



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

**BOR İÇEREN İYONİK SIVILARIN KOROZYON İNHİBİTÖRÜ
OLARAK KULLANILMASI**

MESUT YILDIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HÜSNÜ GERENGİ**

DÜZCE, 2017

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOR İÇEREN İYONİK SIVILARIN KOROZYON İNHİBİTÖRÜ
OLARAK KULLANILMASI

Mesut YILDIZ 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

Doç. Dr. Hüsnü GERENGİ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Hüsnü GERENGİ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Ender Gökhan GECE

Bursa Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ümit ERGUN

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 06/07/2017

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.

06 Temmuz 2017



Mesut YILDIZ



Sevgili Aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanması süresince bilgisini benden esirgemeyen gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Hüsnü GERENGİ'ye en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarımızda bize cihaz ve yazılım desteği sağlayan Prof. Dr. Kazimierz DAROWICKI ve Dr. Pawel SLEPSKI'ye, deneyler esnasında 6 ay beraber çalıştığımız değerli arkadaşım Michal MIELNICZEK'e ve 1 sene beraber çalıştığımız Dr. Moses Monday SOLOMON'a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince ilgi ve içtenliği ile beni destekleyen Sayın Prof. Dr. İlyas UYGUR'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen çok sevgili ve değerli arkadaşlarım Mine KURTAY ve Ertuğrul KAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bütün sıkıntılarımı, sevinçlerimi benimle paylaşan, beni her durum ve koşulda destekleyen, yanımda olan, bana güç ve sabır veren Sevgili Aileme ve Sevgili Arkadaşlarıma teşekkürlerimle birlikte sevgilerimi de sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2016.06.05.492 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ve 114M933 numaralı TUBİTAK projesi ile desteklenmiş ve Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Korozyon Araştırma Laboratuvarı'nda yürütülmüştür.

06 Temmuz 2017

Mesut YILDIZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
ÇİZELGE LİSTESİ	X
KISALTMALAR.....	XI
SİMGELER.....	XII
ÖZET.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. ÇELİK.....	2
1.2. BOR.....	4
1.2.1. Borun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	6
1.3. KOROZYON.....	6
1.4. İNHİBİTÖRLER	7
1.4.1. Katodik İnhibitörler.....	9
1.4.2. Anodik İnhibitörler	9
1.4.3. Karma İnhibitörler	10
1.5. İYONİK SIVILAR.....	10
1.5.1. Katyonik Bor Türevleri	13
1.5.1.1. Boronyum Katyonları	13
1.5.2. Katyonik Bor İçeren İyonik Sıvılar	14
1.6. ADSORPSİYON VE ADSORPSİYON İZOTERMLERİ.....	15
1.7. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	17
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
2. 1. METOT.....	21
2.1.1. Kullanılan Korozyon Belirleme Yöntemleri.....	21
2.1.1.1. Tafel Ekstra Polarizasyon Yöntemi (TP).....	21
2.1.1.2. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS).....	22
2.1.1.3. Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS).....	24
2.1.2. Yüzey Analizi.....	25
2.1.2.1. SEM EDS Analizi.....	25

2.1.2.2. FTIR Analizi	26
2. 2. MATERYAL	27
2.2.1. Kullanılan Kimyasallar	27
2.1.2. Çalışma Elektrotlarının Hazırlanması	27
2.1.3. Deneylerin Yapılışı	28
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	31
3.1. EMITFB’NİN İNHİBİTÖR ETKİSİNİN ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ	31
3.1.1 Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS)	31
3.1.2. Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)	33
3.1.3. Tafel Ekstra Polarizasyon (TP).....	37
3.2. BMPTFB’NİN İNHİBİTÖR ETKİSİNİN ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ	38
3.2.1 Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS)	38
3.2.2. Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)	40
3.2.3. Tafel Ekstra Polarizasyon (TP).....	42
3.3. YÜZEY ANALİZİ	44
3.3.1. SEM EDS Analizi	44
3.3.1.1. EMITFB’nin SEM EDS Analizi	44
3.3.1.2. BMPTFB’nin SEM EDS Analizi	47
3.3.2. FTIR Analizi	49
3.3.2.1. EMITFB İçin FTIR Analizi	49
3.3.2.2. BMPTFB İçin FTIR Analizi	50
3.4. ADSORPSİYON İZOTERMİ VE TERMODİNAMİK PARAMETRELER ..	51
3.4.1. EMITFB İçin Adsorpsiyon İzotermi Hesaplaması	51
3.4.2. BMPTFB İçin Adsorpsiyon İzotermi Hesaplaması	53
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	56
5. KAYNAKLAR.....	58
6. EKLER	65
6.1. BU TEZDEN YAPILAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR	65
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Demirin çeşitli elementlerle alaşımlandırılması	2
Şekil 1.2. Düşük karbon çeliğinin kullanım alanlarına örnek.....	3
Şekil 1.3. Çeliğin sektörde kullanım alanları	3
Şekil 1.4. Çeliğin sınıflandırılması	4
Şekil 1.5. Dünyadaki bor rezervinin ülkelere göre payları	5
Şekil 1.6. İyonik sıvıların korozyon inhibitörü olarak Science direct veri tabanında 1950-2016 yıllarında yapılan yayınlar	9
Şekil 1.7. Sciencedirect bilimsel makale tarama motorunda “ionic liquids” anahtar kelimesiyle tarama yapıldığında çıkan sonuç.....	11
Şekil 1.8. İyonik sıvıların kullanım alanları	12
Şekil 1.9. Borun katyonik formlarının genel gösterimi	13
Şekil 1.10. Davis’in çalışmasına ait iyonik sıvı örneğinin şekil gösterimi.....	14
Şekil 1.11. Bor katyonundan iyonik sıvı elde edilmesinin aşamalı sentez şeması	14
Şekil 1.12. Adsorpsiyon türleri	15
Şekil 1.13. İnhibitörün metal yüzeyine adsorpsiyonu.....	16
Şekil 2.1. Kullanılan elektrokimyasal korozyon ölçme yöntemleri.....	21
Şekil 2.2. Korozyon akımı ve korozyon potansiyelinin TP yöntemi ile hesaplanması ..	22
Şekil 2.3. Z_{im} ve Z_{Re} arasındaki ilişkiden empedansın (Z) bulunması	23
Şekil 2.4. DEIS çalışma sistemi.....	25
Şekil 2.5. SEM EDS analiz cihazı	26
Şekil 2.6. FTIR cihazı	26
Şekil 2.7. Kullanılan bileşiklerin kimyasal yapıları (a) EMITFB, (b) BMPTFB	27
Şekil 2.8. Deneyde kullanılan elektrotların hazırlanış şekli	28
Şekil 2.9. Elektrokimyasal deneylerin yapıldığı ortamlar	28
Şekil 2.10. Çalışma elektrotu, Pt elektrot ve Ag/AgCl referans elektrot.....	29
Şekil 2.11. Deney düzeneği	29
Şekil 2.12. DEIS deney düzeneği [(1) Ag/AgCl referans elektrot, (2) çalışma elektrotu, (3) Pt elektrot]	30
Şekil 3.1. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin EMITFB ilavesi ile elde edilen Nyquist diyagramları.....	31
Şekil 3.2. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin EMITFB ilavesi ile elde edilen Bode-Angle diyagramları	32
Şekil 3.3. $R(QR)$ devresi	32
Şekil 3.4. St37 metalinin DEIS sonucu elde edilen 3D grafikleri (a) 0.1 M HCl, (b) 0.1 M HCl + 1 mM EMITFB, (c) 0.1 M HCl + 2 mM EMITFB, (d) 0.1 M HCl + 3 mM EMITFB, (e) 0.1 M HCl + 4 mM EMITFB	34
Şekil 3.5. DEIS yöntemi ile elde edilen R_{ct} değerinin zamana bağlı değişimi.....	36
Şekil 3.6. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin EMITFB ilavesi ile elde edilen TP eğrileri	37

Şekil 3.7. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin BMPTFB ilavesi ile elde edilen Nyquist diyagramları.....	39
Şekil 3.8. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin BMPTFB ilavesi ile elde edilen Bode-Angle diyagramları.....	39
Şekil 3.9. St37 metalinin DEIS sonucu elde edilen 3D grafikleri (a) 0.1 M HCl, (b) 0.1 M HCl + 4 mM BMPTFB	41
Şekil 3.10. DEIS yöntemi ile elde edilen R_{ct} değerinin zamana bağlı değişimi.....	42
Şekil 3.11. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin BMPTFB ilavesi ile elde edilen TP eğrileri.....	43
Şekil 3.12. TP yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a); deney öncesi, (b); 0.1 M HCl, (c); 0.1 M HCl + 1 mM EMITFB, (d); 0.1 M HCl + 2 mM EMITFB, (e); 0.1 M HCl + 3 mM EMITFB, (f); 0.1 M HCl + 4 mM EMITFB.....	44
Şekil 3.13. TP yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a); deney öncesi, (b); 0.1 M HCl, (c); 0.1 M HCl + 1 mM BMPTFB, (d); 0.1 M HCl + 2 mM BMPTFB, (e); 0.1 M HCl + 3 mM BMPTFB, (f); 0.1 M HCl + 4 mM BMPTFB.....	47
Şekil 3.14. EMITFB ve metal yüzeyinden alınan filme ait FTIR spektrumu.....	50
Şekil 3.15. BMPTFB ve metal yüzeyinden alınan filme ait FTIR spektrumu.....	51
Şekil 3.16. EMITFB ilaveli 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metali için elde edilen Freundlich adsorpsiyon izotermi grafiği	52
Şekil 3.17. BMPTFB ilaveli 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metali için elde edilen Langmuir adsorpsiyon izotermi grafiği.....	54
Şekil 3.18. BMPTFB ilaveli 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metali için elde edilen El-Awady adsorpsiyon izotermi grafiği	54

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Bor elementine ait özellikler.....	6
Çizelge 1.2. Çeşitli inhibitörlerin bazı metaller üzerine etkinliği.....	8
Çizelge 2.1. “n” değerinin EIS yöntemindeki anlamı.....	24
Çizelge 2.2. Düşük karbon çeliğinin kimyasal bileşimi (Kütlece %).....	27
Çizelge 3.1. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin EMITFB ilavesi ile elde edilen EIS sonuçları	33
Çizelge 3.2. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin EMITFB ilavesi ile elde edilen DEIS sonuçları	36
Çizelge 3.3. İnhibitörlü ve inhibitörsüz 0.1 M HCl ortamında St37 metali için elde edilen TP sonuçları.....	38
Çizelge 3.4. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin BMPTFB ilavesi ile elde edilen EIS sonuçları	40
Çizelge 3.5. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin BMPTFB ilavesi ile elde edilen DEIS sonuçları	41
Çizelge 3.6. İnhibitörlü ve inhibitörsüz 0.1 M HCl ortamında St37 metali için elde edilen TP sonuçları.....	43
Çizelge 3.7. EMITFB bileşiğine ait FTIR analiz sonuçları	50
Çizelge 3.8. BMPTFB bileşiğine ait FTIR analiz sonuçları	51
Çizelge 3.9. Freundlich adsorpsiyon izoterminden elde edilen parametreler.....	53
Çizelge 3.10. Langmuir ve El-Awady adsorpsiyon izoterminden elde edilen parametreler.....	55

KISALTMALAR

BMPTFB	1-bütil-1-metilpiperidinyum tetrafloroborat
DEIS	Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
EDS	Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi
EIS	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
EMITFB	1-etil-3-metilimidazolyum tetrafloroborat
FTIR	Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektrofotometre
HCl	Hidroklorik Asit
LC-MS	Sıvı Kromatografi Kütle Spektrometresi
NMR	Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	Termogravimetrik Analiz
TP	Tafel Ekstra Polarizasyon
XRD	X-Işını Difraktometresi

SİMGELER

Ω	Ohm
β_a	Anodik Tafel Sabiti (mv/dec)
β_c	Katodik Tafel Sabiti (mv/dec)
μA	Mikroamper
mV	Milivolt
n	Pürüzlülük Faktörü
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 (Ω)
Z_{im}	Hayali Empedans
Z_{re}	Gerçek Empedans
X^2	Ki-Kare
% IE	Yüzde İnhibitör Etkinliği
Q	Sabit Faz Elemanı
mM	Milimolar
θ	Yüzey Kaplanma Derecesi
K_{ads}	Adsorpsiyon Katsayısı
ΔG^0_{ads}	Gibbs Serbest Enerjisi
T	Mutlak Sıcaklık
R	Molar Gaz Sabiti

ÖZET

BOR İÇEREN İYONİK SIVILARIN KOROZYON İNHİBİTÖRÜ OLARAK KULLANILMASI

Mesut YILDIZ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hüsnü GERENGİ

Temmuz 2017, 65 sayfa

Korozyon inhibitörleri, ortama az miktarda eklendiğinde metalin bulunduğu ortam ile tepkimesini azaltan ya da önleyen kimyasal maddelerdir. İnhibitörlerin etkin bir şekilde kullanılması için ekonomik olması, çevre ve insan sağlığına zarar vermemesi istenmektedir. Bu istemler; çevre dostu ve ekonomik inhibitörlerin bulunması çalışmalarının önemini arttırmaktadır. İyonik sıvılar oda sıcaklığı ve daha düşük sıcaklıklarda sıvı halde olup katyonik kısmı genellikle organik bazlı olan tuzlardır. İyonik sıvılar yüksek polariteye, düşük buhar basıncına sahip ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Bu özelliklerinden dolayı iyonik sıvılar birçok reaksiyonda gerek çözücü gerekse katalizör olarak defalarca kullanılabilen ve ayrıca reaksiyon ortamından kolaylıkla atık bırakmadan uzaklaştırılabilmektedir. Bu çalışmada; St37 alaşımının, asidik ortamdaki korozyon mekanizmasına bor içeren iyonik sıvıların [1-etil-3-metilimidazolyum tetrafloroborat (EMITFB) ve 1-bütill-1-metilpiperidinyum tetrafloroborat (BMPTFB)] korozyon inhibitörü olarak kullanılabilme potansiyeli Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS), Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) ve Tafel Ekstra Polarizasyon (TP) yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Elektrokimyasal ölçümler sonrası kullanılan metal numunelerin yüzey morfolojisindeki değişim Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi (EDS) ile incelenmiş ve uygulanan tüm yöntemlerin sonuçları kıyaslanarak tartışılmıştır. Elde edilen bulgular, çalışılan her iki bor katyonlu iyonik sıvının inhibitör olarak kullanılabilmesini göstermektedir. St37 çeliğinin 0.1 M HCl ortamındaki BMPTFB ve EMITFB kullanılmasına bağlı olarak hesaplanan inhibitör etkinliği (%IE) değerleri sırasıyla %87 ve %73'tür. St37 çeliğinin 0.1 M HCl ortamında korozyonuna BMPTFB'nin EMITFB'ye kıyasla yaklaşık %15 daha iyi koruduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Bor katkılı iyonik sıvı, Korozyon, St37

ABSTRACT

USING BORON DOPED IONIC LIQUIDS AS CORROSION INHIBITOR

Mesut YILDIZ

Düzce University

Institute of Science, Department of Composite Material Technologies

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Husnu GERENGI

July 2017, 65 pages

Corrosion inhibitors are chemical substances that, when added in small amounts, reduce or prevent reaction with an environment in which metal is present. It is desirable that inhibitors be economical to use and effective without harming the environment or human health. Consequently, the importance of research into the availability of environmentally friendly and economical inhibitors is evident. Ionic liquids remain liquid at room temperature and lower temperatures and have a cationic component usually consisting of organic-based salts. Ionic liquids exhibit high polarity and low vapor pressure and are resistant to high temperatures. Because of these properties, ionic liquids can be used repeatedly as catalysts or solvents in many reactors and can be easily removed from the reaction environment without leaving waste. This study investigated the potential of using boron-containing ionic liquids [1-ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate (EMITFB) and 1-butyl-1-methylpiperidinium tetrafluoroborate (BMPTFB)] as corrosion inhibitors on the corrosion mechanism of St37 alloy in an acidic environment using Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), Dynamic Electrochemical Impedance Spectroscopy (DEIS) and Tafel Extra Polarization (TP). The change in surface morphology of the metal samples used after electrochemical measurement was investigated via scanning electron microscopy (SEM) and energy diffraction X-Ray spectroscopy (EDS), and the results of all the applied methods were compared and discussed. The findings showed that both boron cationic ionic liquids can be used as inhibitors. The inhibitor activity (% IE) values for St37 steel in a medium of 0.1 M HCl, according to the use of BMPTFB or EMITFB, were 87% and 73%, respectively. It was determined that, for corrosion in the 0.1 M HCl medium, the St37 steel exhibited approximately 15% better retention of the BMPTFB than of the EMITFB.

Keywords: Boron-doped ionic liquid, Corrosion, St37

1. GİRİŞ

Endüstri ve teknoloji geliştikçe, metallerin kullanımının artması beraberinde korozyon problemini ortaya çıkarmaktadır. Metallerin bulundukları ortam ile kimyasal ya da elektrokimyasal etkileşmesi sonucu doğadaki haline dönüşmesi olarak tanımlanan korozyon, özellikle endüstride kendini göstermektedir. Metal ve alaşımların kullanımı devam ettikçe korozyonu önlemeye yönelik çabaların önemi de artmaktadır.

Korozyon ekonomi, sağlık ve güvenlik açısından oldukça önemli bir olaydır. Her yıl üretilen malzemelerin bir kısmı korozyon sebebi ile kullanılamaz hale gelmektedir. Bozulan malzemelerin bir kısmı hurda olarak kullanılabilse de bir kısmı korozyon nedeni ile geri kazanılamamak üzere tabiata geri döner. Tabiata geri dönen malzemeler ortamı kirletir ve korozyon daha da hızlanır. Korozyon sonucu malzemelerde meydana gelen kayıp yeni malzeme üretimi ile atmosfer ve suda oluşan kirliliği artırır. Malzemelerin korozyon sebebi ile kullanılamaz hale gelmeleri yeni malzeme üretiminde harcanan sermaye, emek ve enerji kayıplarına da neden olmaktadır [1]. Bu sebeplerden dolayı korozyon günümüzde en önemli sorunlar arasında yer almaktadır.

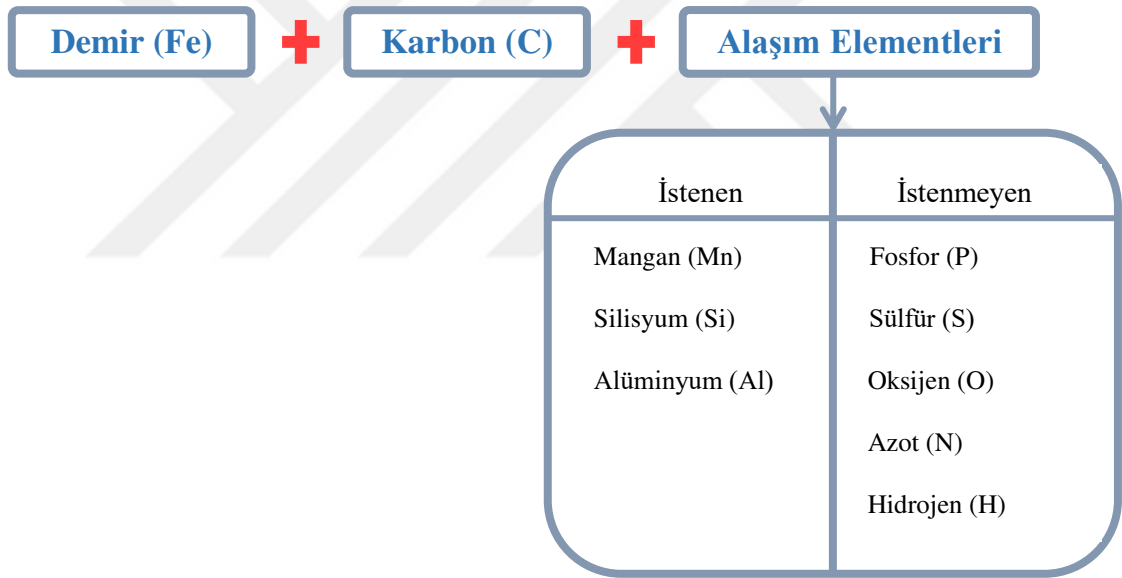
Düşük karbon çelikleri, tüm çelik türleri içinde düşük maliyetlerle elde edildikleri için en çok üretilen ve en geniş kullanım alanına sahip çelik grubunu oluşturmaktadır. Genellikle otomotiv sektöründe araç gövdesi ve parçalarının, çeşitli mühendislik yapılarının, içecek kutularının imalatı, boru hatları, binalar ve köprüler gibi uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [2].

