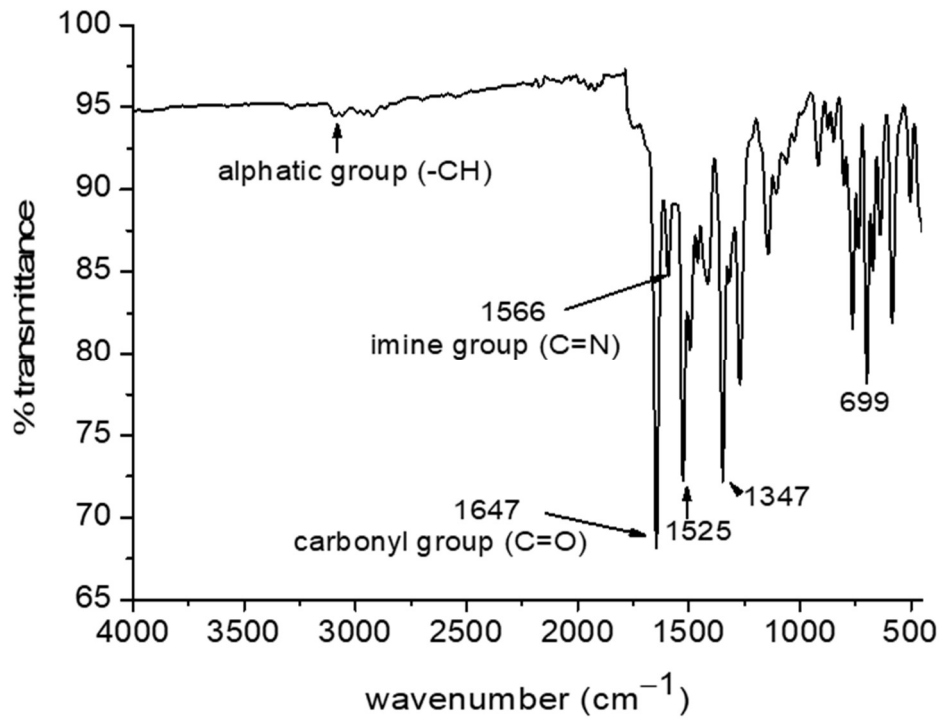
Şekil 3.4. M-nitroasetofenonun FT-IR spektrumu.



Şekil 3.5. 4-aminoantipirin Schiff bazı türevinin  $^1\text{H}$  NMR spektrumu.



Şekil 3.6. 4-aminoantipirin Schiff bazı türevinin  $^{13}\text{C}$  NMR spektrumu.

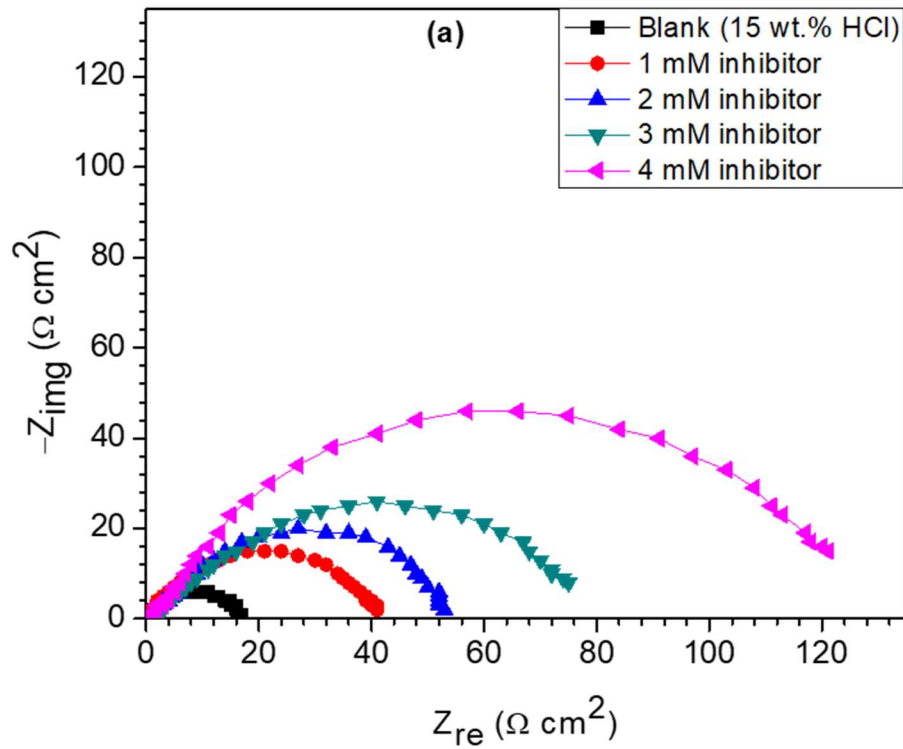


Şekil 3.7. 4-aminoantipirin Schiff bazı türevinin FT-IR spektrumu.

## 3.2. DNPP SCHIFF BAZININ İNHİBİTÖR ETKİSİNİN ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ

### 3.2.1. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi

SAE 1012 metalinin %15 HCl çözeltisi içerisinde DNPP Schiff bazının korozyon inhibitörü davranışı oda sıcaklığında 2 saat süren deneyler sonucunda elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemi ile belirlenmiştir. Sentezlenen DNPP Schiff bazının %15 HCl çözeltisi ortamına değişik konsantrasyonlarda eklenmesi sonucu EIS yöntemi ile elde edilen Nyquist diyagramı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

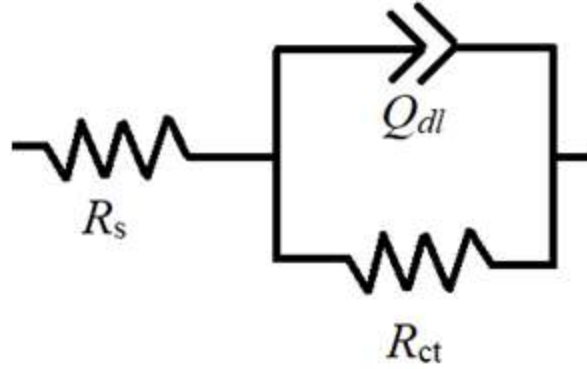


Şekil 3.8. SAE 1012 metalinin %15 HCl çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının Nyquist diyagramı.

Genellikle yarım daire olan Nyquist diyagramları Şekil 3.8’de yarı daireden sapsmış olduğu gözükmemektedir. Bu durum frekans dağılımı [107], kullanılan çalışma elektrotunun yüzeyinin pürüzlü olması [108], çözelti içerisinde bulunan iyonların metal yüzeyine adsorpsiyonu [109] ve yük transferi [110] gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.

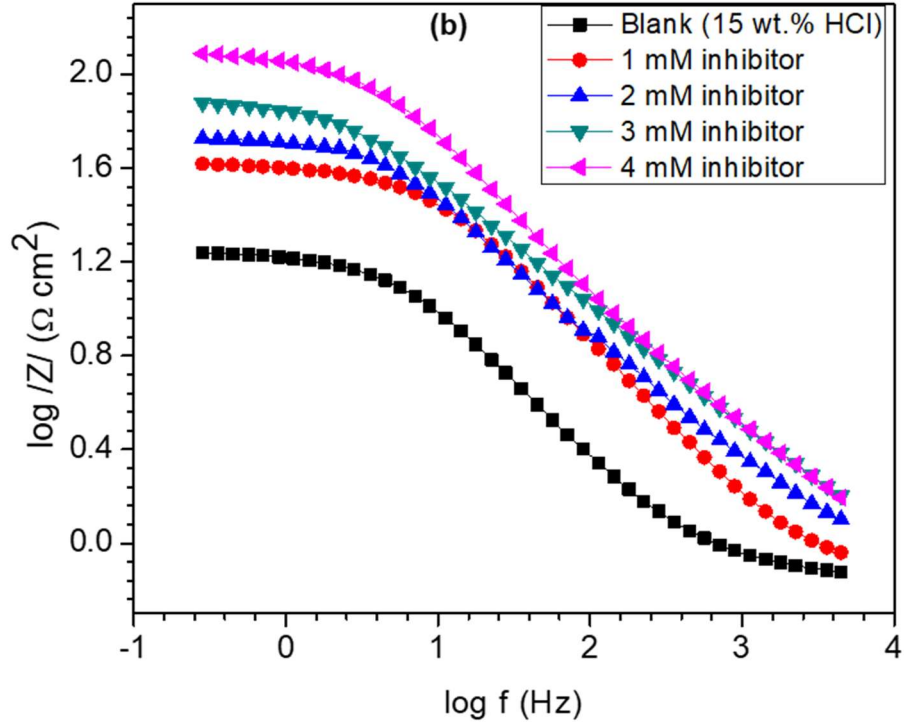
Asidik ortamda incelenen SAE 1012 çeliğinin korozyonu ve sentezlenen DNPP Schiff bazının inhibisyon derecesi hakkında niceliksel bilgi sağlamak için, ZSimpWin 3.21

programı kullanılarak Şekil 3.9'da gösterilen bir  $R(QR)$  eşdeğer devresi ile EIS spektrumlarının analizi yapılmıştır.