Bu çalışmanın amacı, 0.1 M HCl çözeltisinde özellikle kapalı sistemlerde kullanılan düşük karbon çeliğinde (St37) meydana gelen korozyonu korozyon ölçüm metotlarından Tafel Ekstra Polarizasyon (TP), Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve çalışma elektrotlarında meydana gelen elektrokimyasal değişimleri anlık olarak ölçebildiğimiz Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemlerini kullanarak, bor içeren iyonik sıvıların (1-etil-3-metilimidazolyum tetrafloroborat (EMITFB) ve 1-bütil-1-metilpiperidinyum tetrafloroborat (BMPTFB)) inhibitör etkisini araştırmaktır. Bu doğrultuda her deneyin sonrasında Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri ve Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS) analizleri yaparak kullanılan metalin korozyon mekanizmasını

aydınlatmaya çalışmak ve çalışma sonunda tercih edilen inhibitörlerin hangisinin kullanılmaya daha uygun olduğunu belirlemektir.

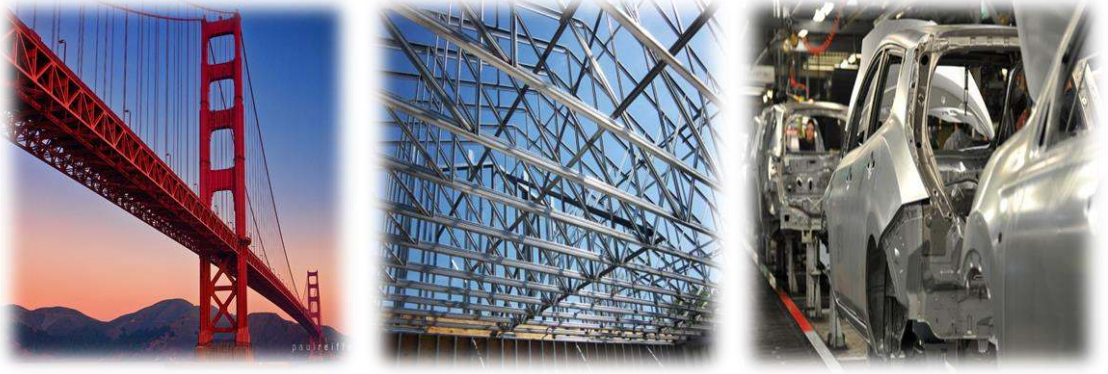
1.1. ÇELİK

Demir oranı içerdiği diğer elementlerden daha fazla olan, genellikle karbon miktarının %0,2 ila %2,1 oranlarına sahip olduğu bileşimden meydana gelen alaşımlara çelik denir. Karbon miktarları, çeliğin sınıflandırılmasında etkin rol oynamaktadır. Demir elementini alaşımlandırmak için karbonun yanı sıra çeşitli elementler de kullanılmaktadır (Şekil 1.1). Kullanılan alaşım elementlerinin değişen miktarları oluşan çelikte sertlik, süneklilik ve gerilme noktası gibi özellikleri etkilemektedir. Örneğin, karbon miktarı yüksek olan çelikler demirden daha sert ve güçlü olmasına rağmen daha gevrektrir.



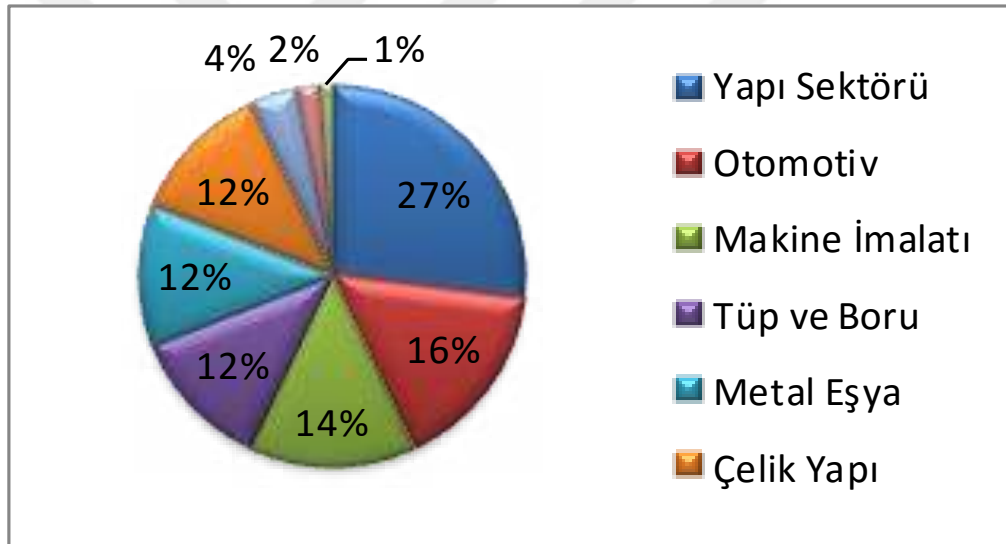
Şekil 1.1. Demirin çeşitli elementlerle alaşımlandırılması.

Endüstride en çok kullanılan metallerden biri olan çelik, kullanım alanının genişliği ve dayanıklılığı nedeniyle son yıllarda büyük önem kazanmıştır (Şekil 1.2).



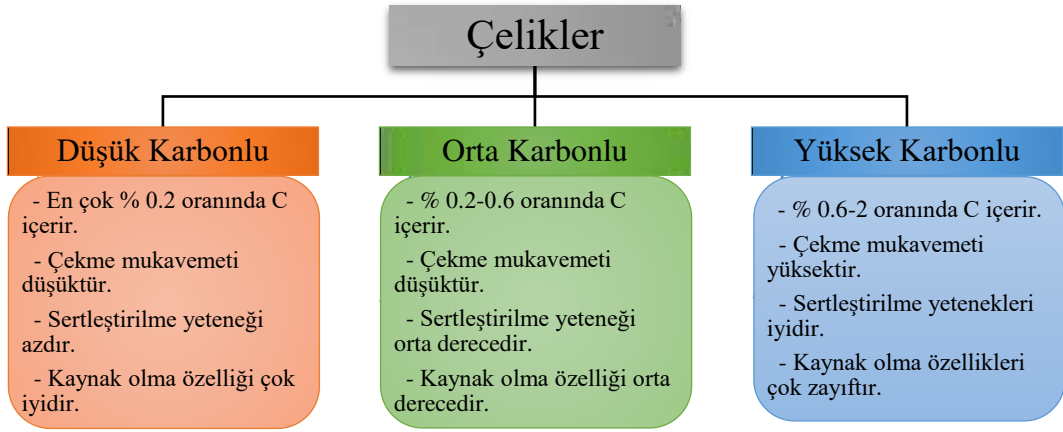
Şekil 1.2. Düşük karbon çeliğinin kullanım alanlarına örnek.

Isıtma kazanları, makine parçaları, petrol taşıma boruları gibi endüstriyel süreçlerde büyük önem taşıyan ekipmanların üretimi ve inşaat sektörü gibi birçok kullanım alanı olan çelik günümüzün en önemli metallerinden biri haline gelmiştir (Şekil 1.3) [3].



Şekil 1.3. Çeliğin sektörde kullanım alanları.

Çeliklerin fiziksel ve mekanik özellikleri, içerdikleri karbon yüzdesine göre değişmektedir. Şekil 1.4'te görüldüğü gibi karbon yüzdelerine göre çelikler üç gruba ayrılmaktadır.



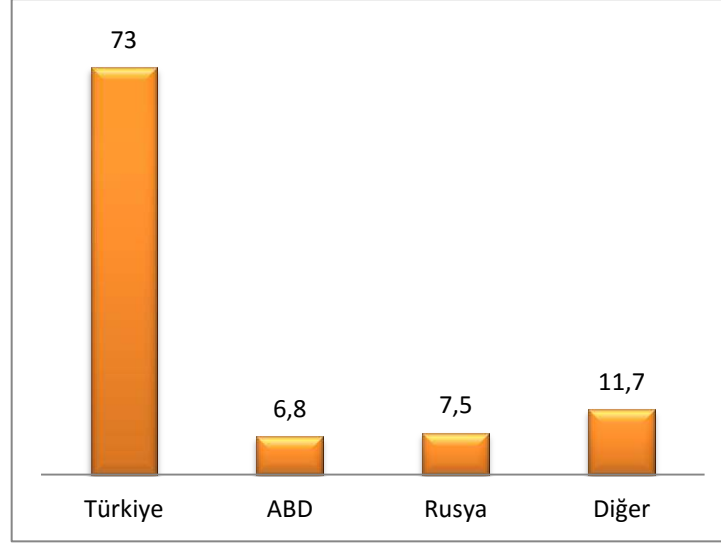
Şekil 1.4. Çeliğin sınıflandırılması.

Mekanik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda yumuşak çelikler olarak da tanımlanan düşük karbon çeliği dünya çelik üretiminin büyük kısmını kapsamaktadır. Bilhassa yassı mamuller ile inşaat sektörü ve temel yapılarda kullanılan çelik çubuk ve profiller düşük karbonlu çelikten üretilmektedir [4].

Avrupa standartlarında S235 çeliği olarak bilinen St37 çeliği, en az 37 kgf/mm² veya 360 MPa çekme dayanımına ve geniş kullanım alanına sahip inşaat çeliği olarak tanımlanmaktadır. Çeliğin kompozisyonunda bulunan C, Mn, Si elementleri başlıca alaşım malzemeleridir. Bileşiminde bulunan C seviyesi düşük olduğundan kaynaklanabilirliği iyi olarak sınıflandırılan malzemedir. Bu yüzden St37 çeliği yapısal uygulamalarda yaygın kullanım alanı bulmaktadır [5].

1.2. BOR

Yerkabuğunda yaygın olarak bulunan bor elementi genellikle doğada borik asit veya borat formunda bulunmaktadır. Doğada serbest halde bulunmayan borun yaklaşık 230 çeşit minerali olduğu bilinmektedir [6]. Dünya'daki önemli bor yatakları Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Rusya'dadır (Şekil 1.5) [7].



Şekil 1.5. Dünyadaki bor rezervinin ülkelere göre payları.

Son yıllarda Türkiye'nin bor ihracatının parasal değeri 220-240 milyon ABD doları arasında olup bu değerde ham bor ve rafine bor ürünlerinin payı yaklaşık yarı yarıyadır [8]. Türkiye ham bor ihracatında dünyada %95'in üzerinde bir paya sahip olup bu özelliği ile ham bor ihracatçısı tek ülke durumundadır [8]. Ekonomik yönden ele alındığında Türkiye'nin zengin bor kaynaklarına sahip bir ülke olması, bu konuda yapılan ve yapılması planlanan araştırmaların önemini daha da artırmaktadır [9].

Günümüzde bor farklı sektörlerde değişik amaçlarla kullanılabilir. Bor; iletken, sürtünme azaltıcı, taşıt yakıtı, hidrojen taşıyıcı, koruyucu gıda katkı maddesi ve ahşap malzemelerde koruyucu olarak kullanılmaktadır. Ayrıca deterjanlarda, sabunlarda, porselenlerde, tarım ilaçlarında, fotoğrafçılıkta, yapıştırıcılarda, briket malzemelerinde, cam ve cam elyafında, kozmetiklerde, güneş enerjisinin depolanmasında, güneş pillerinde, spor malzemelerinde, manyetik cihazlarda, mumyalamada, otomobil hava yastıklarında, hidroliklerde, lehimlemede, kesicilerde, otomobil plastik ve metal aksamalarında, yağlarda, antifrizlerde, ısıya dayanıklı kumaşlarda, yanmayı geciktirici ve önleyici selülozik malzemelerde, izolasyon malzemelerinde, tekstil boyalarında, deri renklendiricilerinde, toz dezenfektanlarda, antiseptiklerde, diş macunlarında, osteoporoz tedavisinde, alerjik hastalıklarda, kemik gelişiminde, menopoz tedavisinde, beyin kanserlerinin tedavisinde, bazı kimyasalların indirgenmesinde, yanmayan ve erimeyen boyalarda, toz beyazlatıcılarda, parlaticılarda, tarım gübrelerinde, insektisitlerde, herbisitlerde ve mıknatıslarda da kullanılabilir [10]-[12].

1.2.1. Borun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bor atomu 3A grubunda bulunan diğer elementlerden daha küçüktür. Metalden çok ametal özelliği gösterir. Bileşikleri ile arasında kovalent bağ yapar, elektrik iletkenliği düşüktür. Ancak sıcaklık yükseltirirse serbest hale geçen elektronların sayısı artacağı için elektriği daha fazla iletir. Bor elementine ait özellikler Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Bor elementine ait özellikler.

Atom numarası	5
Atom kütlesi	10,811 g/mol
Kaynama noktası	2550 °C
Erime noktası	2300 °C
Yoğunluk	2,34 g/cm ³
Termal genleşme katsayısı	0,0000083 1/ °C
Buharlaşma ısısı	489 kJ/mol
Atom yarıçapı	20 pm.
Spesifik ısısı	1,027 J/g.K
Isı kapasitesi	11,087 J/mol.K
Elektriksel iletkenlik	1,0 e-12 106/cm.Ω
Termal iletkenlik	0,274 W/cm.K
Sertlik	9,3 Mohs
Elastik modülü	320/GPa

Saf kristal bor, elmadan sonra en sert element olarak bilinmektedir. Saf bor 2.34 g/cm³, amorf bor ise gri renkli olup 1.73 g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Amorf bor ısıtıldığı zaman 700⁰C’de havada oksijen ile tutuşarak B₂O₃ verir. B₂O₃ borun en önemli bileşiğidir. Zayıf asidik özellik gösterir. Antiseptik özelliği olduğu için göz yıkama suyu olarak kullanılmaktadır [13].

1.3. KOROZYON

Endüstrinin temel malzemesini oluşturan metallerin korozyona karşı dayanımları oldukça düşüktür. Termodinamik yasalarına göre metaller ve alaşımları doğada kararlı halde bulundukları bileşik haline dönme eğilimindedirler. Bu eğilimin sonucu olarak gerçekleşen kimyasal veya elektrokimyasal yollar ile metallerin özelliklerini kaybetmesine korozyon denir [14]. Endüstrinin her bölümünde korozyon olayı ile karşı karşıya kalınmaktadır. Dünya nüfusundaki artışın metal üretimiyle paralellik göstermesi, korozyona uğrayan cihazların bozulması/arızalanması sonucu endüstriyel üretimin yavaşlaması, malzemelerde meydana gelen korozyonun insan sağlığı ve çevre

açısından zararlı olduğunun iyice anlaşılması gibi sebeplerden dolayı korozyon önemi her geçen gün artan bir problemdir [15].

Korozyon engellenemeyen doğal bir süreçtir ve insan yaşamına, ekonomiye, teknolojinin gelişmesine engel olmaktadır. Dünya üzerinde korozyonun maliyeti ülkelerin gayri safi milli gelirlerinin yaklaşık % 3-5 düzeyindedir. Örneğin 2013 verilerine göre çeşitli sektörlerde toplam korozyon maliyeti Avrupa lkelerinde 18.331 Milyon US\$, Amerika’da 16.720 Milyon US\$, in’de 9.330 Milyon US\$, Japonya’da 5.002 Milyon US\$ ve diğer ülkelerde 16.057 Milyon US\$’dır [16].

Metal ile ortamın temas yeri olan ara yüzeyde meydana gelen korozyon, ekonomik yönden her ülkenin büyük kayıplara uğramasına neden olmaktadır. Korozyonun önlenmesinin en önemli nedenlerinden biri de metal fiyatlarındaki artıştır [17]. Bu yüzden korozyona karşı önlemler almak gün geçtikçe daha da önemli hale gelmektedir. Korozyon maliyet bakımından önemli olduğu kadar insan sağlığı için de önemli bir faktördür. Gemi gövdelerinde ki korozyon, ölümcül uçak kazaları, korozyon sonucu dayanımını yitirmiş yapıtların beklenmedik bir zamanda çökmesi, korozyon ürünlerinin, besin maddeleri ve ilaçların içine sızması, kimya endüstrisinde kullanılan tankların korozyonu insan hayatını tehdit eden örneklerdir [18], [19].

Korozyondan korunmak için ortama uygun metal seçimi, ortama inhibitör ilave ederek metal üzerindeki koroziif etkiyi azaltma veya değiştirme, ara yzeeye müdahale ederek metal-ortam ilişkisini kesme, metali yalıtkan bir malzeme ile kaplama, katodik veya anodik koruma gibi yöntemler kullanılmaktadır [20]. Ara yüzey ile ilgili koruma yöntemleri sanayide en yaygın şekilde kullanılan yöntemlerden biridir.

1.4. İNHİBİTÖRLER

Korozyonu nleme çalışmalarında inhibitör uygulamalarının önemi çok büyüktür. İnhibitör olarak kullanılan bileşikler ortama ilave edildiğinde korozyon hızını azaltan maddelerdir. Metal ve alaşımların korozyona karşı korunmasında organik ve inorganik olmak üzere çeşitli korozyon inhibitörleri kullanılmaktadır. İnhibitörler etki ettikleri reaksiyonun türüne bağlı olarak katodik, anodik ve karma inhibitörler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır [21].

Bütün metaller için aynı inhibitörlerin kullanılması mümkün değildir. Bir inhibitör, her sistemde aynı etkinliğe sahip olamayacağı için çalışılan ortamda uygun olup olmayacağı

iyi araştırılmalıdır. Bu nedenle inhibitör cinsi belirlenirken yalnız çözelti ortamı değil, metal cinsi de göz önünde bulundurulmalıdır. Çeşitli inhibitörlerin endüstride yaygın olarak kullanılan metaller için etkinlik dereceleri Çizelge 1.2'de gösterilmektedir [22].

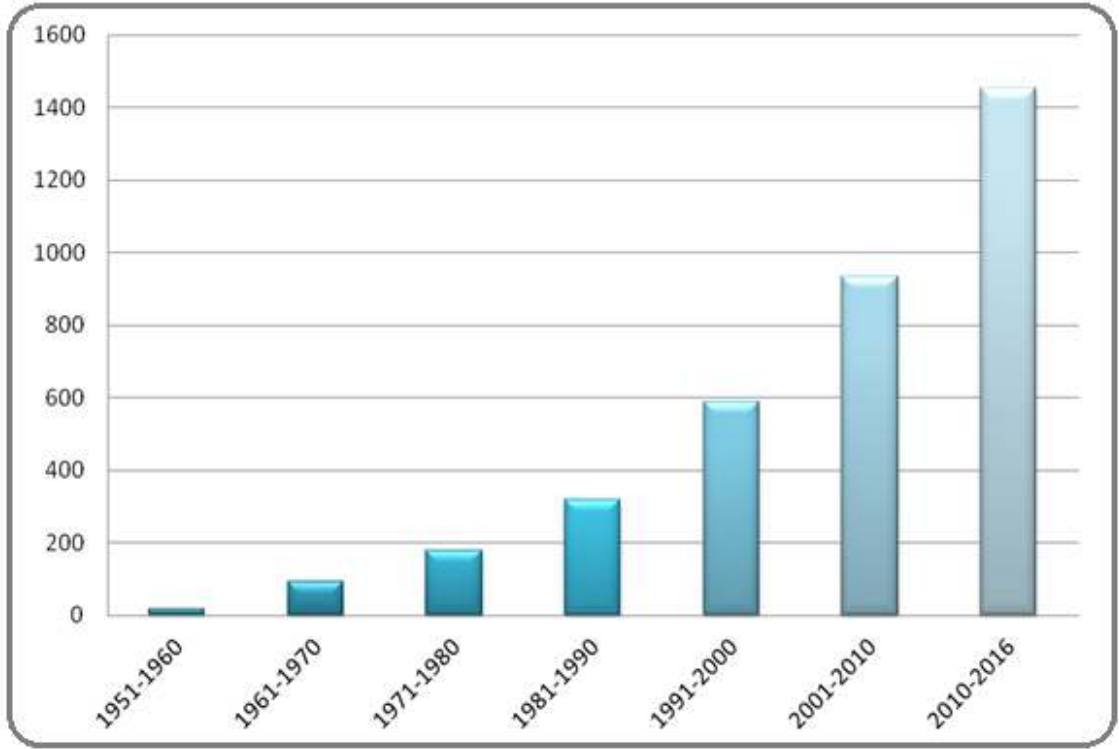
Çizelge 1.2. Çeşitli inhibitörlerin bazı metaller üzerine etkinliği.

Metal cinsi	En Etkili	Az Etkili	Belirsiz	Etkisiz
Çelik	K, N, Be, Bo, F	S	-	-
Demir	K, N, F	S	Bo	Be
Çinko	K, Bo, F	S	-	N, Be
Bakır	K, Bo, F	S, Be, S	-	-
Alüminyum	K	N, Be, S	Bo, F	

(K: Kromat, N: Nitrit, Be: Benzoat, Bo: Borat, F: Fosfat, S: Silikat)

Elde edilen etki ile inhibitörün ekonomik gideri arasında tatmin edici bir ilişki olmalıdır. Yapılan araştırmalar sonucunda, organik molekülün hacmi, aromatik veya konjuge olup olmadığı, fonksiyonel grupların sayısı ve bağ cinsi (σ ve π), metale bağlanma kuvveti, karbon zincirinin uzunluğu ve inhibitörün çözünme oranı gibi faktörlerin inhibitör seçiminde son derece belirleyici olduğu gösterilmiştir [23].

Son zamanlarda kromat esaslı bileşiklerin inhibitör olarak kullanımı toksisite sorunu yüzünden endişe yaratmaktadır. Bu yüzden son on yıl içinde yapılan çalışmalarda korozif sıvılara ilave edilen ekolojik inhibitörler hakkında çalışmalara yoğunlaşılmıştır. “Yeşil inhibitörler” olarak adlandırılan ekolojik inhibitörler, korozyonla mücadelede kullanım alanı hızla artan önemli bir çalışma alanıdır. İyonik sıvıların korozyon inhibisyonu üzerine 1950-2016 yılları arasında yapılan çalışmalar Şekil 1.6’da gösterilmiştir [24]. Şekilde görüldüğü gibi 1951-2000 yılları arasında iyonik sıvıların korozyon inhibitörü olarak kullanıldığı çalışmalar 2001-2016 yılları arasında 4 katına çıkmıştır.



Şekil 1.6. İyonik sıvıların korozyon inhibitörü olarak Science direct veri tabanında 1950-2016 yıllarında yapılan yayınlar.

1.4.1. Katodik İnhibitörler

Asitli ortamlarda hidrojen indirgenmesi, nötr ortamlarda oksijen indirgenmesi gibi katodik reaksiyona etki ederek proton ya da hidrojen iyonu alan inhibitörlere katodik inhibitörler denir. Genel olarak katyonlardan oluşan bu tür inhibitörler katodik bölgede adsorplanarak kimyasal veya elektrokimyasal yalıtım sağlarlar. Örneğin sert sularda bulunan kalsiyum hidrokarbonatlar ve özel olarak eklenen mangan, magnezyum, nikel, çinko gibi maddeler katodik tepkime ürünü olan bazlarla birleşerek CaCO_3 ve Zn(OH)_2 gibi zor çözünen bileşiklere dönüşürler ve katodik bölgede film tabakası oluşturarak oksijen ile metalin etkileşmesine engel olurlar [25].

1.4.2. Anodik İnhibitörler

Anodik inhibitörler, anodik tepkimeyi yavaşlatarak anot yüzeyine ulaştıklarında çözünmüş oksijenle birlikte yüzeyi pasifleştiren inhibitörlerdir. Pasifleşmeyi sağlayan bu tür inhibitörler genelde anorganik maddelerdir. Örneğin ortofosfat, silikat, nitrit ve kromat gibi birçok inorganik inhibitörler ve organik olarak da benzoat bu yapıdadır. Anodik inhibitörlerin kullanımı yaygın olmasına rağmen istenmeyen çeşitli özellikleri bulunmaktadır. Kullanılan miktar yeterli olmadığı zaman tüm anot yüzeyi örtülemez ve

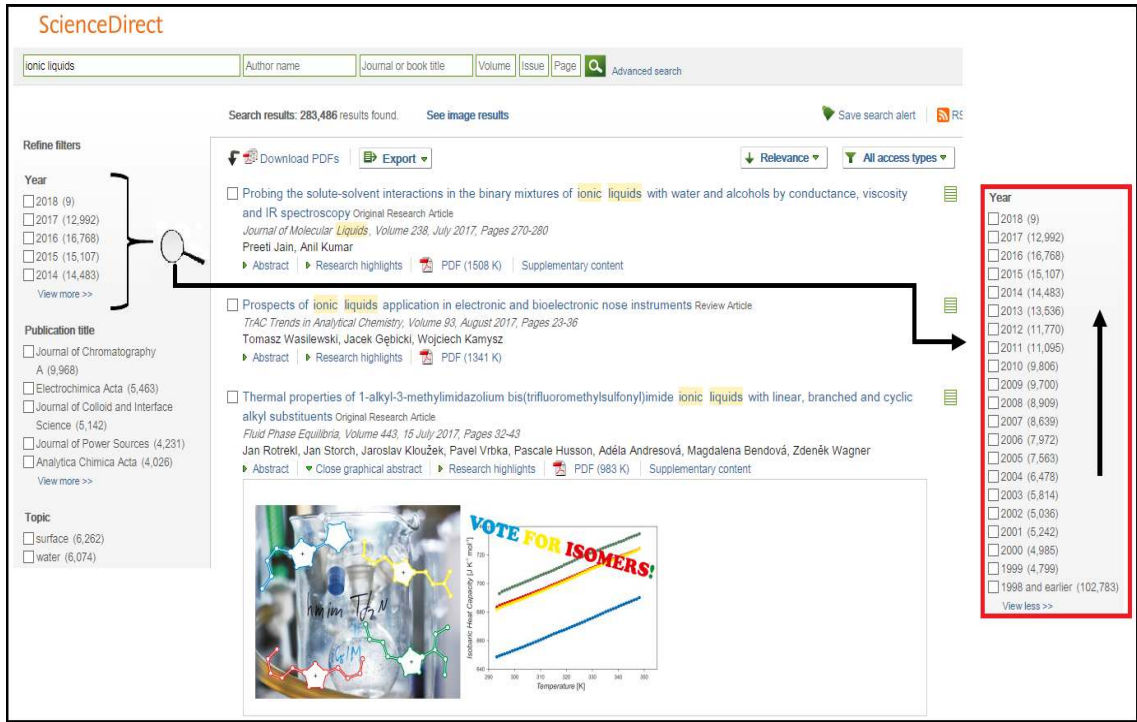
sonuç olarak küçük anot büyük katot çifti ortaya çıkar. Bu durum çukurcuk korozyonuna sebep olmaktadır. Bu yüzden anodik inhibitörler tehlikeli inhibitör olarak bilinmektedir [26].

1.4.3. Karma İnhibitörler

Proton ve elektron kabul eden gruplar içeren karma inhibitörler, metal yüzeyinde hem anodik hem de katodik tepkime hızını yavaşlatmaktadır. Karma inhibitörlerin yapısında genellikle sülfür veya azot ($-NH_2$ ve $-SH$) bulunmaktadır. Sülfür içeren inhibitörler, azot içeren inhibitörlerden daha etkindir. Çünkü sülfür daha kolay elektron vericidir. Sülfür içeren inhibitörlerin etkinliği molekül kütlesi arttıkça artar. Karma inhibitörlerin kullanılması ile inhibitör etkinliğinin arttığı ve çukur korozyonu tehlikesinin azaldığı belirlenmiştir. Otomobil radyatörlerinde kullanılan nitrit + benzoat karışımı karma inhibitörlere örnek olarak gösterilebilir [27].

1.5. İYONİK SIVILAR

Son yıllarda kendine özgü yapıları ve seçkin özelliklerinden dolayı iyonik sıvıların kullanımı hızla artmaktadır (Şekil 1.7). İyonik sıvılar, suyun kaynama noktasının altında erime noktasına sahip olan tuzlar olarak tanımlanmaktadır [28]. Ayrıca iyonik sıvılar; neoterik çözücüler, tasarımcı çözücüler, iyonik akışkanlar ve erimiş tuzlar gibi birkaç farklı isimle de bilinmektedir.



Şekil 1.7. Sciencedirect bilimsel makale tarama motorunda “ionic liquids” anahtar kelimesiyle tarama yapıldığında çıkan sonuç.

Günümüzde iyonik sıvılar katalizör, pil, güneş panelleri, yakıt pilleri, elektro optik, ısı transferi, kromatografi malzemesi, biokütleinin işlenmesi, metal elde etme, maddenin difüzyon, viskozite vb. fiziksel özelliklerinin bulunması gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Şekil 1.8) [29].



Şekil 1.8. İyonik sıvıların kullanım alanları.

İyonik sıvıların çoğu organik katyon ve inorganik anyonlardan oluşmaktadır. Oda sıcaklığında sıvı olması için katyon simetrik olmamalı yani alkil grupları farklı olmalıdır [30]. Konvansiyonel olmayan çözücüler arasında iyonik sıvılar umut verici bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır [31]. İyonik sıvılar, düzensiz yapıda olmasına rağmen bir iyon referans alındığında kısa ve orta mesafede bir düzenden bahsedilebilmektedir. Kısa ve orta mesafe yapısı, dağılım fonksiyonları belirlenerek incelenmektedir [29].

İyonik sıvıların en önemli özellikleri hem iyonik bileşik hem de oda sıcaklığında sıvı halde bulunmasıdır. İyonik sıvıların sıvı fazları maddenin akışkan bir hali olup gerek kimyasal gerekse elektrokimyasal reaksiyonlar için çözücü ortamı oluşturmaktadır [32].

Çeşitliliklerinin çok olması, kaynama noktaları, polariteleri ve farklı viskozite değerleri gibi pek çok karakteristik özellikleri sıvı fazda gerçekleştirilen reaksiyonların temel reaksiyonlar olmalarının nedenini oluşturmaktadır. Bununla birlikte termodinamik

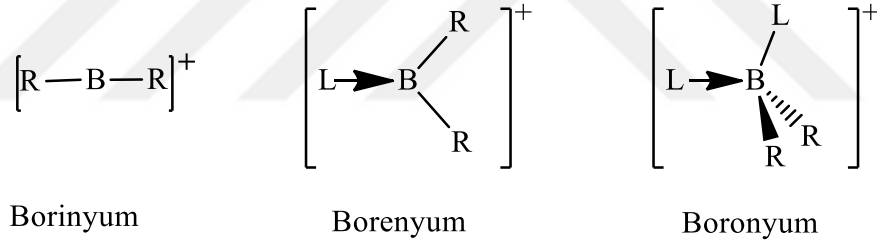
özellikleri gereği sıvıların buhar fazları ile her zaman denge halinde bulunmaları gereği olarak sıvıların uçuculuk özellikleri toksik, çevre ve insan sağlığı açısından riskler taşımaktadır [33].

Borun katyonik formdaki türevleri üzerine çalışmalar olmasına rağmen bu yapıların iyonik sıvı halindeki türevleri hakkında literatürde büyük eksiklik mevcuttur. İyonik sıvılar eşsiz özellikleri sayesinde kimya endüstrisinden teknolojik uygulamalara kadar pek çok alanda kullanım potansiyeli taşıyan yeni bir kimyasal türdür.

1.5.1. Katyonik Bor Türevleri

Bor içeren iyonik bileşiklerin hemen hemen tamamına yakını BF_4^- anyonuna sahip iyonik bileşiklerdir. Uzun yıllardır borun katyonik formu bilinmesine rağmen literatüre bakıldığında organik yapıda bor içeren çalışmalar sınırlıdır [34], [35].

Nöth ve Kelle 1985 yılında borun katyonik formu üzerinde çalışıp çeşitli araştırmalar yapmış ve borun katyonik formunu 2,3,4 koordinasyon sayısına göre üç sınıfa ayırmışlardır (Şekil 1.9) [36].



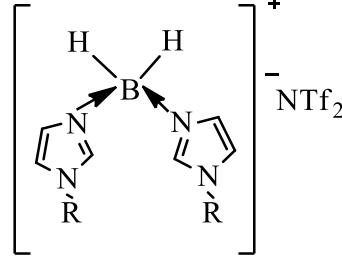
Şekil 1.9. Borun katyonik formlarının genel gösterimi.

1.5.1.1. Boronyum Katyonları

Boronyum katyonları 4 koordinasyona sahip oldukları için kararlı haldedirler. Kararlılığından dolayı en yaygın şekilde tetrahedral yapıda bulunmaktadır. Ancak koordinasyon alanının tamamen dolu olması nedeniyle düşük reaktivite özelliği göstermektedir [37]. İlk boronyum katyonu 1905 yılında Singer ve arkadaşları tarafından sentezlenmiştir. Daha sonra elde edilen katyon Barabás ve arkadaşları tarafından modifiye edilmiştir [38]. Artan kararlılık ve azalan reaktivite sebebiyle sentetik uygulamalarda yaygın şekilde kullanıldığı için birçok boronyum katyonu sentezlenmiştir [39]. Son zamanlarda boronyum katyonları $\text{C}=\text{N}$ veya $\text{C}=\text{O}$ yapısına sahip bileşikler ile BX_3 bileşiğinin reaksiyonu ile sentezlenmektedir [10].

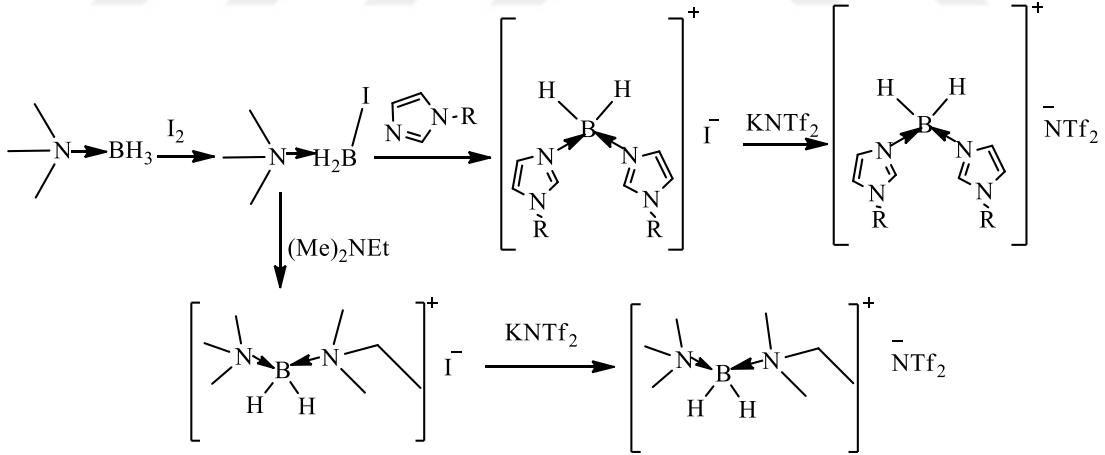
1.5.2. Katyonik Bor İçeren İyonik Sıvılar

Davis ve arkadaşları N-alkilimidazol-amin BH_2^+ yapısını içeren bir seri iyonik sıvı elde ederek elektronik ve spektroskopik özelliklerini incelemişlerdir [40]. Elde edilen katyon yapısında tuzların anyonları anyon değişim reaksiyonu ile (özellikle bis triflorometan sülfonil imid) değiştirilip iyonik sıvı eldesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Davis'in çalışmasına ait iyonik sıvı örneğinin şekil gösterimi.

Ruther ve arkadaşları 2010 yılında bazı yeni boronyum katyon bazlı iyonik sıvıları sentezlemişlerdir (Şekil 1.11). Elde edilen bileşiklerin elektrokimyasal özelliklerini inceleyerek lityum iyon pillerinde kullanılma potansiyellerini araştırmışlardır. Bu çalışma bor katyonlu iyonik sıvıların çeşitli alanlarda kullanılabilirliğinin gösterilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.



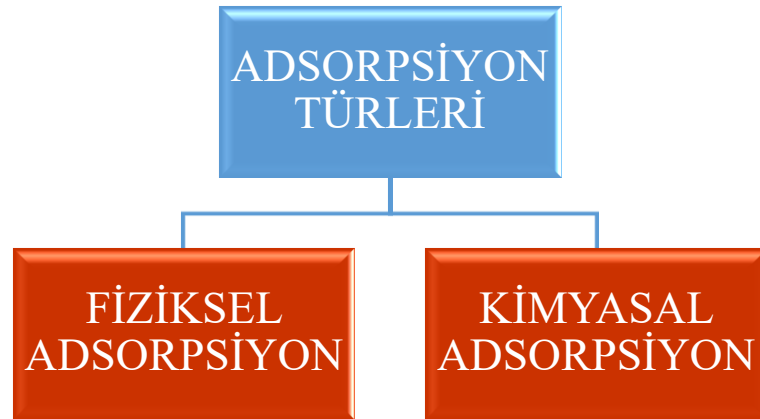
Şekil 1.11. Bor katyonundan iyonik sıvı elde edilmesinin aşamalı sentez şeması.