Şekil 3.9.  $R(QR)$  eşdeğer devre modeli.

%15 HCl çözeltisinde DNPP Schiff bazının etkisi, özellikle yüksek konsantrasyonlarda SAE 1012 çeliğinin yüzeyindeki yük transferine direnç gösterdiği anlaşılmaktadır. Şekil 3.10'da gösterilen Bode diyagramında tam yarı dairesel olmama durumu Nyquist diyagramını desteklemektedir. SAE 1012 metalinin %15 HCl çözeltisi içerisinde Schiff bazı inhibitör eklenmeden önceki Bode eğrisine bakıldığında  $\log|Z|$  değeri  $1.25 \Omega \cdot \text{cm}^2$  iken ortama 1 mM Schiff bazı inhibitör eklendiğinde  $\log|Z|$  değeri  $1.60 \Omega \cdot \text{cm}^2$  olmuştur. 2 mM Schiff bazı inhibitör eklendiğinde Bode eğrisindeki  $\log|Z|$  değeri  $1.75 \Omega \cdot \text{cm}^2$ , 3 mM Schiff bazı inhibitör eklendiğinde Bode eğrisindeki  $\log|Z|$  değeri  $1.85 \Omega \cdot \text{cm}^2$  ve 4 mM Schiff bazı inhibitör eklendiğinde Bode eğrisindeki  $\log|Z|$  değeri  $2.15 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 'yi göstermektedir. Konsantrasyon artışına bağlı olarak hem Bode eğrisinde hem de Nyquist diyagramındaki eğrilerin artışı sentezlenen Schiff bazının %15 HCl ortamında SAE 1012 metali üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.10. SAE 1012 metalinin %15 HCl çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının Bode diyagramı.

Çizelge 3.1. %15 HCl çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının EIS sonucu.

İnhibitör konsantrasyonu	$R_s$	CPE		$R_{ct}$	IE
	( $\Omega \text{ cm}^2$ )	$Y_0$ ( $\Omega^{-1} \text{ s}^2 \text{ cm}^{-2}$ )	$n$ $0 \leq n \leq 1$	( $\Omega \text{ cm}^2$ )	(%)
Blank	0.7004	0.002943	0.5916	17.42	-
1 mM DNPP	0.7318	0.000872	0.7192	42.07	58
2 mM DNPP	0.8843	0.001472	0.6842	60.16	71
3 mM DNPP	0.7979	0.001656	0.6216	89.85	80
4 mM DNPP	0.9604	0.000804	0.7766	140.50	87

Çizelge 3.1’de SAE 1012 metalinin %15 HCl çözeltisi içerisinde 2 saat süren deneyler sonunda elde edilen solüsyon direnci olan  $R_s$  değerinin  $0.7004 \Omega \cdot \text{cm}^2$  olduğu görülmektedir. Çizelge 3.1’de açıkça görüldüğü üzere, %15 HCl çözeltisi için  $R_s$  ve  $R_{ct}$  değerleri, sentezlenen Schiff bazı içeren çözeltilerden daha küçükken, sabit faz elemanı  $Q$  değeri yüksektir. DNPP Schiff bazının çözelti ortamındaki miktar artışı  $R_s$  ve  $R_{ct}$

değerlerinde artışa,  $Q$  değerinde ise düşüşe neden olmaktadır. Schiff bazı inhibitör içermeyen %15 HCl çözeltisi için  $R_s$  ve  $R_{ct}$  değerleri sırasıyla  $0.7004 \Omega \text{ cm}^2$  ve  $17.42 \Omega \text{ cm}^2$  iken,  $Q$  değeri  $0.002943 \text{ Q/S s}^2\text{cm}^{-2}$ 'dir. %15 HCl çözeltisine 1 mM Schiff bazı inhibitör eklendiğinde,  $R_s$  ve  $R_{ct}$  değerleri sırasıyla  $0.7318 \Omega \text{ cm}^2$  ve  $42.07 \Omega \text{ cm}^2$ 'ye yükselirken  $Q$  değeri  $0.000872 \text{ Q/S s}^2\text{cm}^{-2}$ 'ye düşmüştür. %15 HCl çözeltisine 4 mM Schiff bazı inhibitör eklendiğinde,  $R_s$  ve  $R_{ct}$  değerleri sırasıyla  $0.9604 \Omega \text{ cm}^2$  ve  $140.5 \Omega \text{ cm}^2$ 'ye yükselirken,  $Q$  değeri  $0.000804 \text{ Q/S s}^2\text{cm}^{-2}$ 'ye düşmüştür.

Ara yüzeyin niteliği üzerinde bilgi veren ve çalışma elektrodu üzerindeki pürüzlülük değerini gösteren  $n$  değeri %15 HCl ortamında 0.59 iken DNPP Schiff bazının çözelti ortamındaki miktar artışına bağlı olarak metal yüzeyindeki pürüzlülük değerinin iyileştiği gözlemlenmiştir. 4 mM Schiff bazlı inhibitör içeren sistemde  $n$  değeri 0.77 değerini göstermektedir.

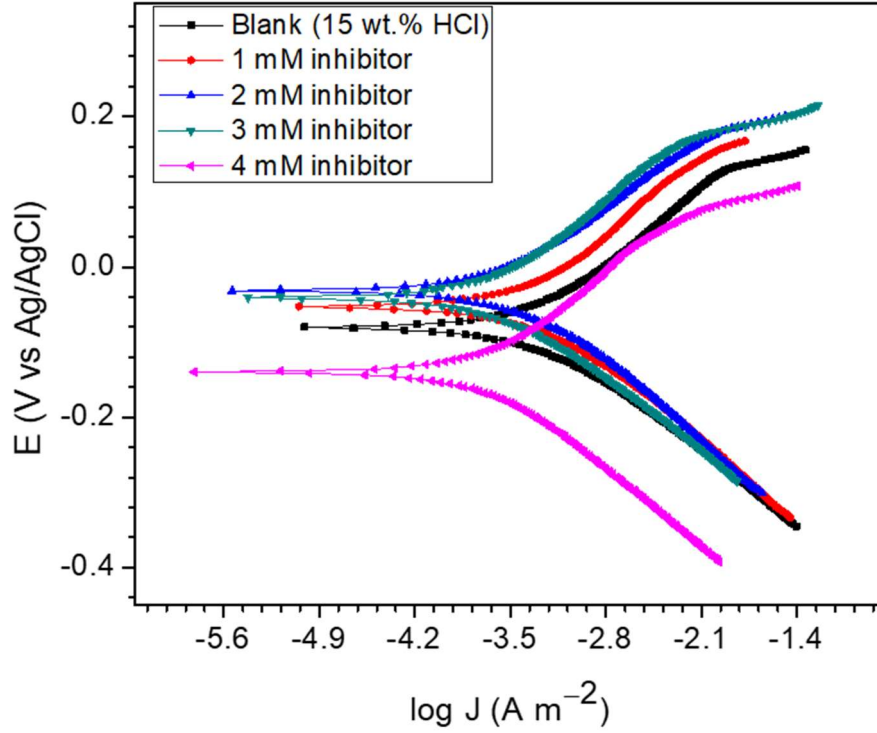
%15 HCl ortamında Schiff bazının inhibisyon yüzdesi (%IE), Eşitlik 3.2'de kullanılarak hesaplanmıştır [108]:

$$\%IE = \left(1 - \frac{R_{ct}^0}{R_{ct}}\right) \times 100 \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2'de  $R_{ct}^0$  %15 HCl çözeltisi içerisinde Schiff bazı inhibitörü bulunmayan yük transfer direncini gösterirken  $R_{ct}$  Schiff bazı inhibitörü ihtiva eden çözeltideki yük transfer direncini vermektedir. Çizelge 3.1'e bakıldığında konsantrasyona bağlı olarak inhibisyon yüzdesinin artması diğer sonuçlarla korelasyon göstermektedir. Çizelge 3.1'de en yüksek konsantrasyon olan 4 mM Schiff bazlı inhibitör %15 HCl çözeltisi içerisindeki SAE 1012 metalini %87 oranında korumuştur.

### 3.2.2. Tafel Ekstra Polarizasyon Yöntemi

SAE 1012 metalinin %15 HCl çözeltisi içerisinde Schiff bazının korozyon inhibitörü davranışı oda sıcaklığında 2 saat süren deneyler sonucunda TP yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. TP yöntemi sonrasında elde edilen eğriler Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. SAE 1012 metalinin %15 HCl çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının TP eğrileri.