Yüksek enerjili iyonik sıvı yakıtlar özellikle bipropellant yakıtlar için idealdir. Hipergolik reaksiyon, yakıt ile oksitleyicinin karışması neticesinde ek başka tutuşturuculara ihtiyaç duymadan reaksiyonun gerçekleşmesidir. Bu amaçla kullanılan malzeme ve sistemler ek maliyet ve çevre-sağlık problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Bu amaçla bu araştırmacılar disiyanoborhidrür içeren iyonik sıvılar üzerine yoğunlaşmışlardır. Bunların hem yukarıda bahsedilen üstün özellikleri hem de gerek

katyonik gerekse anyonik yapıdaki istenilen modifikasyonlarının rahatlıkla gerçekleştirilebilme potansiyelleri yüksektir. Bu konuda birçok çalışma araştırmacılar tarafından yürütülmektedir. Wang ve arkadaşları bütün bu sebeplere dayanarak B-H bağının reaktivitesini de hesaba katarak boronyum katyon içeren iyonik sıvıların serisini elde etmişlerdir. Trimetilamino boran kompleksini iyot ile reaksiyona soktuktan sonra bazı alkilimidazol tepkimeye girdirilmiştir. Elde edilen iyonik yapılar farklı anyona sahip gümüş tuzları ile etkileştirilip iyonik sıvı haline dönüştürülmüştür. Elde edilen iyonik sıvıların tutuşma zamanları, vizkoziteleri gibi fizikokimyasal özellikleri belirlenmiş ve hipergolik sıvı olma potansiyelleri yönünden umut verici sonuçlar elde edilmiştir [10].

1.6. ADSORPSİYON VE ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

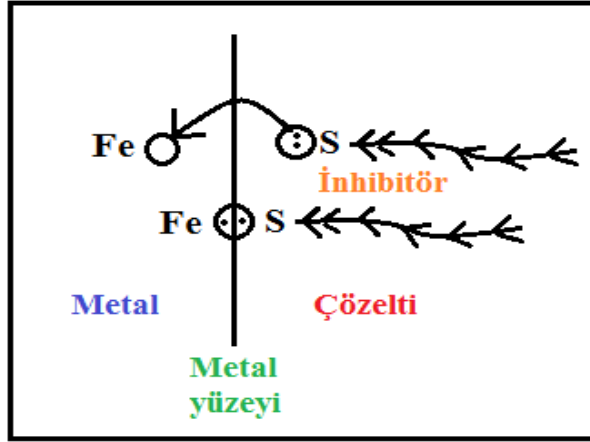
Çözültide çözünmüş halde bulunan maddelerin bir ara yüzey üzerinde toplanması olayına adsorpsiyon denir. Adsorpsiyon sıvı-sıvı, gaz-katı, sıvı-katı gibi iki farklı fazın ara yüzeyinde meydana gelmektedir. Adsorplanan bileşik ile ara yüzey arasında etkileşimin türüne bağlı olarak 2 tip adsorpsiyon vardır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. Adsorpsiyon türleri.

Fiziksel adsorpsiyon madde ile adsorplayıcı arasındaki bağlantıyı sağlayan Van der Waals kuvvetleri ile meydana gelen çok tabakalı adsorpsiyon türüdür. Fiziksel adsorpsiyon düşük sıcaklıklarda oluşur ve bağlar zayıftır. Adsorbent ile adsorbat arasındaki moleküler çekim kuvveti, adsorbatın kendi molekülleri arasındakinden daha büyük olduğu durumlarda gerçekleşmektedir. Kimyasal adsorpsiyon; genellikle yüksek sıcaklıklarda adsorbentle adsorbat arasında elektron alış veriş sonucu bağ oluşturarak meydana gelmektedir. Bu bağ fiziksel adsorpsiyona göre daha kuvvetlidir. Kimyasal

adsorpsiyonda fiziksel adsorpsiyonun aksine tek tabakalı adsorpsiyon gözlenmektedir. Kimyasal adsorpsiyon, fiziksel adsorpsiyonla kıyaslandığında daha spesifiktir [41].



Şekil 1.13. İnhibitörün metal yüzeyine adsorpsiyonu.

Genel olarak organik bileşikler metal yüzeyine adsorbe olarak inhibitör etkisi gösterirler. Metal yüzeyine adsorplanarak metalin çözünmesini ve yüzeyde oluşan tepkimenin hızını azaltırlar. Şekil 1.13'te inhibitör bileşiminde bulunan kükürt atomunun demir metali ile yapmış olduğu elektron ortaklığı sonucu metal yüzeyinde tutulması gösterilmiştir.

Adsorpsiyon ile korozyonu önleyen inhibitörlerin korozyon önleme mekanizmasının açıklanmasında adsorpsiyon izotermi kullanılmaktadır. Adsorplanan bileşiğin çözeltideki konsantrasyonu (C) ile metal yüzeyindeki kaplanma derecesi (θ) arasında oluşturulan bağıntılara adsorpsiyon izotermi denir. İzotermilerin belirlenmesi için öncelikle yüzey kaplanma derecesi hesaplanmalıdır. Deneysel veriler sonucu yüzeyde adsorblanan maddenin hangi izoterme uyduğu belirlenmektedir. Adsorpsiyon izotermelerini açıklamak için farklı denklemler kullanılmaktadır [42].

a) El-Awady Adsorpsiyon İzotermi: $\log(\theta \div (1 - \theta)) = \log K_{ads} + n \log C$

b) Temkin Adsorpsiyon İzotermi: $\theta = n \log C$

c) Freundlich Adsorpsiyon izotermi: $\log(\theta) = \log K_{ads} + n \log C$

d) Langmuir Adsorpsiyon İzotermi: $K_{ads} = \theta \div C(1 - \theta)$

Bu denklemler yardımıyla serbest adsorpsiyon enerjisi, standart adsorpsiyon entalpisi, standart adsorpsiyon entropisi gibi termodinamik parametreler hesaplanmaktadır [43].

1.7. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Son yıllarda metallerin korozyonunu önlemek için iyonik sıvıların yeşil inhibitör olarak kullanılması üzerine yapılan araştırmalar artmıştır.

Kimyasal formülü 1,3-dioktadesilimidazolyum bromür ve N- oktadesilpiridinyum bromür olan iyonik sıvılar 1 M sülfürik asit çözeltisinde düşük karbon çeliği için korozyon inhibitörü olarak test edilmiştir. İnhibitör konsantrasyonları arttırıldığında sülfürik asit çözeltisinde bulunan yumuşak çeliğin yüzeyinde film tabakası oluşarak korozyonunun azaldığı tespit edilmiştir [44]. Amino asit türevi olan tetra-n-bütil amonyum metioninat'ın 1 M HCl çözeltisi içerisinde düşük karbon çeliğinin korozyonuna inhibitör etkisi EIS ve TP yöntemleri ile incelenmiştir. Kullanılan inhibitörün 1 M HCl ortamında çeliğin korozyonunu yavaşlattığı ispatlanmış ve sonuçlar yüzey analizi ile desteklenmiştir [45]. %3.5 NaCl ortamında düşük karbon çeliği için 1-bütil-1-metilpirolidinyum triflorometilsülfonatın ([Py1,4] TfO) antibakteriyel ve antikorozyon etkileri araştırılmıştır. TP ve EIS sonuçlarına göre kullanılan iyonik sıvının inhibitör etkisinin konsantrasyonlarına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir [46].

Ucuz bir iyonik sıvı olan 1,3-bis [2- (4-metoksifenil) -2-oksoetil] -1H-benzimidazol-3-iyum bromür (MOBB), sentezlenip FTIR, NMR, LC-MS ve XRD (SCXRD) yöntemleri ile karakterize edilmiştir. MOBB'nin farklı sıcaklıklarda (30-50°C) 0.1 M HCl ve 0.1 M H₂SO₄ ortamlarında %15 SiC içeren Al 6061 alaşımı üzerinde korozyon etkinliği EIS ve TP yöntemleri ile araştırılmıştır. Sıcaklığın artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. N ve O gibi donör atomlarının varlığı, yüksek elektron yoğunluğu, suda çözünürlük, kararlılık, uygun maliyetli ve çevre dostu gibi özelliklerinden dolayı asidik ortamda Al6061 için ideal bir inhibitör olarak ifade edilmiştir [47].

Katyonik yüzey etkinleştirici bazlı üç iyonik sıvı (N¹, N¹, N², N², N²-heksadodesilpropan-1,3-diaminyum bromür (G3IL), N¹, N¹, N¹, N¹, N¹, N², N², N²-heksadodesiletan- 1,2-diaminyum bromür (G2IL) ve N¹, N¹, N², N², N²-heksadodesilheksan-1,6-diaminyum bromür (G6IL)) sentezlenmiş ve kimyasal yapıları FTIR ve ¹H NMR spektroskopik teknikleri kullanılarak açıklanmıştır. Sentezlenen inhibitörlerin farklı konsantrasyonlardaki asitli ortamda (1.0 M HCl) karbon çeliği üzerindeki korozyonu; TP, EIS ve kütle kaybı yöntemleri ile araştırılmıştır. Tüm

inhibitörler için, inhibisyon etkinliğinin konsantrasyonlar arttırıldıkça arttığı, ancak artan sıcaklık ile azaldığı saptanmıştır [48].

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan imidazolyum bazlı iyonik sıvının (TSIL) inhibitör etkisi, düşük karbonlu çelik üzerinde 1 M HCl çözeltisinde kütle kaybı, EIS ve TP yöntemleri kullanılarak araştırılmış, sonuçlar SEM ve AFM analizleri ile desteklenmiştir. Çalışmalar sonucunda konsantrasyonların arttırılmasıyla TSIL'nin karma tip inhibitör olarak düşük karbon çeliğini korozyona karşı koruduğu belirlenmiştir [49]. Sulu ortamda sıcaklığa bağlı olarak 1-bütıl-3-metilimidazolyum tetrakloroferrat'ın ([C₄C₁im] [FeCl₄]) A36 düşük karbon çeliğinin korozyon davranışı kütle kaybı, elektrokimyasal korozyon ölçüm yöntemleri ile araştırılmış ve kuantum hesaplamaları incelenmiştir. A36 düşük karbon çeliğinin yüzey morfolojisi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlar, [C₄C₁im] [FeCl₄]'in varlığında sıcaklık ve su miktarının arttırılması ile düşük karbon çeliğinin korozyon hızının arttığını göstermiştir [50]. 1 M HCl ortamında sentezlenen 4 adet (3-desil-1-metil-1H-imidazol-3-yum tetrafloroborat (IL1), 3-dodesil-1-metil-1H-imidazol-3-yum tetrafloroborat (IL2), 3-desil-1,2-dimetil-1H-imidazol-3-yum tetrafloroborat (IL3) ve 3-dodesil-1,2-dimetil-1H-imidazol-3-yum tetrafloroborat (IL4)) iyonik sıvının düşük karbon çeliği üzerindeki korozyon davranışları TP ve EIS yöntemleri kullanılarak test edilmiştir. Sentezlenen iyonik sıvıların moleküler yapıları ve karakterizasyonları elementel analiz, FTIR, XRD, TGA ve ¹H NMR ile analiz edilmiştir. Elde edilen verilere göre sentezlenen iyonik sıvıların inhibitör olarak kullanılabileceği ve en yüksek inhibitör etkinliğinin IL4 bileşiğine ait olduğu tespit edilmiştir [51].

1,3-dibensilimidazolyo asetat (DBImA) ve 1,3-dibensilimidazolyo dodekanoat (DBImL) iyonik sıvılarının 1 M HCl ve 1 M H₂SO₄ çözeltisinde çelik üzerindeki inhibitör etkinlikleri elektrokimyasal yöntemlerden TP ve EIS yöntemleri ile araştırılmış ve deney sonrası SEM görüntüleri ile yüzey morfolojisi incelenmiştir. bileşiklerin karma tip inhibitör özelliği taşıdığı, konsantrasyonun arttırılması ile inhibitör etkinliğinin arttığı ve bileşiklerin 1 M HCl ortamında daha etkili olduğu belirlenmiştir [52].

Alkilimidazolyum bazlı 1-bütıl-3-metilimidazolyum klorür (BMIC) ve 1-bütıl-3-metilimidazolyum hidrojen sülfat ([BMIM]HSO₄) iyonik sıvılarının çelik üzerindeki inhibitör etkinlikleri 1 M HCl ortamında EIS, TP ve kütle kaybı yöntemleri ile araştırılmıştır. Kullanılan iyonik sıvıların yüzeye adsorbe olarak çeliğin korozyonunu

azalttığı, karma tip inhibitör olduğu ve [BMIM]HSO₄ bileşiğinin daha etkin olduğu tespit edilmiştir [53].

25 °C oda sıcaklığında 1 M HCl ortamında 1-bütıl-3-metilimidazolyum bromür'ün çelik üzerindeki inhibitör davranışı farklı sıcaklıklarda (25-45°C) kütle kaybı, EIS ve TP yöntemleri ile araştırılmıştır. Sonuçlara göre inhibitörün konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak etkinliğinin arttığı ancak sıcaklık ile azaldığı belirlenmiştir [54]. % 3.5 NaCl çözeltisi ile doyurulmuş Ca(OH)₂ ortamında 1-bütıl-3-metilimidazolyum tetrafloroborat ([BMIM]BF₄)'ın karbon çeliğı için inhibitör etkisi EIS ve TP yöntemleri ile analiz edilmiştir. Elektrokimyasal yöntemler sonrasında elde edilen veriler AFM ve X-ray Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) ile desteklenmiştir. Sonuçlar konsantrasyon miktarının artışına bağılı olarak inhibitör etkinliğinin arttığını ve kullanılan inhibitörün hem anodik hem katodik yönde etki ettiğini göstermiştir [55]. 1 M H₂SO₄ ortamında çelik üzerinde 1,4-di [1-metilen-3-metil imidazolyum bromür]-benzen iyonik sıvının inhibitör etkinliği elektrokimyasal ve yüzey analizi yöntemleri ile araştırılmıştır. Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçlara göre kullanılan bileşiğın etkili inhibitör özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir [56]. Sentezlenen 3-(4-chlorobenzoylmethyl)-1-methylbenzimidazoliumbromide ([BMMB]⁺Br⁻)'nin 1 M HCl çözeltisinde karbon çeliğı üzerindeki korozyon inhibitörü özelliğı incelenmiştir. Yapılan elektrokimyasal test ve yüzey analizi sonuçlarına göre konsantrasyona bağılı olarak karbon çeliğinde meydana gelen korozyonun azaldığı belirlenmiştir [57]. İki farklı iyonik sıvının (1-oktil-3-metilimidazolyum bromür ([OMIM] Br) ve 1-allil-3-oktilimidazolyum bromür ([AOIM] Br)) 0.5 M H₂SO₄ çözeltisinde çelik üzerindeki inhibitör etkinlikleri kütle kaybı, elektrokimyasal ölçüm, SEM analizi yöntemleri ile incelenmiş ve kuantum kimyasal hesaplamaları yapılmıştır. Sonuçlara göre her iki bileşiğın katodik inhibitör özelliğı gösterdiği ve [AOIM] Br'nin daha etkili olduğu gözlenmiştir [58].

1 M HCl ortamına maruz bırakılan çeliğın korozyonuna 3 farklı iyonik sıvının (1-etil-3-metilimidazolyum tetrafloroborat [EMIM]⁺[BF₄]⁻, 1-bütıl-2,3-dimetilimidazolyum tetrafloroborat [BDMIM]⁺ [BF₄]⁻ ve 1-desil-3-metilimidazolyum tetrafloroborat [C₁₀MIM]⁺ [BF₄]⁻) inhibitör etkisi elektrokimyasal yöntemler, spektroskopik teknikler ve kuantum kimyasal hesaplamaları ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılan bileşiklerin inhibitör özelliğine sahip olduğunu ve [C₁₀MIM]⁺ [BF₄]⁻ün diğer bileşiklere göre daha etkili olduğunu göstermiştir [59]. 1-etil-3-metilimidazolyum disiyanamit'in 0.1 M sülfürik asit içindeki çelik üzerindeki inhibisyonu elektrokimyasal

korozyon ölçüm ve yüzey analizi yöntemleri ile araştırılmıştır. Sonuçlara göre bileşiğin metal yüzeyinde film tabakası oluşturarak korozyonu engellediği belirlenmiştir [60]. 0.1 M HCl ortamında düşük karbon çeliği üzerinde 1-etil-1-metilpirolidinyum tetrafloroborat'ın (EMTFB) inhibitör etkinliği ve KI ilavesinin inhibitör etkinliğine olan etkisi EIS, TP yöntemleri ile test edilmiş ve yüzeyinde meydana gelen değişimler SEM ve EDS analizleri ile desteklenmiştir. Elde edilen sonuçlar konsantrasyona bağlı olarak inhibitör etkinliğinin arttığını ve KI ilavesi ile inhibitör etkinliğinin % 75'ten % 98'e yükseldiğini göstermiştir [61].

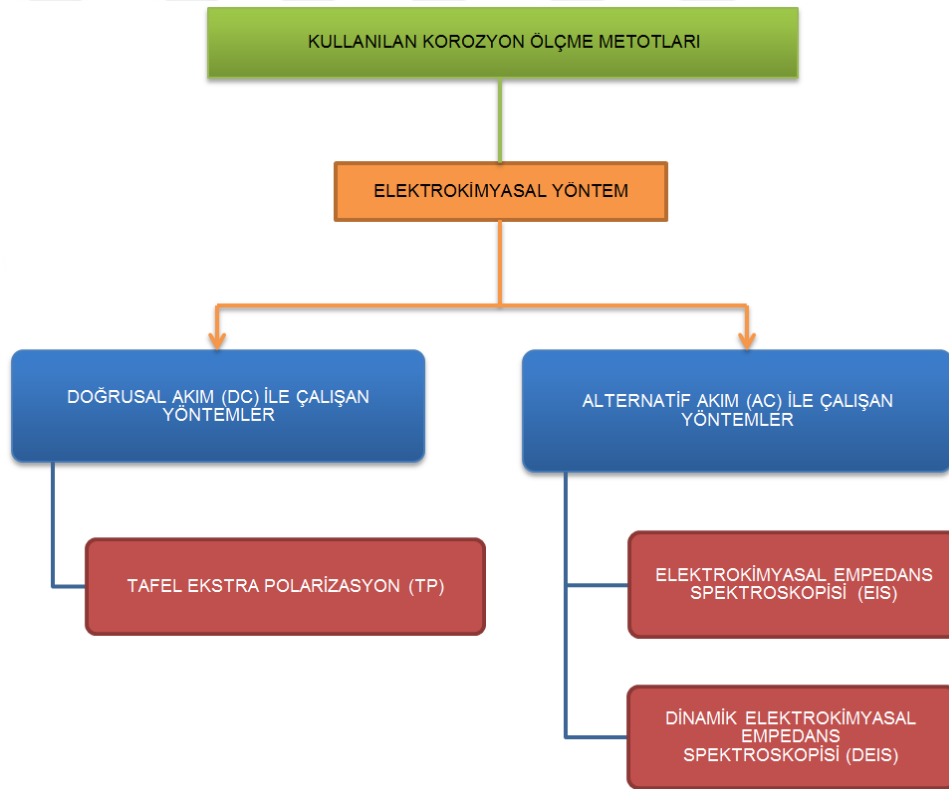


2. MATERYAL VE YÖNTEM

2. 1. METOT

2.1.1. Kullanılan Korozyon Belirleme Yöntemleri

Korozyon hızını belirlemek için birçok metot bulunmaktadır. 0.1 M HCl ortamında kullanılan inhibitörlerin düşük karbon çeliğinin korozyon mekanizmasına etkisi literatürde Doğru Akım (DC) yöntemleri olarak adlandırılan Tafel Ekstra Polarizasyon (TP) yöntemi ile Alternatif Akım (AC) yöntemleri olarak bilinen Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır (Şekil 2.1).

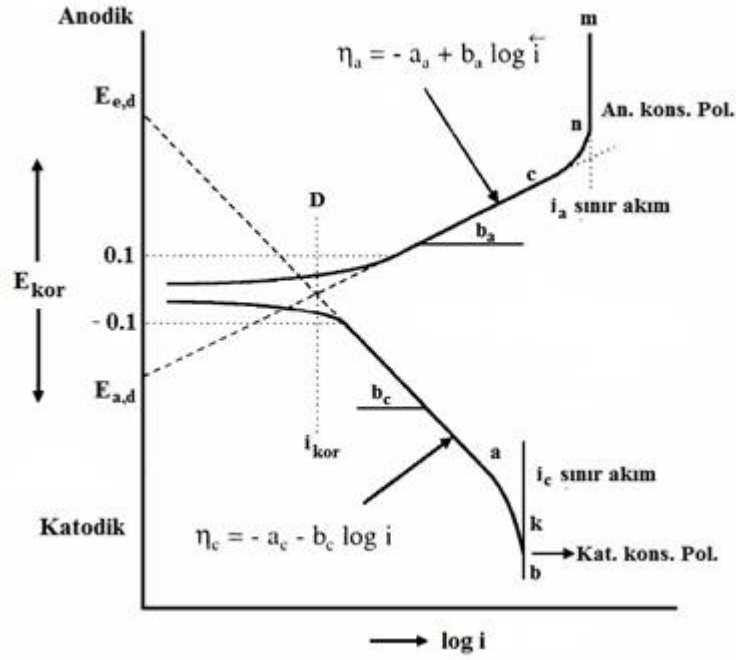


Şekil 2.1. Kullanılan elektrokimyasal korozyon ölçme yöntemleri.

2.1.1.1. Tafel Ekstra Polarizasyon Yöntemi (TP)

Tafel Ekstra Polarizasyon yöntemi, diğer elektrokimyasal yöntemlere nazaran uygulanması daha kolay olduğu için sanayide yaygın kullanım alanına sahiptir. Katodik polarizasyon eğrisinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu yöntemiyle sistemdeki

çok küçük korozyonu belirlemek ve denetlemek mümkün olmaktadır. Korozyon hızının belirlenmesi için korozyon potansiyelinden başlanılarak potansiyostatik ve galvanostatik yöntemle anodik ve katodik yönde çizilen yarı logaritmik akım yoğunluğu potansiyel eğrilerinin çizgisel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapole edilmekte ve böylece korozyon hızı yani korozyon akımı hesaplanmaktadır. Şekil 2.2’de korozyon hızının nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir [15].



Şekil 2.2. Korozyon akımı ve korozyon potansiyelinin TP yöntemi ile hesaplanması.

Yukarıdaki grafikten faydalanarak Denklem (2.1)'de Stern ve Geary'nin elde ettikleri formül yardımıyla korozyon akımı (I_{corr}) hesaplanmaktadır. Denklemde I_{corr} korozyon akımını, β_a ve β_c sırasıyla anodik ve katodik sabitini, R_p ise polarizasyon direncini ifade etmektedir [62].

$$I_{\text{corr}} = \frac{\beta_a \beta_c}{2.303(\beta_a + \beta_c)} \frac{1}{R_p} \quad (2.1)$$

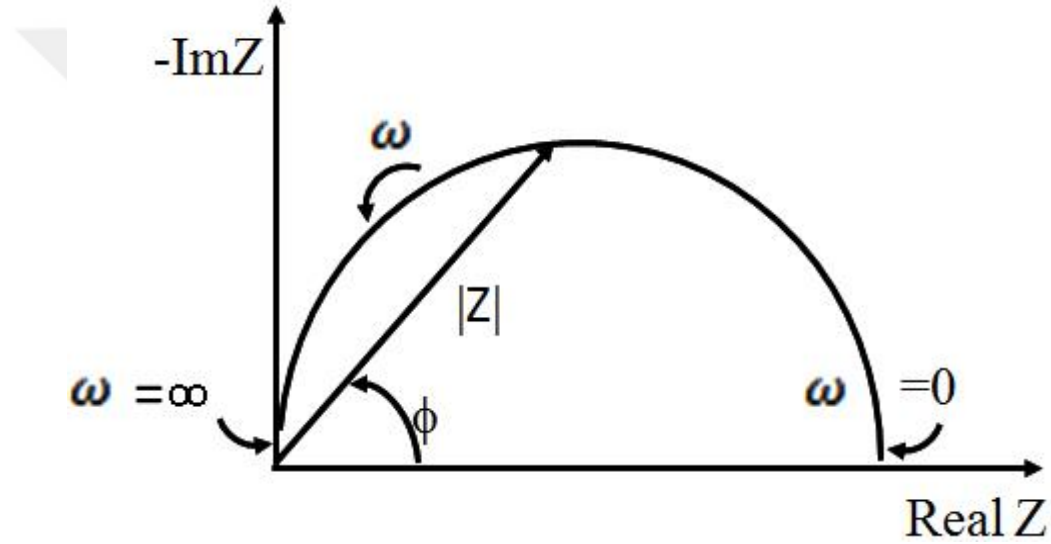
2.1.1.2. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS)

EIS doğru akım kaynakları üzerinden alınan verilere nazaran elektrot yüzeyinde daha az hasara neden olduğu ve sistem hakkında daha çok bilgi verdiği için hemen hemen her sektörde 30 yıldan beri kullanılmaktadır [17]. Bu yöntem direnç değerinin voltaj ve akım arasındaki oranı gösteren ohm yasası ile daha kolay anlaşılmaktadır. Normal şartlarda ohm yasasına göre; $R=V/I$ 'dir. Ancak AC kullanımlarında sistemin frekansının

sıfır olmadığı ya da sistemde başka elemanların olması durumunda empedans kavramı ortaya çıkmaktadır. Denklem (2.2)'de Z empedansı, E voltajı ve I akımı ifade etmektedir.

$$Z=E/I \quad (2.2)$$

Empedans AC yöntemlerinde 0,001–100,000 Hertz frekans ve 5 ile 50 mV genliğinde hücreye küçük bir sinüzoidal akım gönderilmesiyle ölçülür. Sistem bu akıma aynı şiddette fakat biraz geriden cevap verir (Phase Shift). Faz kayması olarak da bilinen empedans değerleri Z_{Im} ve Z_{Re} olarak gösterilmektedir. Z_{Im} hayali empedans ve Z_{Re} ise gerçek empedansı göstermektedir. Şekil 2.3'te Z_{Im} ve Z_{Re} arasındaki ilişkiye bağlı olarak empedans değişiminin ortaya çıkışı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Z_{Im} ve Z_{Re} arasındaki ilişkiden empedansın (Z) bulunması.

EIS yönteminde metal yüzeyine uygulanan alternatif akıma bağlı olarak hayali (Z_{Im}) ve gerçek (Z_{Re}) olmak üzere iki farklı direnç ortaya çıkar. Bu dirençlerin birbirine göre değişimlerini gösteren Nyquist eğrilerinden istenilen polarizasyon direnci değerleri elde edilmeye çalışılır. Denklem (2.3)'te bunun nasıl bulunacağı gösterilmiştir [63].

$$|Z| = \sqrt{Z_{im}^2 + Z_{Re}^2} \quad (2.3)$$

Y_0 ve n ile tanımlanan ve empedans gösterimleri ile ilgili sabit faz elemanları Denklem (2.4) yardımı ile elde edilmektedir. Aldığı değere göre n değerinin hangi devre elemanını ifade ettiği Çizelge 2.1'de gösterilmiştir [17].

$$Z_{(Q)CPE} = \frac{(j\omega)^{-n}}{(C)} \quad (3.3)$$

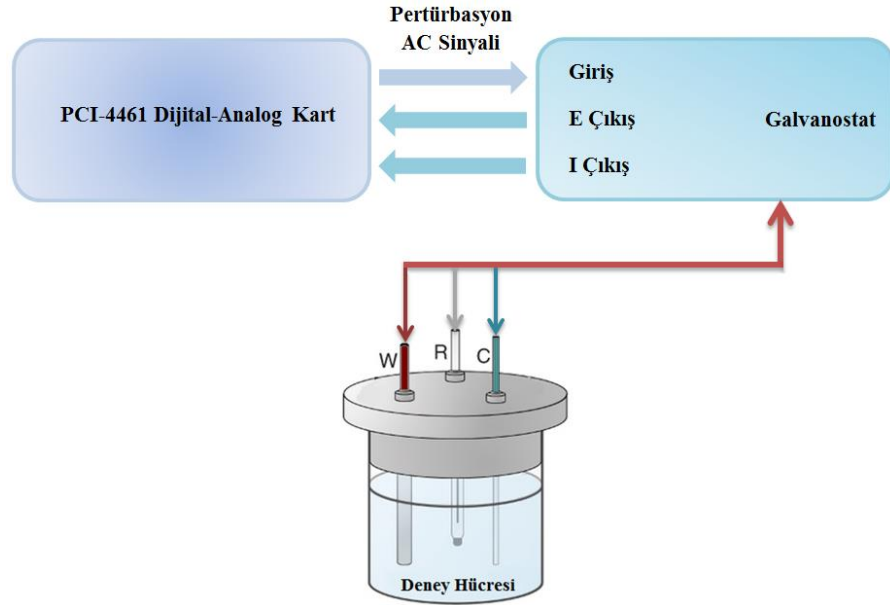
Çizelge 2.1. “n” değerinin EIS yöntemindeki anlamı.

“n” Değeri	İfade Ettiği Devre Elemanı	Empedans İfadesi
-1	İndüktans (L)	$Z = j\omega L$
0	Direnç (R)	$Z = R$
0,5	Warburg Empedans (W)	$Z = \frac{1}{\sqrt{j\omega C}}$
1	Kapasitans (C)	$Z = \frac{1}{j\omega C}$

2.1.1.3. Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)

DEIS yöntemi galvanostatik ve potansiyostatik şartlar altında başarıyla kullanılabilen elektrokimyasal yöntemdir [64], [65]. DEIS’in çalışma sistemi pertürbasyon sinyali üreten bir PCI4461 National Instruments ölçüm kartı ve bir Potansiyostat/Galvanostat’tan oluşmaktadır (Şekil 2.4). Uygulanan pertürbasyonda genellikle; 4,5 kHz ile 700 mHz aralığında değişen frekanslardaki 20 sinüsoidden oluşan bir paket kullanılmaktadır. Temel sinüs sinyallerinin tamamı, 20 mV genliğe sahip, 2500 ölçüm noktasını içine çeken Hamming analiz penceresi ile birlikte 12,8 kHz’lik örnekleme frekansının uygulanması ile 60 saniyede bir empedans ölçümü yapar. Elde edilen verilerle, belirlenen zaman aralıkları kapsamında empedans eğrileri çizilir. DEIS yönteminde EIS yöntemine nazaran aynı süre zarfında yüz adet spektra elde edilmektedir.

Böylelikle bir sinyalden daha fazla bilgi alınır ve bunun için matematiksel dönüşüm işlemi uygulanır. Sinyallerin analiz edilmesi direkt sinyalin kendisi veya sinyalin başka boyutlara (zaman, frekans, zaman-ölçek, vb.) taşınması ile yapılmaktadır. Mevcut birçok dönüşüm tekniğinde farklı tip sinyaller ve amaçlar için STFT (Short-Time Fourier Transform) bağıntılar kullanılmaktadır.



Şekil 2.4. DEIS çalışma sistemi.

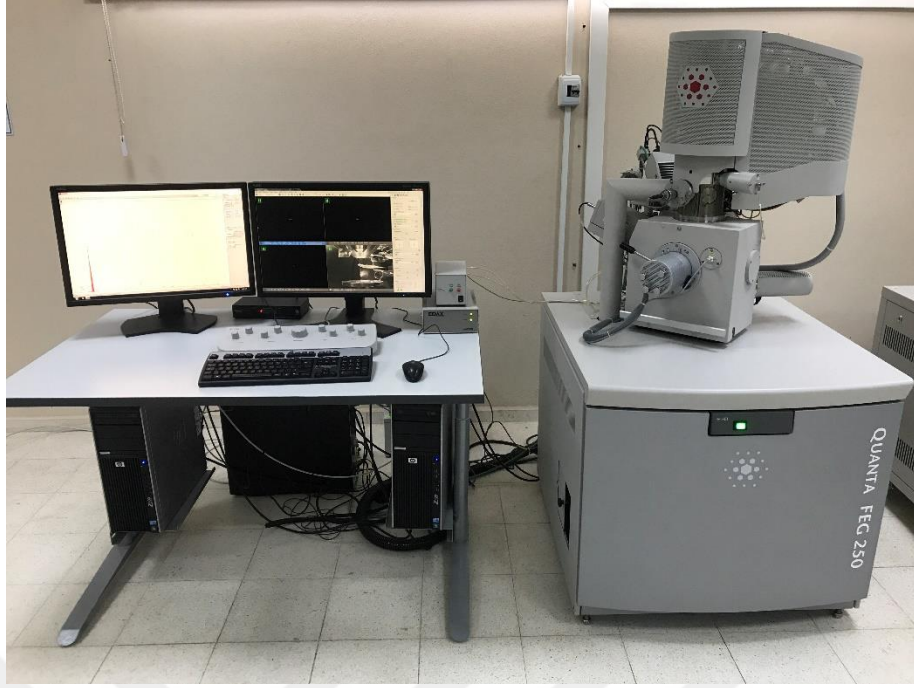
DEIS Yönteminin Avantajları;

1. Bu yöntem ile EIS yöntemi kıyaslandığında aynı zaman aralığında bir yere, yüz adet empedans spektrası elde edilmektedir.
2. Sistemlerin stabil olmayan koşullarda incelenmesi durumunda kullanışlı bir korozyon ölçüm yöntemidir ve ortak bir zaman-frekans analizi sağlar.
3. Zaman içerisinde sistemin anlık olarak değişimi hakkında bilgi verdiği için sisteme tam olarak ne zaman müdahale edilmesi gerektiği belirlenebilir. Bu özelliği sayesinde özellikle inhibitörlü sistemlerde önemli bir avantaj sağlamaktadır.
4. DEIS yöntemi, inhibitörle çalışma elektrotu arasındaki etkileşim hakkında diğer elektrokimyasal yöntemlere nazaran anlık olarak daha kapsamlı bilgi vermektedir [66], [67].

2.1.2. Yüzey Analizi

2.1.2.1. SEM EDS Analizi

TP deneyleri sonrası 0.1 M HCl ortamında EMITFB ve BMPTFB bileşiklerinin St37 metalinin yüzeyinde meydana getirdiği değişimleri incelemek için Şekil 2.5'te gösterilen J. Quanta FEG 250 (FEI, Holland) modeli cihaz ile SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.



Şekil 2.5. SEM EDS analiz cihazı.

2.1.2.2. FTIR Analizi

EMITFB ve BMPTFB bileşiklerinin St37 metali yüzeyinde varlığını teyit etmek için FTIR analizi yapılmıştır. FTIR analizi için Şekil 2.6’da gösterilen Agilent Technologies CARY 630 FTIR cihazı kullanılmıştır.

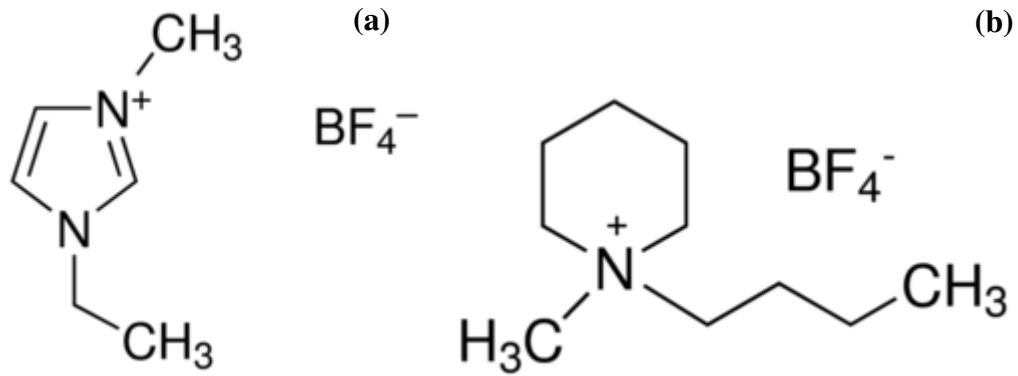


Şekil 2.6. FTIR cihazı.

2. 2. MATERYAL

2.2.1. Kullanılan Kimyasallar

Çalışma 0.1 M HCl ortamında farklı bor katyonlu iyonik sıvılar kullanılarak yapılmıştır. Çalışılan ortama farklı konsantrasyonlarda Sigma Aldrich'ten temin edilen EMITFB ve BMPTFB bileşikler ilave edilerek çözeltiler hazırlanmıştır. Kullanılan inhibitörlerin kimyasal yapıları Şekil 2.7'de verilmiştir.



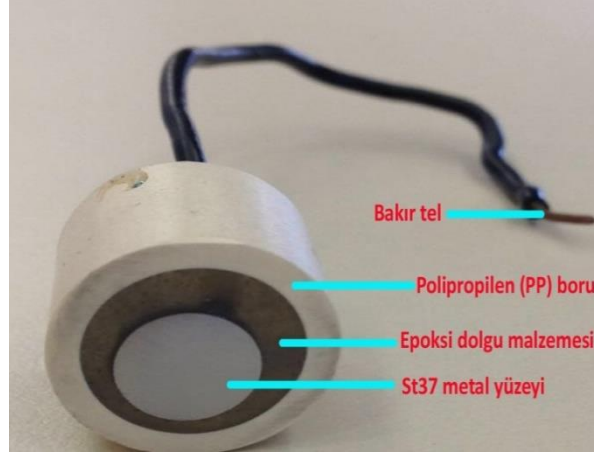
Şekil 2.7. Kullanılan bileşiklerin kimyasal yapıları (a) EMITFB, (b) BMPTFB.

2.1.2. Çalışma Elektrotlarının Hazırlanması

Mükemmel mekanik özellikleri ve düşük maliyetli bakımı nedeniyle birçok sektörde yaygın bir şekilde kullanılan düşük karbon çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 2.2’de gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan düşük karbon çeliği Erdemir Çelik Şirketi’nden temin edilmiştir. Elektrotlar 0,75 cm² silindirik olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Yalnızca silindirin taban alanlarından bir tanesi açıkta kalacak şekilde yalıtkan boru içerisine konup üzerinde ve etrafında kalın bir polyester tabakanın oluşması sağlanmıştır (Şekil 2.8).

Çizelge 2.2. Düşük karbon çeliğinin kimyasal bileşimi (Kütlece %).

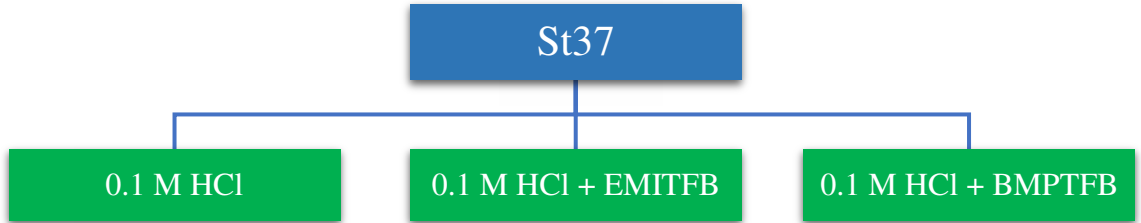
Numune	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Al	W	Fe
St37	0.17	0.30	1.40	0.005	0.05	0.0001	0.014	0.026	0.023	0.047	0.007	97.94



Şekil 2.8. Deneyde kullanılan elektrotların hazırlanış şekli.