Şekil 3.11, 25 °C'de farklı konsantrasyonlarda Schiff bazı içermeyen ve içeren %15 HCl çözeltisindeki SAE 1012 çeliğinin potansiyodinamik polarizasyon eğrilerini göstermektedir. Bu yöntemde anodik ve katodik Tafel sabitleri sırasıyla  $\beta_a$  ve  $\beta_c$ , korozyon akım yoğunluğu ( $i_{corr}$ ), korozyon potansiyeli ( $E_{corr}$ ) Tafel eğrilerinin anodik ve katodik dalların doğrusal olarak kesişimi ile hesaplanmaktadır. Schiff bazının  $i_{corr}$  değerlerini elde etmek için Eşitlik 3.3 kullanılmaktadır [107]:

$$\%IE = \left(1 - \frac{i_{corr(inh)}}{i_{corr(blank)}^0}\right) \times 100 \quad (3.3)$$

Şekil 3.11'de, DNPP'nin hem anodik oksidasyonu hem de katodik hidrojen azaltma reaksiyonlarını etkilediğini ortaya koymaktadır.  $E_{corr}$ 'un, inhibitör eklenmemiş malzemenin  $E_{corr}$ 'una göre inhibitör tarafından yer değiştirmesi minimaldir, bu da DNPP'nin korozyon önleme sürecinde karışık tipte bir inhibitör olarak rol oynadığını göstermektedir. [111]. Şekil 3.11'deki katodik eğrilerin paralelliği, hem inhibe edilmiş hem de inhibe edilmemiş sistemlerde hidrojen reaksiyonunun aktivasyon kontrollü olduğunu göstermektedir [112].

Çizelge 3.2. %15 HCl çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının TP sonucu.

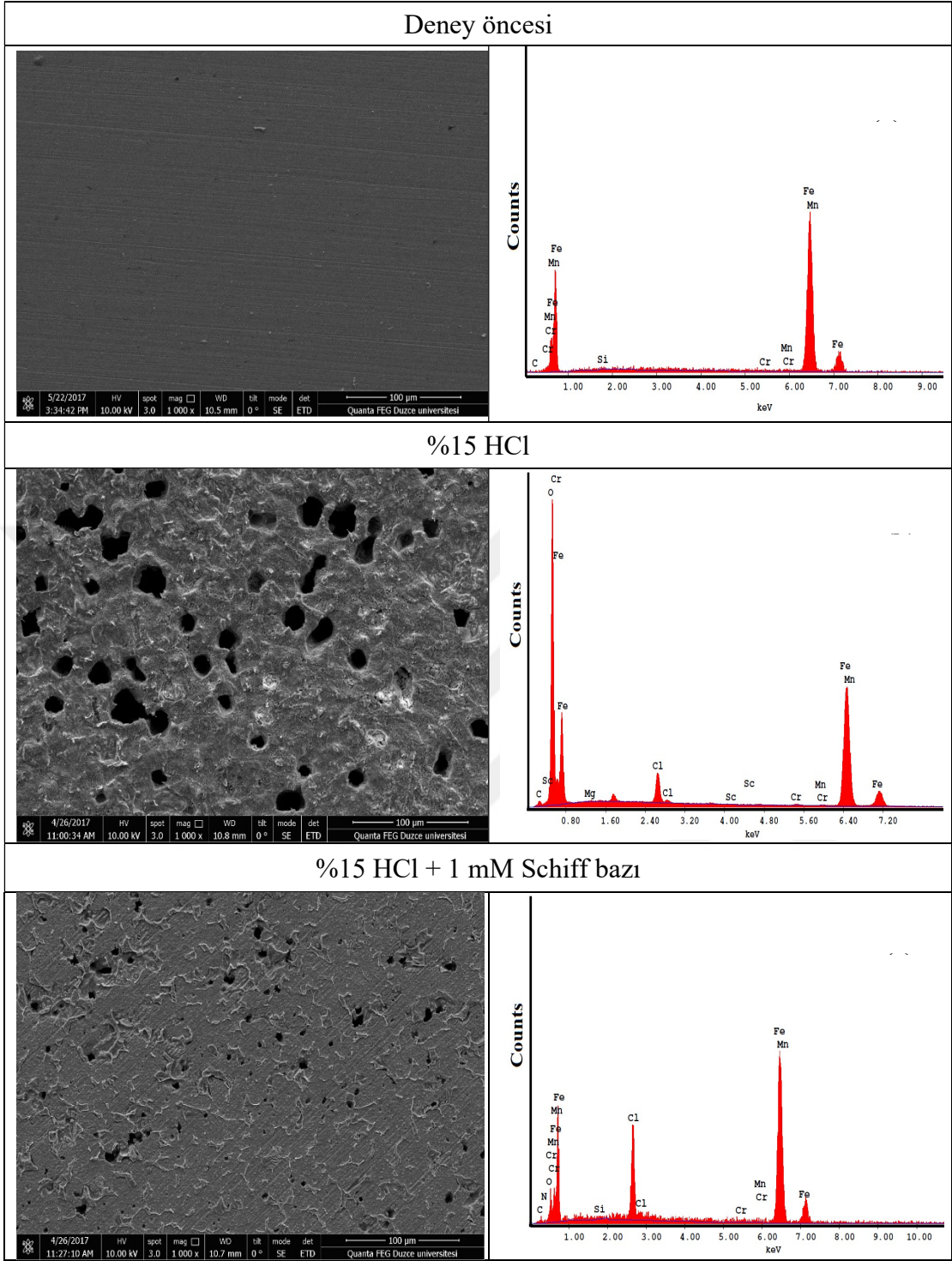
İnhibitör konsantrasyonu	$E_{corr}$ (mV/Ag/AgCl)	$I_{corr}$ ( $\mu$ A/cm <sup>2</sup> )	$\beta_a$ (mV/dec)	$\beta_c$ (mV/dec)	IE (%)
Blank	-81	521	155	136	-
1 mM DNPP	-54	280	136	119	46
2 mM DNPP	-32	195	151	129	63
3 mM DNPP	-41	138	160	131	74
4 mM DNPP	-140	108	142	143	80

Tablo 3.2'deki sonuçlar, asit çözeltisine DNPP ilavesinin, metalin korozyon akımı yoğunluğunu önemli ölçüde baskıladığını göstermektedir. 1 mM DNPP ilavesi,  $I_{corr}$ 'u 521  $\mu$ A/cm<sup>2</sup>'den 280  $\mu$ A/cm<sup>2</sup>'ye düşürmüştür ve bu durum metal yüzeyinde %46 oranında korunma sağladığını göstermektedir. DNPP'nin 2 mM, 3mM ve 4 mM konsantrasyonlarındaki artış ile metal yüzeyinde sırasıyla %63, %74 ve %80 koruma sağladığı görülmektedir. EIS sonuçlarıyla iyi uyum gösteren bu sonuçlar, DNPP'nin oldukça agresif bir ortamda karbon çeliğinin korozyonunu geciktirmedeki etkinliğini yansıtmaktadır. Ayrıca,  $\beta_a$  ve  $\beta_c$  değerlerindeki fark -19 mV/dec aralığındadır. Literatüre göre [113], böyle küçük bir değişiklik değişmeyen katodik ve anodik reaksiyon mekanizmasının bir göstergesidir.

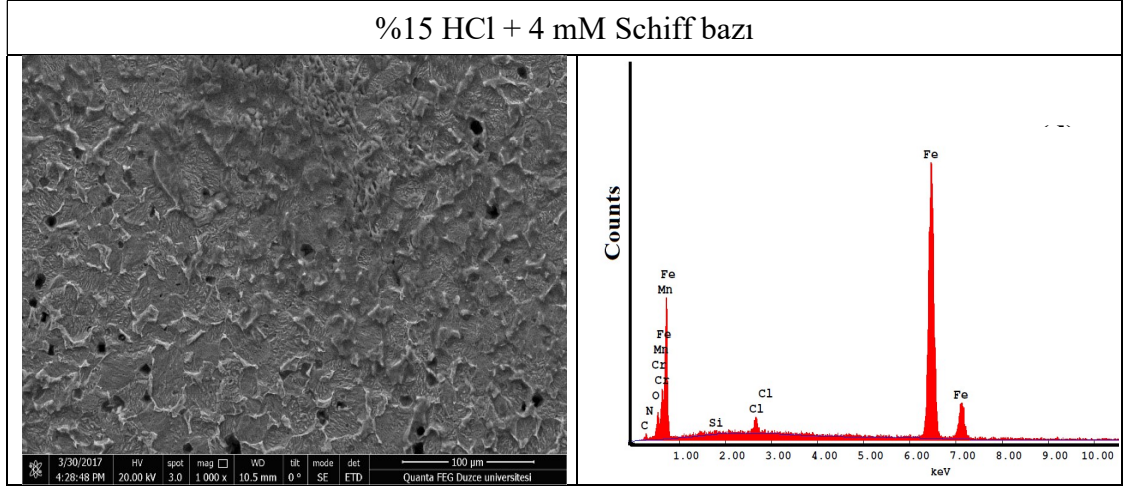
### 3.3. YÜZEY ANALİZİ

#### 3.3.1. SEM ve EDS Analizi

EIS deneyleri sonrası inhibitörsüz ve 1 mM ve 4 mM konsantrasyonlarda DNPP Schiff bazının %15 HCl çözeltisi içerisinde SAE 1012 metalinin yüzeyinde gerçekleşen morfolojik değişiklikleri gözlemlemek için SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Yapılan SEM ve EDS analizleri sonuçları Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. EIS yöntemi sonrası SAE 1012 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a) deney öncesi, (b) %15 HCl, (c) %15 HCl + 1 mM 1-DNPP Schiff bazı, (d) %15 HCl + 4 mM DNPP Schiff bazı.