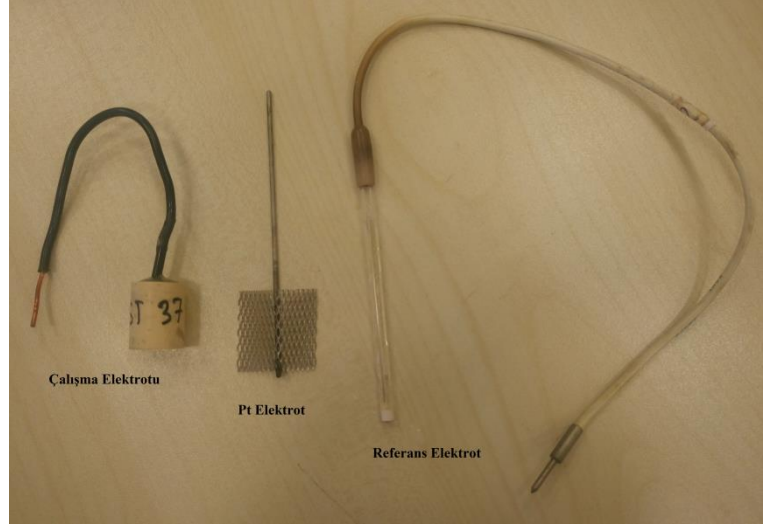
2.1.3. Deneylerin Yapılışı

Deneylere başlamadan önce kullanılan elektrotların yüzeyi zımpara makinesi ile 400 ile 2000 numaralı zımpara kâğıtları kullanılarak temizlenmiştir. Daha sonra saf su ile yıkanıp deney hücresine yerleştirilmiştir. Kullanılan düşük karbon çeliğinin korozyon davranışı oda sıcaklığında Şekil 2.9’da gösterilen ortamlarda 3 farklı yöntem kullanılarak incelenmiştir.



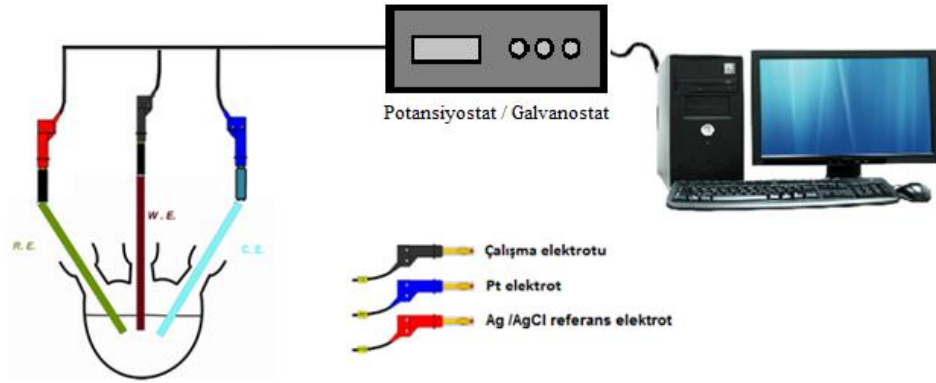
Şekil 2.9. Elektrokimyasal deneylerin yapıldığı ortamlar.

Şekil 2.10’da gösterilen çalışma elektrotları, karşı elektrot ve referans elektrot, içerisinde çözelti bulunan korozyon hücresine konularak deney düzenekleri oluşturulmuştur. Deney başlatılmadan önce korozyon hücresi, elektrot ile ortam arasında meydana gelen reaksiyonların durağan hale gelmesi amacıyla 2 saat süre ile bekletilmiştir.



Şekil 2.10. Çalışma elektrotu, Pt elektrot ve Ag/AgCl referans elektrot.

Şekil 2.11’de EIS ve TP deneylerini yapmak için kurulan düzenek gösterilmiştir. Farklı çözeltiler içerisine konulan St37 metalinin korozyon mekanizması EIS ve TP yöntemiyle GAMRY PC3/600 potansiyostat/galvanostat/ZRA sisteminde araştırılmıştır. EIS ölçümleri; 0.01 Hz-100 kHz frekans aralığında yapılmıştır. Empedans analizleri için ZsimpWin 3.21 yazılımı kullanılmıştır. EIS yönteminden sonra Tafel Ekstra Polarizasyon Yöntemi uygulanmıştır. Polarizasyon eğrilerinin elde edilmesinde, çalışma elektrotunun referans elektroda karşı denge potansiyeli 100 saniye boyunca ölçüldükten sonra katodik ve anodik yöne doğru ± 250 mV aralığında 1 mV/s hızla tarama yapılmıştır. Elde edilen veriler Gamry CMS-5.30 yazılımı ile analiz edilmiştir.



Şekil 2.11. Deney düzeneği.



Şekil 2.12. DEIS deney düzeneği [(1) Ag/AgCl referans elektrot, (2) çalışma elektrotu, (3) Pt elektrot].

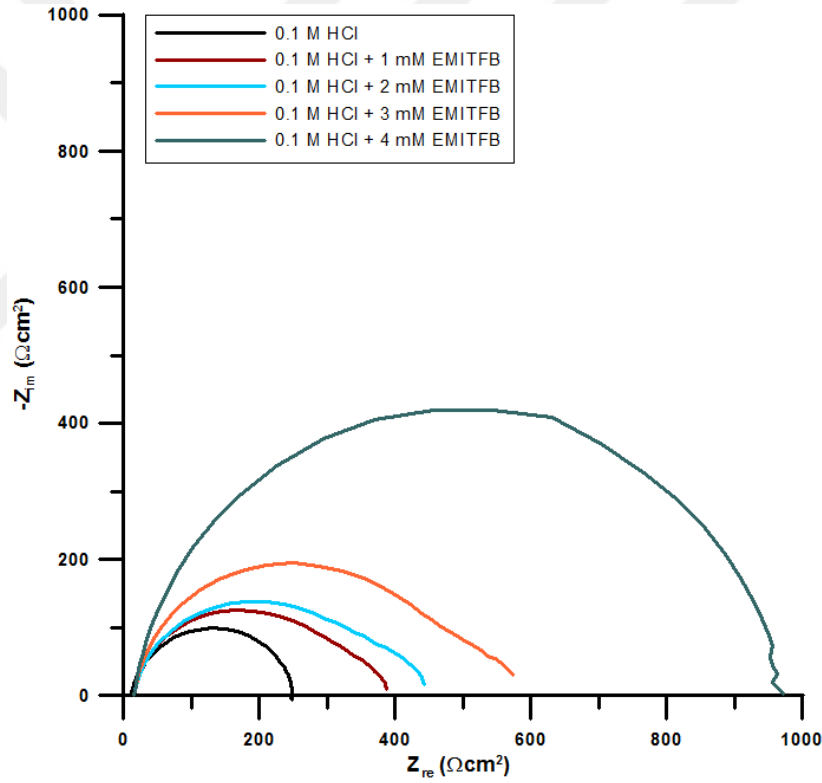
Şekil 2.12’de gösterilen düzene ile metalin korozyon direncini hesaplamak için DEIS yöntemi kullanılmıştır [17]. 0.1 M HCl çözeltisi içerisinde metallerin korozyon mekanizmaları araştırılmaya başlandıktan 30 dakika sonra korozyon hücresine büretten damla damla farklı konsantrasyonlarda hazırladığımız inhibitör ilave edilerek 2 saatlik deneyler yapılmıştır. Böylece metalde oluşan anlık potansiyel ve empedans değişimi kayıt edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. EMITFB'NİN İNHİBİTÖR ETKİSİNİN ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ

3.1.1 Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS)

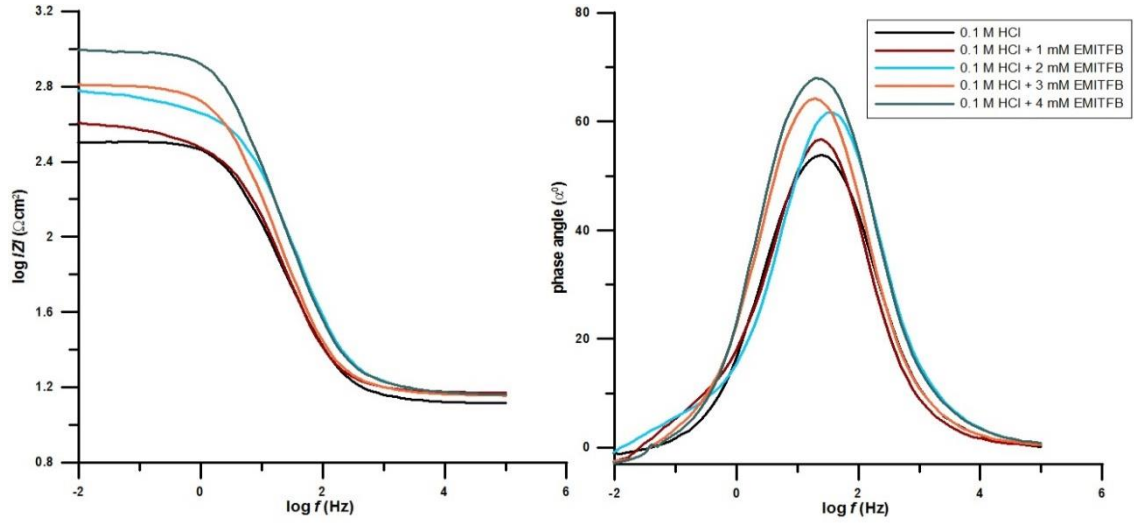
0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin korozyon davranışı oda sıcaklığında 2 saat süren açık devre potansiyeli sonunda hesaplanmıştır. St37 metalinin HCl çözeltisi ortamında EMITFB'nin inhibitör etkisinin EIS yöntemi sonucu elde edilen Nyquist diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin EMITFB ilavesi ile elde edilen Nyquist diyagramları.

Nyquist diyagramları genellikle yarı daire olmalarına rağmen Şekil 3.1'de tam yarı daireye uymamaktadır. İdeal bir yarı daireden sapma genellikle çalışma elektrot yüzeyinin heterojenliği ve pürüzlülüğünün yanı sıra frekans dağılımı ve yük transferi sürecinden kaynaklanmaktadır [45], [57]. EMITFB bileşiğinin konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak yarı dairelerin büyüdüğü yani St37 metalinin korozyon hızının

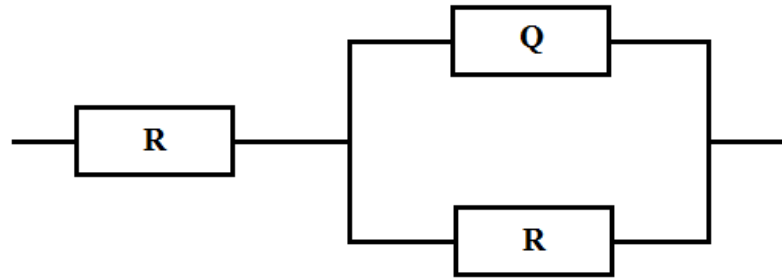
yavaşladığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.2’de elde edilen Bode-Angle diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 3.2. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin EMITFB ilavesi ile elde edilen Bode-Angle diyagramları.

Bu diyagramlarda meydana gelen tek yarı dairesel şekil Nyquist diyagramını desteklemektedir. Sergilenen bu özellik 0.1 M HCl ortamına EMITFB ilave edildiğinde St37’nin korozyon direncinin yük transfer direnci ile kontrol edildiğini göstermektedir. Ortama EMITFB ilave edildiğinde $\log|Z|$ değerinin $2.5 \Omega\text{cm}^2$ ’den $3 \Omega\text{cm}^2$ ’ye, faz açısının ise 50° ’den 70° ’ye arttığı gözlenmiştir. Bu artış EMITFB bileşiğinin adsorbsiyonu ile St37 metalinin yüzeyinde oluşan koruyucu tabakanın kalınlığının arttığını göstermektedir.

Elde edilen Nyquist diyagramları ZSimpWin 3.21 programı kullanılarak Şekil 3.3’te gösterilen devre ile analiz edilmiştir. $R(QR)$ devresinde ilk direnç çözelti direncini (R_s), Q sabit faz elemanını ve diğer direnç değeri metalde meydana gelen yük transfer direncini (R_{ct}) ifade etmektedir.



Şekil 3.3. $R(QR)$ devresi.

Deney sonuçlarının analizleri ZSimpWin programında uyumluluğu gösteren ki-kare dağılımı (X^2 dağılımı) dikkate alınarak hesaplanmıştır. X^2 değeri Denklem (3.1) yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$X^2 = \frac{(Gözlenen - Beklenen)^2}{(Beklenen)} \quad (3.1)$$

X^2 dağılımı sıfır değerine ne kadar yakınsa devre analizlerinin uyumluluğu o kadar iyi demektir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Yüzde inhibitör etkinlikleri (%IE) Denklem (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

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

Denklemden %IE yüzde inhibitör etkinliği, R_{ct}^0 ve R_{ct} sırasıyla inhibitörsüz ve inhibitörlü ortamdaki yük transfer direncini ifade etmektedir.

Çizelge 3.1. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin EMITFB ilavesi ile elde edilen EIS sonuçları.

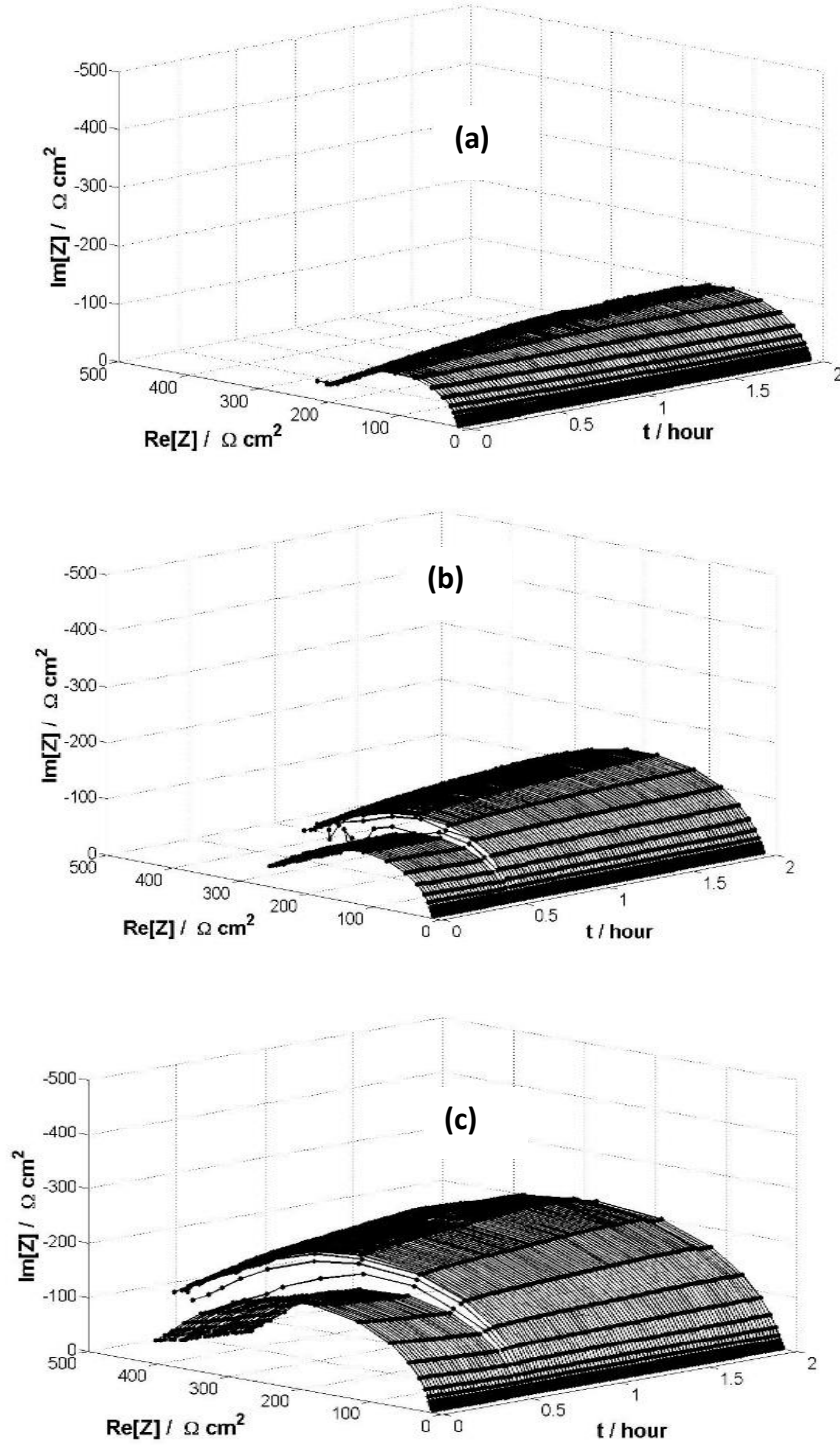
St37	$R_s (\Omega)$	Q (CPE)	n ($0 \leq n \leq 1$)	$R_{ct} (\Omega)$	% IE
0.1 M HCl	8.358	214.0	0.82	240.8	–
0.1 M HCl + 1 mM EMITFB	14.87	227.4	0.84	348.6	30.9
0.1 M HCl + 2 mM EMITFB	14.91	215.2	0.83	397.7	39.4
0.1 M HCl + 3 mM EMITFB	14.82	117.2	0.86	518.4	53.5
0.1 M HCl + 4 mM EMITFB	15.18	96.7	0.90	962.9	74.9

Çizelge 3.1 incelendiğinde 0.1 M HCl ortamında EMITFB konsantrasyonunun artırılmasıyla St37 metalinin korozyon direncinin arttığı görülmektedir. İnhibitörsüz ortamda ölçülen R_{ct} değeri 240.8 Ω iken 4 mM EMITFB ilavesi ile 962.9 Ω ’a artmıştır. Buna bağlı olarak Denklem (3.2) yardımı ile elde edilen % IE ise 74.9 olarak hesaplanmıştır. İnhibitör konsantrasyonunun artışına bağlı olarak Q değerlerindeki azalış ve n değerlerindeki artış inhibitörün metal yüzeyine adsorbe olduğunu göstermektedir.