Şekil 3.12.(devam). EIS yöntemi sonrası SAE 1012 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a) deney öncesi, (b) %15 HCl, (c) %15 HCl + 1 mM 1-DNPP Schiff bazı, (d) %15 HCl + 4 mM DNPP Schiff bazı.

Çizelge 3.3. %15 HCl çözeltisi içerisinde değişik konsantrasyonlarda eklenen DNPP Schiff bazının EDS analiz sonucu.

	Elementel içerik (%)							
	Fe	Mn	C	Si	Cr	Cl	O	N
SAE 1012	95.59	1,19	2,15	0.50	0.56	-	-	-
1 M HCl	48.76	0.69	2,94	0.63	0.58	14.39	32.02	-
%15 HCl + 1 mM DNPP	76.53	1.53	4.03	0.52	0.74	13.59	2.27	0.79
%15 HCl + 4 mM DNPP	86.25	1.93	1.50	0.75	0.95	5.11	1.87	1.64

Şekil 3.12 (a)'da SAE1012 metalinin deney öncesinde metal yüzeyinin SEM görüntüsü verilmiştir. SEM görüntüsünde zımparalamaya bağlı olarak metal yüzeyinde izler görülmektedir. Çizelge 3.3'te deney öncesi EDS sonuçlarında SAE 1012 metalinin içeriği gösterilmiştir. İçerikte %95.59 oranında Fe elementinin olduğu görülmektedir. Şekil 3.12 (b)'de ise %15 HCl ortamında metal yüzeyinde HCl'e bağlı korozyon ürüleri görülmektedir. Metal yüzeyinde korozyona bağlı olarak çukur oluşumları gözlemlenmiştir. EDS spektrumunda ise O ve Cl iyonlarının artması Fe oranının azalması bu durumu desteklemektedir. Şekil 3.12 (c)'de %15 HCl ortamına 1 mM DNPP Schiff bazı eklendiğinde metal yüzeyinde HCl'den kaynaklanan çukurlar azalmış ve inhibitör molekülleri yüzeyi kaplamıştır. EDS spektrumunda O ve Cl iyonları azalmış, inhibitör içeriğinden gelen N iyonları metal yüzeyine kaplanmıştır ve Fe oranı inhibitör eklenmeden önceki duruma göre artmıştır. Şekil 3.12 (d)'de %15 HCl ortamına 4 mM

DNPP Schiff bazı eklendiğinde metal yüzeyinde HCl'den kaynaklanan çukurlar iyice azalmış ve inhibitör molekülleri yüzeyi kaplamıştır. EDS spektrumunda O ve Cl iyonları azalmış, Fe ve N oranı önceki durumlara göre artmıştır.

### 3.3.2. Adsorpsiyon İzotermi ve Adsorpsiyon Mekanizması

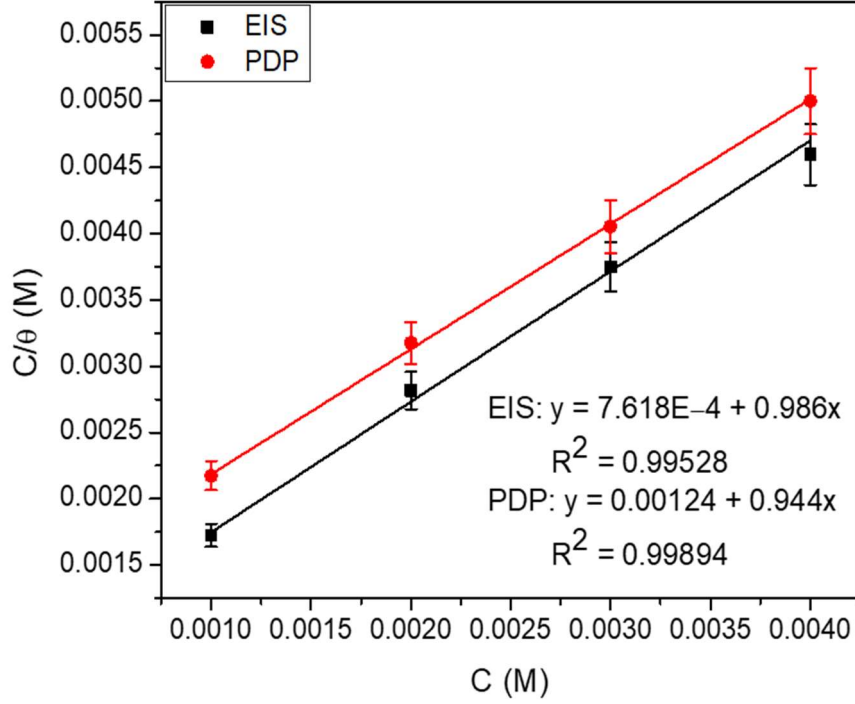
Organik korozyon inhibitörleri tarafından genel olarak kabul edilen korozyon önleme mekanizması, fiziksel, kimyasal veya her ikisi olabilen adsorpsiyon mekanizmasıdır [114], [115]. Adsorpsiyon izotermi, adsorbe edilmiş inhibitör molekülleri ve metal yüzey arasındaki etkileşimin doğası hakkında bilgi sağlamada çok yararlı olmuştur [114], [115]. DNPP'nin ağırlıkça %15 HCl çözeltisi içinde SAE 1012 karbon çelik yüzeyi üzerindeki adsorpsiyon özelliklerini incelemek için Langmuir adsorpsiyon izotermine yüzey kapsama değerleri ( $\theta$ ,  $\theta = IE/100$ ) yerleştirilmiştir. Bu model şu genel forma sahiptir (Eşitlik 3.4):

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte C, DNPP konsantrasyonudur ve  $K_{ads}$ , adsorpsiyon işleminin denge sabitidir. Denklem'e göre adsorpsiyonun serbest enerjisi ( $\Delta G_{ads}^0$ ) ile ilgilidir (Eşitlik 3.5) [114].

$$\Delta G_{ads}^0 = -RT \ln(K_{ads} \times 55.5) \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte R evrensel gaz sabiti, T termodinamik sıcaklıktır (298 K) ve 55.5 mol/L cinsinden suyun molar konsantrasyonunun sayısal değeridir.



Şekil 3.13. 25 °C'de SAE 1012 karbon çelik yüzeyinde DNPP Langmuir adsorpsiyon izotermin grafiği

Şekil 3.13'te, SAE 1012 karbon çeliği yüzeyi üzerinde DNPP'nin 25 °C'de adsorpsiyonu için  $C/\theta - C$  grafiklerini göstermektedir. Grafikler lineerdir ve  $R^2$  değeri, SAE 1012 karbon çelik yüzeyi üzerindeki DNPP'nin adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modelini takip ettiğini göstermektedir [115]. Tek tabakalı adsorpsiyon için Langmuir grafiğinin eğimi bir olmalıdır [116]. Şekil 3.13 ve Çizelge 3.4'te görülebileceği gibi, eğim birbirine yakındır. Metal yüzeyinde DNPP'nin tek tabakalı bir filminin oluştuğu anlaşılmaktadır.  $K_{ads}$  değeri (Çizelge 3.4) yüksektir ve yüksek adsorpsiyon eğiliminin ve DNPP molekülleri ile SAE 1012 karbon çelik yüzeyi arasındaki güçlü etkileşimin bir göstergesidir [116].

Çizelge 3.4. 25 °C'de %15 HCl çözeltisi içerisinde SAE 1012 karbon çeliği yüzeyindeki DNPP için adsorpsiyon ölçümü sonuçları

Teknik	Eğim	$K_{ads}$ (L/mol)	$-\Delta G_{ads}$ (kJ/mol)
EIS	0.986	1312.66	27.74
PDP	0.944	806.45	26.53

Literatürde,  $\Delta G_{ads}^0$  ve inhibitör adsorpsiyon modu arasında bir model vardır. Fiziksel adsorpsiyon için (yani elektrostatik etkileşim),  $\Delta G_{ads}^0$  değeri yaklaşık -20 kJ/mol veya

daha azdır [117],[118], bu değer kimyasal adsorpsiyon için yaklaşık -40 kJ/mol veya daha fazladır [119],[120]. Karma adsorpsiyon tipi için (yani hem fiziksel hem de kimyasal adsorpsiyon),  $\Delta G_{ads}^0$  değeri bu iki değer arasında yer almaktadır [121]. Çizelge 3.4'e bakıldığında, hesaplanan  $\Delta G_{ads}^0$  değeri karma adsorpsiyon kategorisine girmektedir.

DNPP, kimyasal yapısında amino ve karbonil fonksiyonel gruplar içermektedir. Bu fonksiyonel gruplar tartışmasız bir şekilde ağırlıkça %15 HCl çözeltisinde protonlanır, böylece DNPP, DNPP<sup>+</sup> olarak bulunur. Ağırlıkça %15 HCl çözeltisinde, karbon çeliği yüzeyinin pozitif net yük ve yüzeyde özel olarak adsorbe edilmiş klorür iyonları yer aldığı bildirilmiştir [122]. Adsorpsiyon, yüzeyde katyonik türlerin adsorpsiyonunu kolaylaştıran aşırı negatif yükler yaratmıştır [123]. Bu, hesaplanan  $\Delta G_{ads}^0$  değeri ile gösterildiği gibi, SAE 1012 karbon çelik yüzeyi üzerinde DNPP'nin fiziksel adsorpsiyonu için makul bir mekanizma olacaktır. Hesaplanan  $\Delta G_{ads}^0$  değeri tarafından önerilen kimyasal adsorpsiyonda, C=O, C=N, N=O ve benzil halkalarından  $\pi$ -elektronlar arasında bir donör-alıcı etkileşimi olabilmektedir. Diğer bir olasılık ise, protonlanmış N ve O heteroatomlarının bir kısmının elektron çiftlerinin boş 3D-orbital Fe'ye (kimyasal adsorpsiyon) aktarılacağı şekilde metal yüzeyinde serbest bırakılabilmesi durumudur [124].

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan sentez çalışmaları, elektrokimyasal deneyler ve sonrasında yapılan yüzey morfolojisi çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- FT-IR spektrumları, <sup>1</sup>H-NMR ve <sup>13</sup>C-NMR sonuçlarına göre DNPP Schiff bazı başarıyla sentezlenmiştir.
- %15 HCl çözeltisine ilave edilen DNPP Schiff bazı SAE 1012 karbon çeliği alaşımının korozyon mekanizmasını yavaşlatmıştır. Sentezlenen bu Schiff bazı SAE 1012 karbon çeliği metali için %15 HCl ortamında korozyon inhibitörü olarak kullanılabilceği yapılan çalışmalarla gösterilmiştir.
- EIS yöntemi sonucunda 4 mM DNPP, metalin korozyon direncini 17.42  $\Omega \cdot \text{cm}^2$ 'den 140.50  $\Omega \cdot \text{cm}^2$ 'ye kadar artırmış ve metal yüzeyini %87 koruduğu bulunmuştur.
- TP yöntemi sonucunda inhibitörün inhibisyon yüzdesi %80 olarak bulunmuştur. Bu oran EIS sonucu ile korelasyon göstermektedir.
- DNPP Schiff bazı Langmuir adsorpsiyon izotermine uymaktadır ve metal yüzeyinde karma adsorpsiyon mekanizması ile adsorbe edilen karma tip bir korozyon inhibitörü olarak işlev görmektedir.
- SEM ve EDS sonuçları, DNPP Schiff bazı moleküllerinin SAE 1012 karbon çeliği yüzeyine adsorpsiyonunu doğrulamaktadır.
- Elektrokimyasal deneyler ve yüzey morfolojisi sonuçları birbirine paralellik göstermektedir.
- DNPP Schiff bazı asidik ortamlar için etkili bir korozyon önleyici bir inhibitör formülasyonu için umut verici bir adaydır.
- Zamana bağlı olarak inhibitörün ne zaman etkinliğini yitirdiği Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemi ile araştırılmalıdır.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] C.Wen, J.Li, S.Wang ve Y.Yang, "Experimental study on stray current corrosion of coated pipeline steel," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, c.27, ss. 1555-1561, 2015.
- [2] S. Peng ve Z. Zeng, "An experimental study on the internal corrosion of a subsea multiphase pipeline," *Petroleum*, c. 1, ss. 75-81, 2015.
- [3] C. A. Loto, R. T. Loto ve A. P. Popoola, "Performance evaluation of zinc anodes for cathodic protection of mild steel corrosion in HCl," *Chemical Data Collections*, c. 24, ss. 100280, 2019.
- [4] F. Wang, J. Xu, Y. Xu, L. Jiang ve G. Ma, "A comparative investigation on cathodic protections of three sacrificial anodes on chloride-contaminated reinforced concrete," *Construction and Building Materials*, c. 246, ss. 118476, 2020.
- [5] M. Szocinski ve K. Darowicki, "Performance of organic coatings upon cyclic mechanical load," *Progress in Organic Coatings*, c. 146, ss. 105718, 2020.
- [6] X. Chen, S. F. Wen, T. Feng ve X. Yuan, "High solids organic-inorganic hybrid coatings based on silicone-epoxy-silica coating with improved anticorrosion performance for AA2024 protection," *Progress in Organic Coatings*, c. 139, ss. 105374, 2020.
- [7] E. A. Alvarenga ve V. F. C. Lins, "Atmospheric corrosion evaluation of electrogalvanized, hot-dip galvanized and galvanized interstitial free steels using accelerated field and cyclic tests," *Surface and Coatings Technology*, c. 306, ss. 428-438, 2016.
- [8] M. M. Solomon, H. Gerengi, S. A. Umoren, N. B. Essien, U. B. Essien ve E. Kaya, "Gum Arabic-silver nanoparticles composite as a green anticorrosive formulation for steel corrosion in strong acid media," *Carbohydrate Polymers*, c. 181, ss. 43-55, 2018.
- [9] H. Gerengi, M.M. Solomon, S. Öztürk, A. Yıldırım, G. Gece ve E. Kaya, "Evaluation of the corrosion inhibiting efficacy of a newly synthesized nitro compound against St37 steel corrosion in acidic medium: Experimental and theoretical approaches," *Materials Science and Engineering: C*, c. 93, ss. 539-553, 2018.
- [10] H. Gerengi, M. M. Solomon, E. Kaya, F. E. Bagci ve E. J. Abai, "An evaluation of the anticorrosion effect of ethylene glycol for AA7075-T6 alloy in 3.5% NaCl solution," *Measurement*, c. 116, ss. 264-272, 2018.
- [11] M. Finšgar ve J. Jackson, "Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review," *Corrosion Science*, c. 86, ss. 17-41, 2014.
- [12] E. B. Ituen, M. M. Solomon, S. A. Umoren ve O. Akaranta, "Corrosion inhibition by amitriptyline and amitriptyline based formulations for steels in simulated pickling

- and acidizing media," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, c. 174, ss. 984-996, 2019.
- [13] J. Aljourani, K. Raeissi ve M. A. Golozar, "Benzimidazole and its derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl solution," *Corrosion Science*, c. 51, ss. 1836–1843, 2009.
- [14] M. V. Fiori-Bimbi, P. E. Alvarez, H. Vaca ve C.A. Gervasi, "Corrosion inhibition of mild steel in HCl solution by pectin," *Corrosion Science*, c. 92, ss.192–199, 2015.
- [15] A. Yurt, G. Bereket, A. Kırarak, A. Balaban ve B. Erk, " Effect of schiff bases containing pyridyl group as corrosion inhibitors for low carbon steel in 0.1 M HCl," *Journal of Applied Electrochemistry*, c. 35, ss. 1025-1032, 2005.
- [16] J. I. Iribarren, F. Liesa, A. Meneguzzi, C. Aleman ve E. Armelin, "Spectroscopy investigations reveal unprecedented details in the corrosion of AISI 1012 UPN profiles installed in a modernist building of beginning of 20th century," *Journal of Cultural Heritage*, c. 42, ss. 240-248, 2020.
- [17] P. R. Roberge, *Corrosion Engineering Principles and Practice*, 1. baskı, New York, USA: McGraw-Hill, 2008, ss. 56-58.
- [18] M. G. Fontana ve N. D. Greene, "The Eight Forms of Corrosion," *Corrosion Engineering*, New York, USA: McGraw-Hill,1978, ss. 23-24.
- [19] I. Putilova, S. Balezin ve V. Barannik, *Metallic Corrosion Inhibitors*, New York, USA: Pergamon Press, 1960, ss. 15-16.
- [20] H. H Uhlig, *Corrosion and Corrosion Control*, 2. baskı, New York, USA: John Wiley & Sons, 1971, ss. 9-10.
- [21] C. R. Clayton, I. P. Olefjord, J. Marcus, M. Dekker, *Corrosion Mechanisms in Theory and Practice*, New York, USA: McGraw-Hill, 1995, ss.10-12.
- [22] U. R. Evans, "Metallic Corrosion," *Passivity and Protection*, 1. baskı, Londra, İngiltere: Edward Arnold and Company, 1946, ss. 18-19.
- [23] F. N. Speller, *Corrosion Causes and Prevention*, 3. baskı, New York, USA: McGraw-Hill, 1951, ss.14-15.
- [24] F. Bentiss, M. Traisnel ve M. Lagrenee, "The Substituted 1,3,4-Oxadiazoles: A New Class of Corrosion Inhibitors of Mild Steel in Acidic Media," *Corrosion Science*, c.42, ss.127-146, 2000.
- [25] L. Paul ve R. Machunda, "Investigation of Aloe lateritia Gel as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 2 M HNO<sub>3</sub> and 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Media," *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, c.4, ss. 33-39, 2016.
- [26] S. Sharma ve R. S. Chaudhary, "Inhibitive action of methyl red towards corrosion of mild steel in acids," *Bulletin of Electrochemistry*, c. 16, ss. 267-271, 2000.
- [27] J. J Bregman, *Corrosion Inhibitors*, New York, İngiltere: MacMillan, 1963, ss. 12-13.
- [28] L. Wei ve K. Gao, "Understanding the general and localized corrosion mechanisms of Cr-containing steels in supercritical CO<sub>2</sub>-saturated aqueous environments," *Journal of Alloys and Compounds*, c. 792, ss. 328-340, 2019.