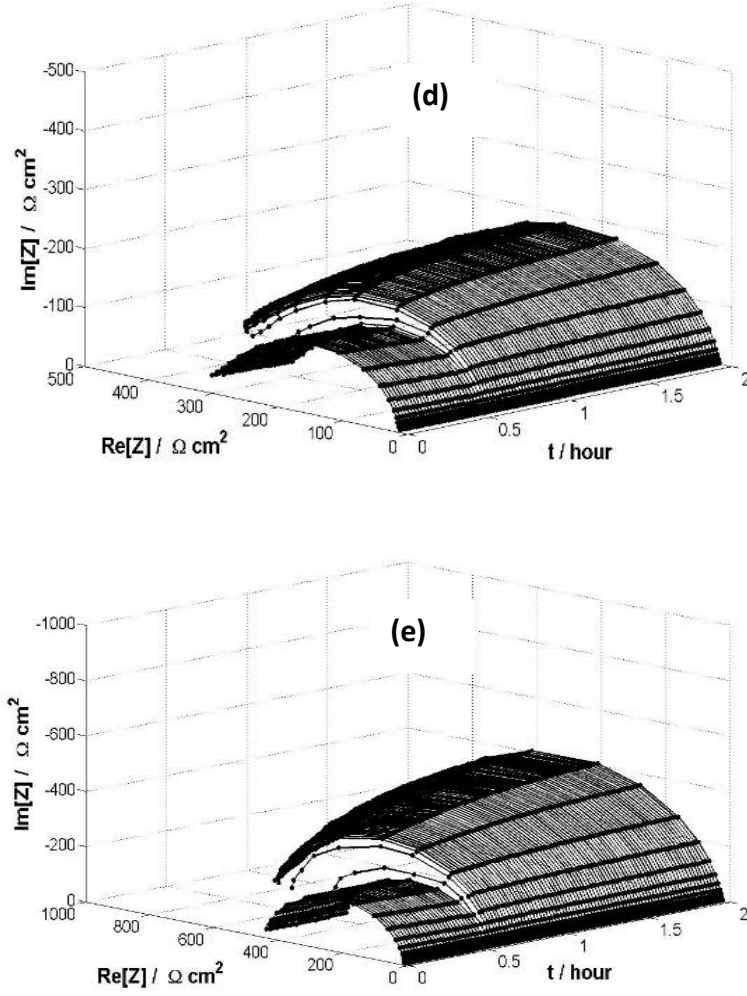
3.1.2. Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)

DEIS yönteminin avantajı, ölçümün geniş bir zaman aralığında değişen bir ortamda yapılmasına olanak sağlamasıdır [68]. Deneylere başlamadan önce 2 saat boyunca ortamın stabil hale gelmesi için beklenmiştir. Deney başlatıldıktan 30 dk sonra ortama büretten damla damla farklı konsantrasyonlarda hazırlanan EMITFB ilave edilmiştir. St37 metalinin 0.1 M HCl ortamındaki anlık korozyon davranışı 2 saat süre ile DEIS

yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Deney sonrası elde edilen 3D grafikler Şekil 3.4'te görülmektedir.

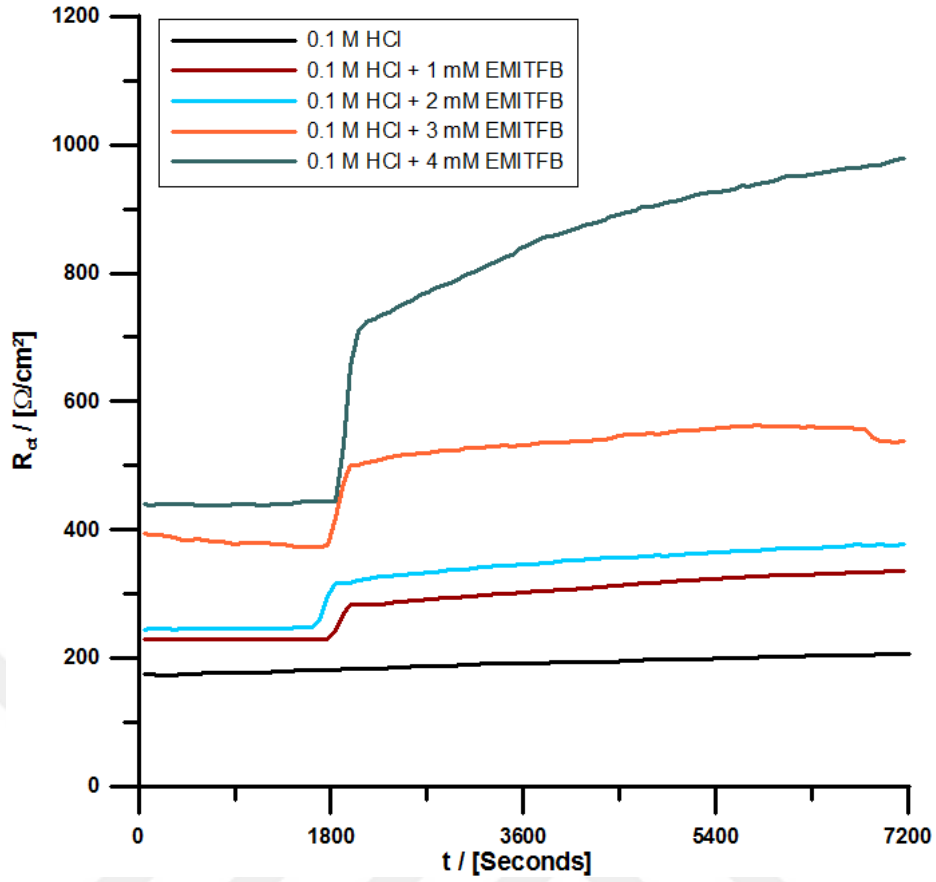


Şekil 3.4. St37 metalinin DEIS sonucu elde edilen 3D grafikleri (a) 0.1 M HCl, (b) 0.1 M HCl + 1 mM EMITFB, (c) 0.1 M HCl + 2 mM EMITFB, (d) 0.1 M HCl + 3 mM EMITFB, (e) 0.1 M HCl + 4 mM EMITFB.



Şekil 3.4 (devam) St37 metalinin DEIS sonucu elde edilen 3D grafikleri (a) 0.1 M HCl, (b) 0.1 M HCl + 1 mM EMITFB, (c) 0.1 M HCl + 2 mM EMITFB, (d) 0.1 M HCl + 3 mM EMITFB, (e) 0.1 M HCl + 4 mM EMITFB.

Şekil 3.4 incelendiğinde St37 metalinin korozyon davranışının EIS yöntemiyle paralel olduğu görülmektedir. 30 dakika sonra ortama inhibitör ilave edilir edilmez yarı dairelerde kopukluk ve çaplarının büyüdüğü gözlenmiştir. İnhibitör ilavesi üzerine yarı dairelerde meydana gelen kopukluk ve daha büyük boyut, inhibitör moleküllerinin metal yüzeyindeki aktif bölgelere adsorpsiyonuna bağlı olan yavaş bir korozyon tepkimesini ifade etmektedir [69]. Empedans spektrumları ($R(QR)$) devresi modeli ile ZSimpWin 3.21 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir (Şekil 3.3). Şekil 3.5'te 0.1 M HCl ortamında St37 metaline ait R_{ct} grafiği görülmektedir.



Şekil 3.5. DEIS yöntemi ile elde edilen R_{ct} değerinin zamana bağlı değişimi.

Sisteme EMITFB ilave edildikten sonra ani bir artış olması kullandığımız inhibitörün etkisini göstermektedir. Ölçüm süresi boyunca yük transfer direnci neredeyse sabittir. Bu da sistemin stabil olduğunu ima etmektedir. Sistemin R_{ct} 'sinin daldırma süresine bağlı olarak arttığı görülmektedir. Bu artış daldırma süresine bağlı olarak metal yüzeyine adsorbe olan inhibitörün kararlılığından kaynaklanmaktadır [68]. DEIS yöntemi sonucu elde edilen parametreler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin EMITFB ilavesi ile elde edilen DEIS sonuçları.

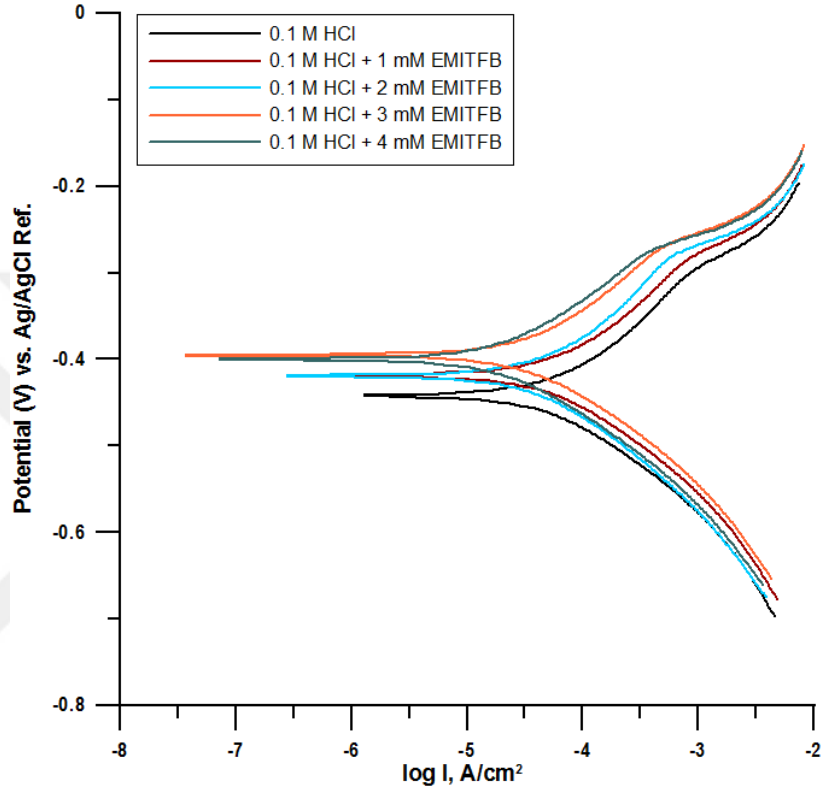
St37	R_s (Ω)	Q (CPE)	n ($0 \leq n \leq 1$)	R_{ct} (Ω)	% IE
0.1 M HCl	19.85	192	0.91	206.8	-
0.1 M HCl + 1 mM EMITFB	14.92	213.8	0.85	335.4	38.34
0.1 M HCl + 2 mM EMITFB	14.61	204.8	0.84	376.9	45.13
0.1 M HCl + 3 mM EMITFB	15.7	110.1	0.87	538.5	61.60
0.1 M HCl + 4 mM EMITFB	16.03	97.2	0.89	978.4	78.86

Çizelge 3.2'ye göre DEIS yöntemi sonucu metale ait parametrelerden Q 'nun 192'den 97.2'ye azaldığı, n değerinin 1 mM EMITFB ilavesi ile azaldığı ancak konsantrasyonun

arttırılması ile R_{ct} değerinin 206.8 Ω 'dan 978.4 Ω 'a arttığı belirlenmiştir. Buna bağlı olarak Denklem (3.2) yardımı ile elde edilen % IE ise 78.86 olarak hesaplanmıştır.

3.1.3. Tafel Ekstra Polarizasyon (TP)

Oda sıcaklığında 0.1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ve inhibitörlü ortamlarda St37 metali için TP yöntemi sonrasında elde edilen eğriler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin EMITFB ilavesi ile elde edilen TP eğrileri.

Şekil 3.6'da inhibitör konsantrasyonu arttırıldıkça E_{corr} değerinde önemli derecede değişiklik olmadığı ve korozyon akım yoğunluğunun (I_{corr}) giderek azaldığı görülmektedir. Bu davranış inhibitörün karma tip olduğunu göstermektedir. Katodik akım-potansiyel eğrilerinin paralel olduğu görülmektedir. Bu da katotta meydana gelen H^+ indirgenme reaksiyonlarının aktivasyon kontrollü mekanizma yoluyla gerçekleştiğini ortaya koymaktadır [45], [70], [71]. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metali için elde edilen TP yöntemi sonuçları Çizelge 3.3'te görülmektedir.

Çizelge 3.3. İnhibitörlü ve inhibitörsüz 0.1 M HCl ortamında St37 metali için elde edilen TP sonuçları.

St37	E_{corr} (mV/Ag/AgCl)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	β_a (mV/dec)	β_c (mV/dec)	IE %
0.1 M HCl	-442	63.8	119.6	114.4	-
0.1 M HCl + 1 mM EMITFB	-419	46.3	88.8	85.5	27
0.1 M HCl + 2 mM EMITFB	-419	34.6	94.1	96.6	46
0.1 M HCl + 3 mM EMITFB	-395	24.9	84.4	76.6	61
0.1 M HCl + 4 mM EMITFB	-400	17	84.9	78.6	73

Çizelge 3.4'teki sonuçlara göre inhibitörlü ve inhibitörsüz ortamdaki potansiyeller (E_{corr} , $E_{corr(inh)}$) değerleri incelendiğinde, her konsantrasyon için $E_{corr(inh)}-E_{corr}$ farkı sırasıyla +23, +23, +47 ve +24 mV olarak hesaplanmıştır. $E_{corr(inh)}-E_{corr}$ değerlerinin ± 85 mV arasında olması EMITFB bileşiğinin karma tip inhibitör olarak davrandığını göstermektedir. EMITFB ilavesi ile β_a ve β_c değerlerindeki önemli değişiklik bu iddiayı desteklemektedir. Ayrıca β_a ve β_c değerlerinin artan inhibitör konsantrasyonu ile sabit bir şekilde artış yada azalış göstermemesi hem anodik hem de katodik reaksiyonların mekanizmasının değişmediğini ifade etmektedir [72]. Konsantrasyonun artırılmasıyla I_{corr} değerlerinin $63.8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 'den $17 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 'ye azaldığı görülmektedir.

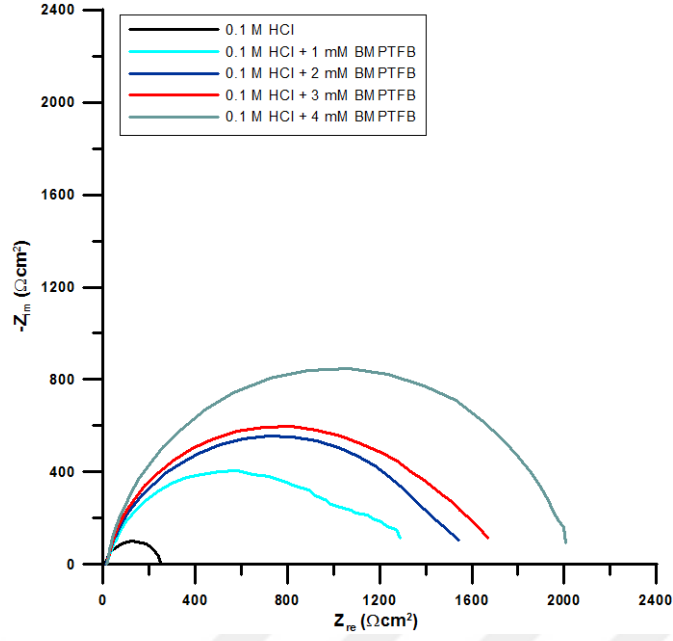
$$\%IE = \left(\frac{I_{corr} - I_{corr(inh)}}{I_{corr}} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

Denklemden I_{corr} ve $I_{corr(inh)}$ inhibitörsüz ve inhibitörlü ortamda korozyon akım yoğunluğunu tanımlamaktadır. TP yöntemi sonucu St37 metali için 0.1 M HCl ortamında EMITFB bileşiğinin inhibisyon yüzdesi % 73 olarak Denklem (3.3) yardımıyla hesaplanmıştır.

3.2. BMPTFB'NİN İNHİBİTÖR ETKİSİNİN ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ

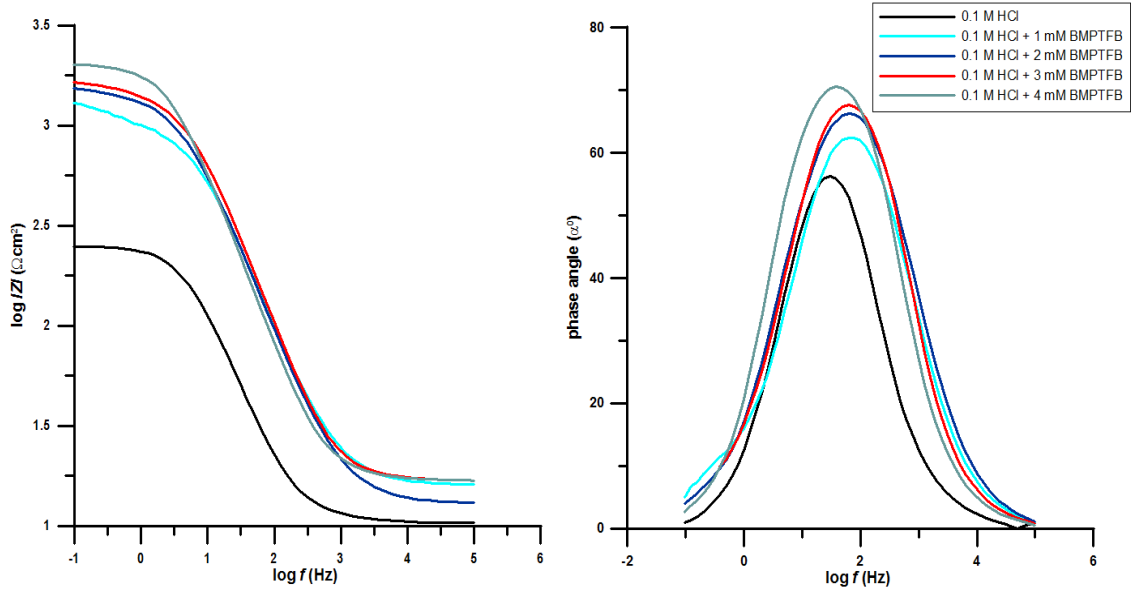
3.2.1 Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS)

0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin korozyon davranışı oda sıcaklığında 2 saat süren açık devre potansiyeli sonunda hesaplanmıştır. St37 metalinin HCl çözeltisi ortamında BMPTFB'nin inhibitör etkisinin EIS yöntemi sonucu elde edilen Nyquist diyagramı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin BMPTFB ilavesi ile elde edilen Nyquist diyagramları.

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi incelenen sistemde Nyquist spektrumları, çalışılan elektrotun yüzeyinin düzgün olmaması sebebiyle yarı daireler tam olarak oluşmamıştır. Çözelti içerisine BMPTFB ilavesi yük transfer hızı üzerinde etkili olmuş yani korozyon reaksiyonlarını yavaşlatmıştır. Nyquist diyagramlarındaki büyüme bunu desteklemektedir. Şekil 3.8’de agresif ortama BMPTFB ilavesi ile elde edilen Bode-Angle diyagramları gösterilmektedir.



Şekil 3.8. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin BMPTFB ilavesi ile elde edilen Bode-Angle diyagramları.

Elde edilen Bode-Angle diyagramından tek bir zaman sabiti olduğu ve BMPTFB miktarına bağlı olarak artış görülmektedir. Bode-Angle diyagramları tarafından sergilenen tek lop sistemin korozyonunun sadece yük transfer tarafından kontrol edildiğini ifade etmektedir. Ortama BMPTFB ilave edildiğinde $\log|Z|$ değerinin $2.3 \Omega\text{cm}^2$ 'den $3.25 \Omega\text{cm}^2$ 'ye, faz açısının ise 55° 'den 70° 'ye arttığı gözlenmiştir. BMPTFB ilavesi ile sürecin değişmediği görülmektedir. BMPTFB bileşiğinin metal yüzeyine adsorbe olması yük transferini zorlaştırmıştır. BMPTFB'nin konsantrasyonuna bağlı olarak koruyucu tabakanın kalınlığının arttığı ve metalin korozyon hızının azaldığı tespit edilmiştir.