- [29] H. Gerengi, H.I. Ugraş ve M. M. Solomon “Synergistic corrosion inhibition effect of 1-ethyl-1-methylpyrrolidinium tetrafluoroborate and iodide ions for low carbon steel in HCl solution” *Journal of Adhesion Science and Technology*, c. 30, ss. 2383-2403, 2016.
- [30] J. J. McEwan, *Corrosion control in Southern Africa*, 2. baskı, Güney Afrika: Corrosion Institute of South Africa, 2004, ss. 16-18.
- [31] B. Sanyal, “Organic compounds as corrosion inhibitors in different environmentsda review,” *Progress in Organic Coatings*, c. 9, ss. 165–236, 1981.
- [32] M. A. Khalifa, M. El-Batouti, F. Mahgoub ve A. B. Aknish, “Corrosion inhibition of steel in crude oil storage tanks,” *Materials and Corrosion*, c. 54, ss. 251– 258, 2003.
- [33] M. M. Solomon, S. A. Umoren, M. A. Quraishi, D. B. Tripathy ve E. J. Abai, "Effect of akyl chain length, flow, and temperature on the corrosion inhibition of carbon steel in a simulated acidizing environment by an imidazoline-based inhibitor," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, c. 187, ss. 106801, 2020.
- [34] Grand View Research, (2016,4 Temmuz). *Corrosion inhibitors market analysis by product (organic, inorganic), by end-use (power generation, oil & gas, metal processing, pulp & paper, chemical processing) and segment forecasts to 2024*. [Online]. Erişim: <http://https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/corrosion-inhibitors-market>.
- [35] I. B. Onyeachu, M. M. Solomon, S. A. Umoren, I. B. Obot ve A. A. Sorour, "Corrosion inhibition effect of a benzimidazole derivative on heat exchanger tubing materials during acid cleaning of multistage flash desalination plants," *Desalination*, c. 479, ss.114283, 2020.
- [36] A. Yurt, A. Balaban, S. Üstün Kandemir, G. Bereket ve B. Erk, “Investigation on some Schiff bases as HCl corrosion inhibitors for carbon steel”, *Materials Chemistry and Physics*, c.85, ss. 420–426, 2004.
- [37] A. Y. Musa, R. T. T. Jalgham ve A. B. Mohamad, “Molecular dynamic and quantum chemical calculations for phthalazine derivatives as corrosion inhibitors of mild steel in 1 M HCl,” *Corrosion Science*, c. 56, ss. 176-183, 2012.
- [38] K. Qi, Y. Qiu, Z. Chen ve X. Guo, "Corrosion of conductive polypyrrole: Effects of environmental factors, electrochemical stimulation, and doping anions," *Corrosion Science*, c. 60, ss. 50-58, 2012.
- [39] S. Zheng, Y. Qi, C. Chen ve S. Li, "Effect of hydrogen and inclusions on the tensile properties and fracture behaviour of A350LF2 steels after exposure to wet H<sub>2</sub>S environments," *Corrosion Science*, c. 60, ss. 59-68, 2012.
- [40] D. Sachdeva, "Insights into microstructure based corrosion mechanism of high pressure die cast AM50 alloy," *Corrosion Science*, c. 60, ss. 18-31, 2012.
- [41] P. A welding of copper to low carbon steel,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 232, ss. 165–174, 2016.
- [48] W. Yang, Q. Li, W. Liu, J. Liang, Z. Peng ve B. Liu, “Characterization and properties of plasma electrolytic oxidation coating on low carbon steel fabricated from aluminate electrolyte,” *Vacuum*, c. 144, ss. 207-216, 2017.

- [49] J. Guo, J. Cheng, H. Tan, S. Zhu, Z. Qiao, J. Yang ve W. Liu, "Ga-based liquid metal: Lubrication and corrosion behaviors at a wide temperature range," *Materialia*, c. 4, ss. 10-19, 2018.
- [50] H. Gerengi ve G. Bereket, "Adsorption and inhibition effect of benzotriazole on brass-118 and brass-MM55 in seawater," *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, c. 48, ss. 361, 2012.
- [51] B. Bardes, *Metals Handbook: Properties and Selection: Irons and Steels*, 9. baskı, London, USA: American Society for Metals, 1978, ss. 185- 407.
- [52] E. Bardal, *Corrosion and Protection*, London, İngiltere: Springer-Verlag London Limited, 2004, ss. 96-98.
- [53] J. C. Bailey, F. C. Porter, A. W. Pearson ve R. A. Jarman, *Aluminum and Aluminum Alloys, in Corrosion: Metal /Environment Reactions*, 3. baskı, London, İngiltere: Springer, 1994, ss. 62-89.
- [54] K.F. Khaled, "Molecular simulation, quantum chemical calculations and electrochemical studies for inhibition of mild steel by triazoles," *Electrochimica Acta*, c. 53, ss. 3484-3492, 2008.
- [55] F. Zucchi, G. Trabenelli ve G. Brunoro, "Iron corrosion inhibition in hot 4M HCl solution by t-cinnamaldehyde and its structure-related compounds," *Corrosion Science*, c.33, ss. 1135- 1139, 1992.
- [56] A.K. Maayta ve N.A.F. Al-Rawashdeh, "Inhibition of acidic corrosion of pure aluminum by some organic compounds," *Corrosion Science*, c. 46, ss. 1129-1138, 2004.
- [57] I. B. Obot, N. O. Obi-Egbedi ve S. A. Umoren, "Antifungal drugs as corrosion inhibitors for aluminium in 0.1 M HCl," *Corrosion Science*, c. 5, ss. 1868–1875, 2008.
- [58] E. Khamis, M.A. Ameer, N.M. Alandis ve G. Al-Senani, "Effect of thiosemi carbazones on corrosion of steel in phosphoric acid produced by wet process," *Corrosion*, c. 56, ss. 127-138, 2000.
- [59] S. A. Umoren ve M. M. Solomon, "Recent developments on the use of polymers as corrosion inhibitors - A review," *The Open Materials Science Journal*, c. 8, ss. 39-54, 2014.
- [60] X. He, D. S. Dunn ve A. A. Csontos, "Corrosion of similar and dissimilar metal crevices in the engineered barrier system of a potential nuclear waste repository," *Electrochimica Acta*, c. 52, ss. 7556-7569, 2007.
- [61] B. Qian, J. Wang, M. Zheng ve B. Hou, "Synergistic effect of polyaspartic acid and iodide ion on corrosion inhibition of mild steel in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>," *Corrosion Science*, c. 75, ss. 184–192, 2013.
- [62] R. A. Cottis, "The significance of electrochemical noise measurements on asymmetric electrodes," *Electrochimica Acta*, c. 52, ss. 7585-7589, 2007.
- [63] H. Gerengi, "Anticorrosive properties of Date palm (*Phoenix dactyliflora* L.) fruit juice on 7075 type aluminum alloy in 3.5% NaCl solution," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, c. 51, ss. 12835–12843, 2012.

- [64] H. Gerengi, K. Schaefer ve H. I. Şahin, "Corrosion-inhibiting effect of Mimosa extract on brass-MM55 corrosion in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> acidic media,". Schweitzer, *Fundamentals of Metallic Corrosion*, 2. baskı. London, İngiltere: CRC Press, 2007, ss. 78-79.
- [42] H. Gerengi ve G. Bereket, "Adsorption and inhibition effect of benzotriazole on brass-118 and brass-MM55 in seawater," *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, c. 48, ss. 361, 2012.
- [43] C. Verma, M. A. Quraishi, E. E. Ebenso, I. B. Ibot ve A. El Assyry, "3-Amino alkylated indoles as corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl: Experimental and theoretical studies," *Journal of Molecular Liquids*, c. 219, ss. 647–660, 2016.
- [44] E. E. Oguzie, Y. Li, S. G. Wang ve F. Wang, "Understanding corrosion inhibition mechanisms-experimental and theoretical approach," *Royal Society of Chemistry*, c. 1, ss. 866–873, 2011.
- [45] R. Cui, N. Gu ve C. Li, "Polyaspartic acid as a green corrosion inhibitor for carbon steel," *Materials and Corrosion*, c. 62, ss. 362–369, 2011.
- [46] A. K. Singh ve A. K. Gupta, "Metalworking fluids from vegetable oils," *Journal of Synthetic Lubrication*, c. 23, ss. 167-176, 2006.
- [47] J. He, D. Sirois, S. Lib, M. Sullivan, C. Wikle ve B. A. Chin, "Ballistic impact *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, c. 18, ss. 2204, 2012.
- [65] M. M. Solomon, H. Gerengi ve S. A. Umoren, "Carboxymethyl cellulose/silver nanoparticles composite: Synthesis, characterization and application as a benign corrosion inhibitor for St37 steel in 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> medium," *ACS Applied Materials & Interfaces*, c. 9, ss. 6376–6389, 2017.
- [66] A. D. Mercer, *Corrosion Inhibition: Principles and Practice*, Oxford, İngiltere: Butterworths Heinemann, 1994, ss. 56-88
- [67] S. K. Sharma, *Front Matter, in Green Corrosion Chemistry and Engineering: Opportunities and Challenges*, Weinheim, Almanya: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011, ss. 52-66.
- [68] R. G. Kelly, R. Scully, D. W. Shoesmith ve R. G. Buchheit, *Electrochemical Techniques in Corrosion Science and Engineering*, NewYork, Amerika: Marcel Dekker press, 2002, ss. 16-88.
- [69] Y. Liu ve Y.F. Cheng, "Characterization of passivity and pitting corrosion of 3003 aluminum alloy in ethylene glycol–water solutions," *Journal of Applied Electrochemistry*, c. 41, ss. 151–159, 2011.
- [70] M. M. Solomon ve S. A. Umoren, "Performance evaluation of poly (methacrylic acid) as corrosion inhibitor in the presence of iodide ions for mild steel in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution," *Journal of Adhesion Science and Technology*, c. 29, ss. 1060-1080, 2015.
- [71] Z. Szlarska-Smialowska "Crevice corrosion of stainless steels in sodium chloride solution," *Corrosion Science*, c.18, ss. 953-960, 1978.
- [72] M. M. Solomon, S.A. Umoren, I.I. Udoso, ve A.P. Udoh, "Inhibitive and adsorption behaviour of carboxymethyl cellulose on mild steel corrosion in sulphuric acid solution," *Corrosion Science*, c. 52, ss. 1317–1325, 2010.

- [73] F. Bentiss, M. Bouanis, B. Mernari, M. Traisnel ve M. Lagrenee, "Effect of iodide ions on corrosion inhibition of mild steel by 3,5-bis(4-methylthiophenyl)-4H-1,2,4-triazole in sulfuric acid solution," *Journal of Applied Electrochemistry*, c. 32, ss. 671-678, 2002.
- [74] Z. V. P. Murthy ve K. Vijayaragavan, "Mild steel corrosion inhibition by acid extract of leaves of Hibiscus sabdariffa as a green corrosion inhibitor and sorption behavior," *Green Chemistry Letters and Reviews*, c. 7, ss. 209-219, 2014.
- [75] L. Liu, X. Luo, L. Ding ve S. Luo, "Application of Nanotechnology in the Removal of Heavy Metal From Water," *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*, c. 1, ss. 83-147, 2019.
- [76] A. A. Inyinbor, F. A. Adekola ve G. A. Olatunji, "Kinetics, isotherms and thermodynamic modeling of liquid phase adsorption of Rhodamine B dye onto *Raphia hookeri* fruit epicarp," *Water Resources and Industry*, c. 15, ss. 14-27, 2016.
- [77] L. Alfia, R. Salghi, L. Bammou, Lh. Bazzi, B. Hammouti ve L. Bazzi, "Application of Argan plant extract as green corrosion inhibitor for steel in 1 mol/L HCl," *Acta Metallurgica Sinica*, c. 25, ss. 10-18, 2012.
- [78] L. Tang, M. Guannan, ve L. Guangheng, "The effect of neutral red on the corrosion inhibition of cold-rolled steel in 1 M HCl acid," *Corrosion Science*, c. 45, ss. 2251–2262, 2003.
- [79] S. Shabanian, F. Ashrafizadeh, N. Saeidi ve A. Ashrafi, "Failure analysis of carbon steel components in a water bath heater and the influence of ethylene glycol concentration," *Engineering Failure Analysis*, c. 66, ss. 533–543, 2016.
- [80] P. B. Raja ve M. G. Sethuraman, "Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media - A review," *Materials Letters*, c. 62, ss. 113–116, 2008.
- [81] H. Schiff, "Untersuchungen über salicinderivate," *Annalen der Chemie*, c.150, ss. 193-200, 1869.
- [82] S. Patai, *Chemistry of the Carbon-Nitrogen Double Bond*, Newyork, USA: Wiley, 1970, ss. 238-47.
- [83] A. Kapila, M. Kaur ve H. Kaur, "Organotin(IV) complexes of tridentate (O,N,O) Schiff base ligand: computational, spectroscopic and biological studies," *Materialstoday Proceeding*, Basımda.
- [84] D. D. Patel ve K. R. Patel, "Ni(II) and Zn(II) Schiff base complexes: Synthesis, characterization and study of thermodynamic parameters and activation energy," *Materialstoday Proceeding*, Basımda.
- [85] F. Kolcu, D. Erdener ve İ. Kaya, "A Schiff base based on triphenylamine and thiophene moieties as a fluorescent sensor for Cr (III) ions: Synthesis, characterization and fluorescent applications," *Inorganica Chimica Acta*, c. 509, ss. 11-19, 2020.
- [86] M. Behpour, S.M. Ghoreishi, N. Mohammadi, N. Soltani ve M. Salavati-Niasari, "Investigation of some Schiff base compounds containing disulfide bond as HCl corrosion inhibitors for mild steel," *Corrosion Science*, c. 52, ss. 4046-4057, 2010.
- [87] T. K. Chaitra, K. N. S. Mohana ve H. C. Tandon, "Thermodynamic, electrochemical

- and quantum chemical evaluation of some triazole Schiff bases as mild steel corrosion inhibitors in acid media," *Journal of Molecular Liquids*, c. 211, ss. 1026-1038, 2015.
- [88] P.M. Dasami, K. Parameswari ve S. Chitra, "Corrosion inhibition of mild steel in 1M $H_2SO_4$  by thiadiazole Schiff bases," *Measurement*, c. 69, ss. 195-201, 2015.
- [89] E. E. Elemike, H. U. Nwankwo, D. C. Onwudiwe ve E. C. Hosten, "Synthesis, crystal structures, quantum chemical studies and corrosion inhibition potentials of 4-(((4-ethylphenyl) imino) methyl) phenol and (E)-4-((naphthalen-2-ylimino) methyl) phenol Schiff bases," *Journal of Molecular Structure*, c. 1141, ss. 12-22, 2017.
- [90] S. R. Gupta, P. Mourya, M. M. Singh ve V. P. Singh, "Synthesis, structural, electrochemical and corrosion inhibition properties of two new ferrocene Schiff bases derived from hydrazides," *Journal of Organometallic Chemistry*, c. 767, ss. 136-143, 2014.
- [91] N. K. Gupta, C. Verme, M. A. Quraishi ve A. K. Mukherjee, "Schiff's bases derived from L-lysine and aromatic aldehydes as green corrosion inhibitors for mild steel: Experimental and theoretical studies," *Journal of Molecular Liquids*, c. 215, ss. 47-57, 2016.
- [92] N. Z. N. Hashim, E. H. Anouar, K. Kassim, H. M. Zaki, A. I. Alharthi ve Z. Embong, "XPS and DFT investigations of corrosion inhibition of substituted benzylidene Schiff bases on mild steel in hydrochloric acid," *Applied Surface Science*, c. 476, ss. 861-877, 2019.
- [93] S. Shahabi, S. Hamidi, J. B. Ghasemi, P. Norouzi ve A. Shakeri, " Synthesis, experimental, quantum chemical and molecular dynamics study of carbon steel corrosion inhibition effect of two Schiff bases in HCl solution," *Journal of Molecular Liquids*, c. 285, ss. 626-639, 2019.
- [94] S. Vikneshvaran ve S. Velmath, "Adsorption of L-Tryptophan-derived chiral Schiff bases on stainless steel surface for the prevention of corrosion in acidic environment: Experimental, theoretical and surface studies," *Surfaces and Interfaces*, c. 6, ss. 134-142, 2017.
- [95] M. Prajila, P. Rugmini Ammal ve Abraham Joseph, "Comparative studies on the corrosion inhibition characteristics of three different triazine based Schiff's bases, HMMT, DHMMT and MHMMT, for mild steel exposed in sulfuric acid," *Egyptian Journal of Petroleum*, c. 27, ss. 467-475, 2018.
- [96] Q. H. Zhang, B. S. Hou, N. Xu, W. Xiong, H. F. Liu ve G. A. Zhang " Effective inhibition on the corrosion of X65 carbon steel in the oilfield produced water by two Schiff bases," *Journal of Molecular Liquids*, c. 285, ss. 223-236, 2019.
- [97] C. Monticelli, A. Balbo, J. Esvan, C. Chiavari, C. Martini, F. Zanotto, L. Marvelli ve L. Robbiola, " Evaluation of 2-(salicylideneimino) thiophenol and other Schiff bases as bronze corrosion inhibitors by electrochemical techniques and surface analysis," *Corrosion Science*, c. 148, ss. 144-158, 2019.
- [98] M. Murmu, S. K. Saha, N. C. Murmu ve P. Banerjee, "Effect of stereochemical conformation into the corrosion inhibitive behaviour of double azomethine based Schiff bases on mild steel surface in 1 mol L<sup>-1</sup> HCl medium: An experimental, density functional theory and molecular dynamics simulation study," *Corrosion*

*Science*, c. 146, ss. 134-151, 2019.

- [99] C. B. P. Kumar ve K. N. Mohana, "Corrosion inhibition efficiency and adsorption characteristics of some Schiff bases at mild steel/hydrochloric acid interface," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, c. 45, ss. 1031-1042, 2014.
- [100] B. Kumar, J. Kuntail, D. K. Verma, R. B. Rastogi ve I. Sinha, "Mechanism of triboactivity of Schiff bases: Experimental and molecular dynamics simulations studies," *Journal of Molecular Liquids*, c. 289, ss. 111-120, 2019.
- [101] M. Prajila ve A. Joseph, "Inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric using three different 1,2,4-triazole Schiff's bases: A comparative study of electrochemical, theoretical and spectroscopic results," *Journal of Molecular Liquids*, c. 241, ss. 1-8, 2017.
- [102] S. Nabatipour, S. Mohammadi ve A. Mohammadi, "Synthesis and comparison of two chromone based Schiff bases containing methoxy and acetamido substitutes as highly sustainable corrosion inhibitors for steel in hydrochloric acid," *Journal of Molecular Structure*, c. 1217, ss. 128-137, 2020.
- [103] M. Stern ve A. L. Geary, "Electrochemical polarization: I. a theoretical analysis of the shape of polarization curves," *Journal of the Electrochemical Society*, c. 104, ss. 56-63, 1957.
- [104] Van Loon Chemical Innovations (2018, 25 Mayıs). *Corrosion Testing via Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*. [Online]. Erişim: <https://vici.biz/corrosion-testing-via-electrochemical-impedance-eis>.
- [105] J. Tibhe, Y. Sharma, R. A. Joshi, R. R. Joshi ve A. A. Kulkarni, "Discontinuous two step flow synthesis of m-aminoacetophenone," *Green Processing and Synthesis*, c. 3, ss. 279-285, 2014.
- [106] A.Z. El-Sonbati, M. A. Diab, A. A. El-Bindary ve S. M. Morgan "Supramolecular coordination and antimicrobial activities of constructed mixed ligand complexes," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, c. 104, ss. 213–221, 2014.
- [107] H. Gerengi, M. M. Solomon, M. Kurtay, G. Bereket, K. Göksen, M. Yıldız ve E. Kaya, "Electrochemical and morphological assessments of inhibition level of 8-hydroxyquinoline for AA2024-T4 alloy in 3.5% NaCl solution," *Journal of Adhesion Science and Technology*, c. 32, ss. 207-223, 2017.
- [108] M. Yadav, L. Gope, N. Kumari ve P. Yadav, "Corrosion inhibition performance of pyranopyrazole derivatives for mildsteel in HCl solution: Gravimetric, electrochemical and DFT studies," *Journal of Molecular Liquids*, c. 216, ss. 78–86, 2016.
- [109] Y. Sasikumar, A. S. Adekunle, L. O. Olasunkanmi, I. Bahadur, R. Baskar, M. M. Kabanda, I. B. Obot ve E. E. Ebenso, "Experimental, quantum chemical and Monte Carlo simulation studies on the corrosion inhibition of some alkyl imidazolium ionic liquids containing tetrafluoroborate anion on mild steel in acidic medium," *Journal of Molecular Liquids*, c. 211, ss. 105–118, 2015.
- [110] S. A. Umoren, M. M. Solomon, U. M. Eduok, I. B. Obot ve A. U. Israel, "Inhibition of mild steel corrosion in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution by coconut coir dust extract obtained from different solvent systems and synergistic effect of iodide ions: Ethanol and

- acetone extracts,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, c. 2, ss. 1048–1060, 2014.
- [111] E. S. M. Sherif ve A. H. Ahmed, “Synthesizing new hydrazone derivatives and studying their effects on the inhibition of copper corrosion in sodium chloride solutions,” *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, c. 40, ss. 365–372, 2010.
- [112] J. Y. Sha, H. H. Ge, C. Wan, L. Wang, S. Qie, X. Meng ve Y. Zhao, "Corrosion inhibition behaviour of sodium dodecylbenzene sulphonate for brass in an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid and simulated cooling water," *Corrosion Science*, c. 148, ss. 123–133, 2019.
- [113] M. A. Migahed, ve I. F. Nassar, "Corrosion inhibition of tubing steel during acidization of oil and gas wells," *Electrochimica Acta*, c. 53, ss. 2877–2882, 2008.
- [114] A. Chaouiki, H. Lgaz, R. Salghi, M. Chafiq, H. Oudda, Shubhalaxmi, K. S. Bhat, I. Cretescu, I. H. Ali, R. Marzouki ve I. M. Chung, “Assessing the impact of electron-donating substituted chalcones on inhibition of mild steel corrosion in HCl solution: Experimental results and molecular-level insights,” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, c. 588 ss. 124-134, 2020.
- [115] M. M. Solomon, H. Gerengi, T. Kaya, E. Kaya ve S. A. Umoren, “Synergistic inhibition of St37 steel corrosion in 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution by chitosan and iodide ion additives,” *Cellulose*, c. 24, ss. 931-950, 2017.
- [116] S. A. Haladu, S. A. Umoren, S. A. Ali, M. M. Solomon, A. R. I. Mohammed, “Synthesis, characterization and electrochemical evaluation of anticorrosion property of a tetrapolymer for carbon steel in strong acid media,” *Chinese Journal of Chemical Engineering*, c. 27, ss. 965-978, 2019.
- [117] E. E. Oguzie, “Corrosion inhibition of aluminium in acidic and alkaline media by *Sansevieria trifasciata* extract,” *Corrosion Science*, c. 49, ss. 1527–1539, 2007.
- [118] R. Solmaz, G. Kardaş, M. Çulha, B Yazıcı ve M Erbil, “Investigation of adsorption and inhibitive effect of 2-mercaptothiazoline on corrosion of mild steel in hydrochloric acid media,” *Electrochimica Acta*, c. 53, ss. 5941–5952, 2008.
- [119] A. A. Frag ve M. A. Hegazy, “Synergistic inhibition effect of potassium iodide and novel Schiff bases on X65 steel corrosion in 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,” *Corrosion Science*, c. 74, ss. 168–177, 2013.
- [120] E. Ituen, O. Akaranta ve A. James, “Corrosion inhibition characteristics of 2-[(E)-[5- methoxy-1-[4-(trifluoromethyl)phenyl]pentylidene]amino]oxyethanamine on steel in simulated oilfield acidizing solution,” *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, c. 31, ss. 91–199, 2019.
- [121] S. A. Ali, Z. El-Sharif ve A. M. Z. El-Sharif, “Novel class of bisquaternary ammonium salts in inhibition of mild steel corrosion in HCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,” *Corrosion Engineering, Science and Technology*, c. 47, ss. 265-271, 2012.
- [122] J. Du, J. Guo, L. Zhao, Y. Chen, C. Liu ve X. Meng, "Corrosion inhibition of N80 steel simulated in an oil field acidification environment," *International Journal of Electrochemical Science*, c. 13, ss. 5810-5823, 2018.
- [123] M. M. Solomon, S. A. Umoren, M. A. Quraishi ve M. A. J. Mazumder, "Corrosion inhibition of N80 steel in simulated acidizing environment by N-(2-(2-pentadecyl-

4,5-dihydro-1H-imidazol-1-yl) ethyl) palmitamide," *Journal of Molecular Liquids*, c. 273, ss. 476-487, 2019.

[124] A. Singh ve M. A. Quraishi, "Acidizing Corrosion Inhibitors: A Review," *Journal of Material Environment Science*, c. 6, ss. 224–235, 2015.



# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hatice Aslıhan AKBAL TÜYSÜZ

Yabancı Dili : İngilizce

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Kompozit Malzeme Teknolojileri	Düzce Üniversitesi	2021
Lisans	Kimya Mühendisliği	Anadolu Üniversitesi	2004

## Görev Aldığı Projeler

1. Proje Araştırmacısı (2019-2020); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), “Asidik Ortamda  $C_{19}H_{18}N_4O_3$  Schiff Bazının Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılma Potansiyelinin Araştırılması” (Proje No:2019.06.05.941)

## SCI Yayınlar:

1. Husnu Gerengi, Resit Cakmak, Besir Dag, Moses M. Solomon, Hatice Aslıhan Akbal Tuysuz & Ertugrul Kaya (2020): Synthesis and anticorrosion studies of 4-[(2-nitroacetophenonylidene)-amino]-antipyrine on SAE 1012 carbon steel in 15wt.% HCl solution, Journal of Adhesion Science and Technology, DOI: 10.1080/01694243.2020.1766400