Elde edilen Nyquist diyagramları ZSimpWin 3.21 programı kullanılarak Şekil 3.3'te gösterilen devre ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. Yüzde inhibitör etkinlikleri ($\%IE$) Denklem (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

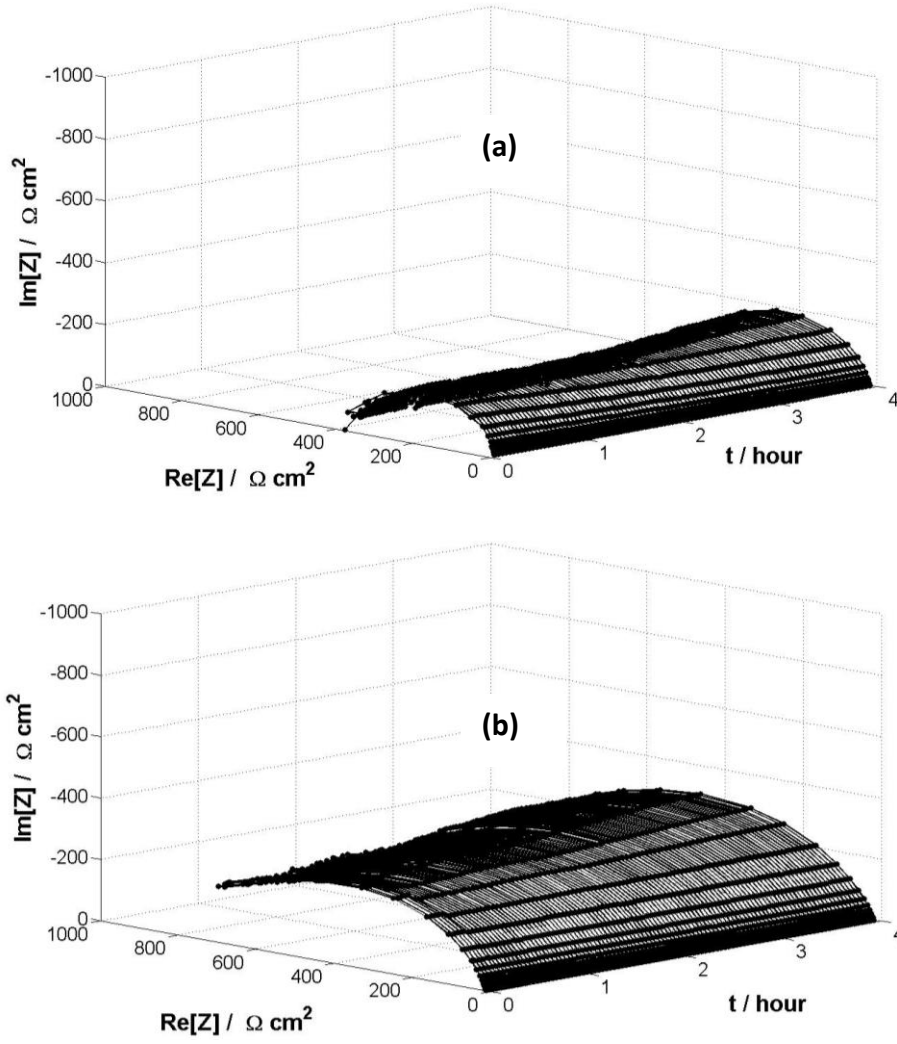
Çizelge 3.4. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin BMPTFB ilavesi ile elde edilen EIS sonuçları.

St37	$R_s (\Omega)$	Q (CPE)	n ($0 \leq n \leq 1$)	$R_{ct} (\Omega)$	$\% IE$
0.1 M HCl	8.358	214.0	0.82	240.8	–
0.1 M HCl + 1 mM BMPTFB	13.19	55.3	0.84	1179	79.5
0.1 M HCl + 2 mM BMPTFB	14.32	49.6	0.86	1490	83.8
0.1 M HCl + 3 mM BMPTFB	15.91	45.3	0.87	1572	84.6
0.1 M HCl + 4 mM BMPTFB	17.12	40.5	0.88	2006	88.1

Çizelge 3.4 incelendiğinde 0.1 M HCl ortamında BMPTFB konsantrasyonunun artırılmasıyla St37 metalinin korozyon direncinin arttığı görülmektedir. İnhibitörsüz ortamda ölçülen R_{ct} değeri 240.8Ω iken 4 mM BMPTFB ilavesi ile 2006Ω olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde Q değerinin 214'ten 40.5'e azaldığı ve n değerinin 0.82'den 0.88'e arttığı belirlenmiştir. Metal yüzeyindeki pürüzlülüğü ifade eden n parametresinin artması inhibitörün metal yüzeyini kapladığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak $\%IE$ ise 88.1 olarak hesaplanmıştır.

3.2.2. Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)

Korozyon süreci dinamik olduğu için DEIS yöntemi günümüzde korozyon araştırmaları için kullanılan en uygun yöntemdir [73]. Deney öncesi ortamın stabil hale gelmesi için 2 saat boyunca beklenmiştir. St37 metalinin 0.1 M HCl ortamındaki korozyon davranışı 4 saat süre ile incelenmiş ve deney sonrası elde edilen 3D grafikler Şekil 3.9'da görülmektedir.



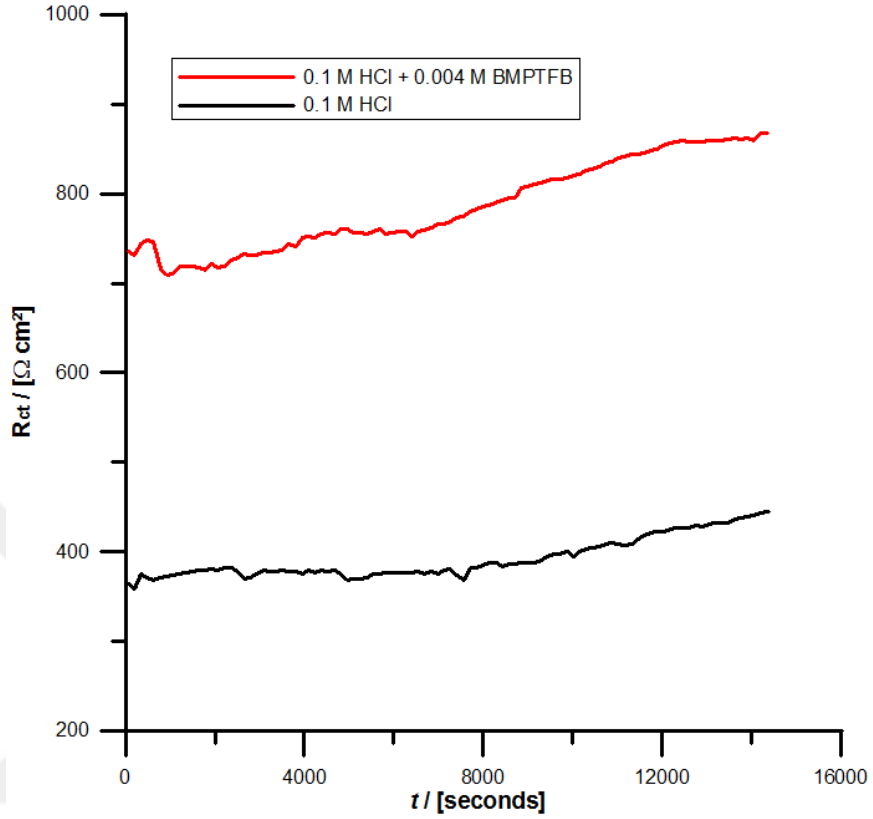
Şekil 3.9. St37 metalinin DEIS sonucu elde edilen 3D grafikleri (a) 0.1 M HCl, (b) 0.1 M HCl + 4 mM BMPTFB.

Şekil 3.9 (b) incelendiğinde BMPTFB ilavesi ile DEIS Nyquist diyagramının Re /Z/ ve Im /Z/ eksenlerinde büyüme meydana geldiği gözlenmektedir. Bu artış, BMPTFB'nin incelenen metalin korozyonunu önlemedeki etkinliğini göstermektedir. DEIS verileri, EIS yönteminde kullanılan $R(QR)$ devre modeli ile analiz edilmiştir. DEIS yöntemi sonucu elde edilen elektrokimyasal parametreler Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin BMPTFB ilavesi ile elde edilen DEIS sonuçları.

St37	İlk spektra		1 saat sonra		Son spektra	
	n	R_{ct}	n	R_{ct}	n	R_{ct}
0.1 M HCl	0.8142	363	0.8012	378,3	0.8016	444
0.1 M HCl + 4 mM BMPTFB	0.8763	735	0.8956	744,2	0.9037	867

Çizelgede DEIS yöntemi sonucu elde edilen ilk spektra, 1 saat sonra ve son spektra sonuçları verilmiştir. 0.1 M HCl ortamına BMPTFB ilave edildiğinde zamana bağlı olarak n ve R_{ct} değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir.

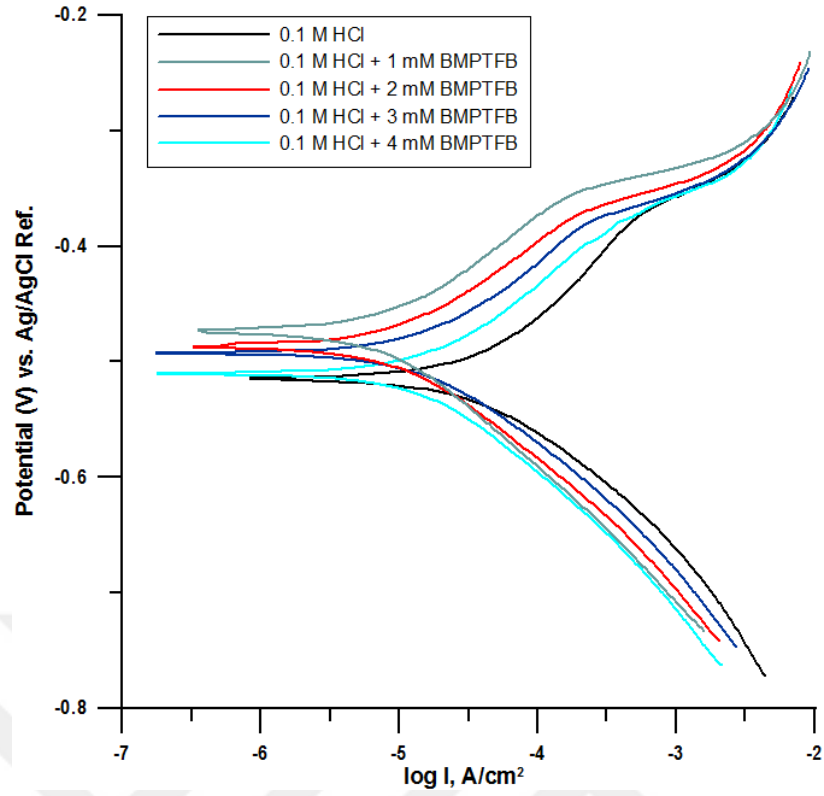


Şekil 3.10. DEIS yöntemi ile elde edilen R_{ct} değerinin zamana bağlı değişimi.

Şekil 3.10’da 0.1 M HCl ortamında St37 meteline ait R_{ct} grafiği incelendiğinde BMPTFB içeren sistemde R_{ct} -zaman grafiğinin zamanla arttığı görülmektedir. Bu bulgu sistemin hala dinamik olduğunu ve BMPTFB bileşiğinin incelenen ortamda zamana bağlı olarak etkinliğini arttırarak devam ettiğini göstermektedir.

3.2.3. Tafel Ekstra Polarizasyon (TP)

Oda sıcaklığında 0.1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ve inhibitörlü ortamlarda St37 metali için elde edilen TP eğrileri Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metalinin BMPTFB ilavesi ile elde edilen TP eğrileri.

Şekil 3.11’de BMPTFB ilavesi ile hem anodik hem de katodik akımların etkilendiği görülmektedir. Elde edilen eğrilerden BMPTFB varlığında korozyon potansiyelinin inhibitörsüz ortama kıyasla pozitif potansiyele doğru kaydığı ve BMPTFB’nin anodik reaksiyon üzerinde daha etkili rol aldığı görülmüştür. 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metali için elde edilen TP yöntemi sonuçları Çizelge 3.6’da görülmektedir.

Çizelge 3.6. İnhibitörlü ve inhibitörsüz 0.1 M HCl ortamında St37 metali için elde edilen TP sonuçları.

St37	E_{corr} (mV/Ag/AgCl)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	β_a (mV/dec)	β_c (mV/dec)	IE %
0.1 M HCl	-515	40	122	101	-
0.1 M HCl + 1 mM BMPTFB	-474	8.7	99	104	78.25
0.1 M HCl + 2 mM BMPTFB	-486	7.2	101	108	82.00
0.1 M HCl + 3 mM BMPTFB	-492	6.5	98	111	83.75
0.1 M HCl + 4 mM BMPTFB	-510	5.7	101	118	85.75

Çizelge 3.6’daki sonuçlara göre 0.1 M HCl ortamına BMPTFB ilave edildiğinde I_{corr} değeri $40 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ’den $5.7 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ’ye önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. I_{corr} değerindeki bu azalış metal yüzeyinde reaksiyon bölgelerini bloke eden inhibitörün adsorbsiyonundan kaynaklanmaktadır. Konsantrasyonun artırılması ile meydana gelen bu azalma BMPTFB’nin etkili bir inhibitör olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

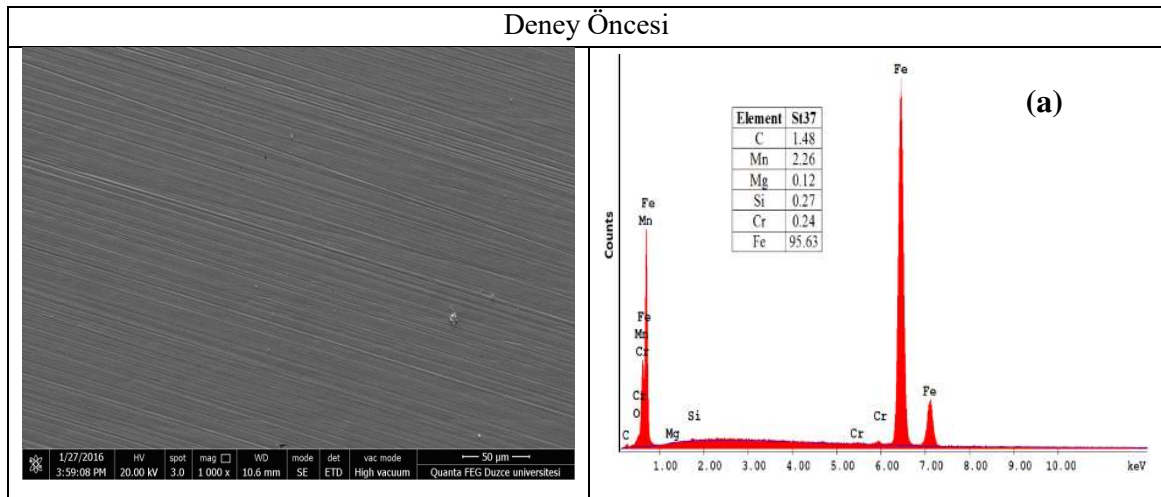
Ayrıca inhibitör konsantrasyonunun artmasıyla β_a değerlerinde sabit bir artış veya azalış gözlenmezken β_c değerlerinin istikrarlı bir şekilde arttığı gözlenmiştir. Bu durumun çalışma elektrotu, ortamın konsantrasyonu, tarama hızı veya yük transfer katsayısı gibi faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir [74], [75]. Potansiyel değerleri (E_{corr}) incelendiğinde, BMPTFB bileşiğinin karma tip inhibitör olarak davrandığı ve adsorptif inhibitör olarak hareket ettiği anlaşılmaktadır. Adsorptif inhibitörler metal yüzeyinde hidrojen gazının serbest kalmasını engeller ve metal yüzeyindeki aktif bölgelerin engellenmesi ile metalin korozyon ortamındaki çözünme oranını düşürür [76]. Denklem (3.3) yardımıyla elde edilen en yüksek inhibisyon yüzdesi %85.75 olarak hesaplanmıştır.

3.3. YÜZEY ANALİZİ

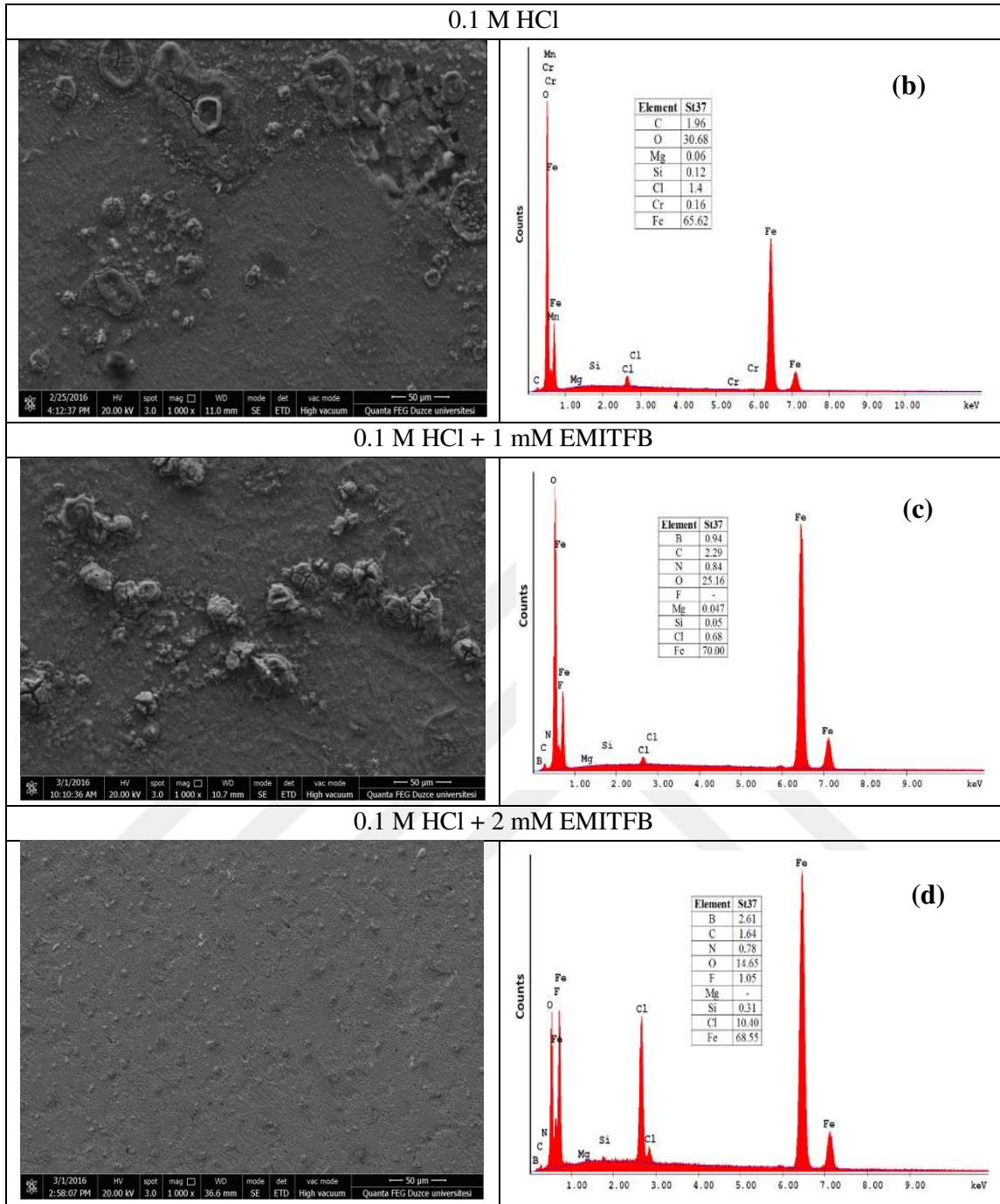
3.3.1. SEM EDS Analizi

3.3.1.1. EMITFB'nin SEM EDS Analizi

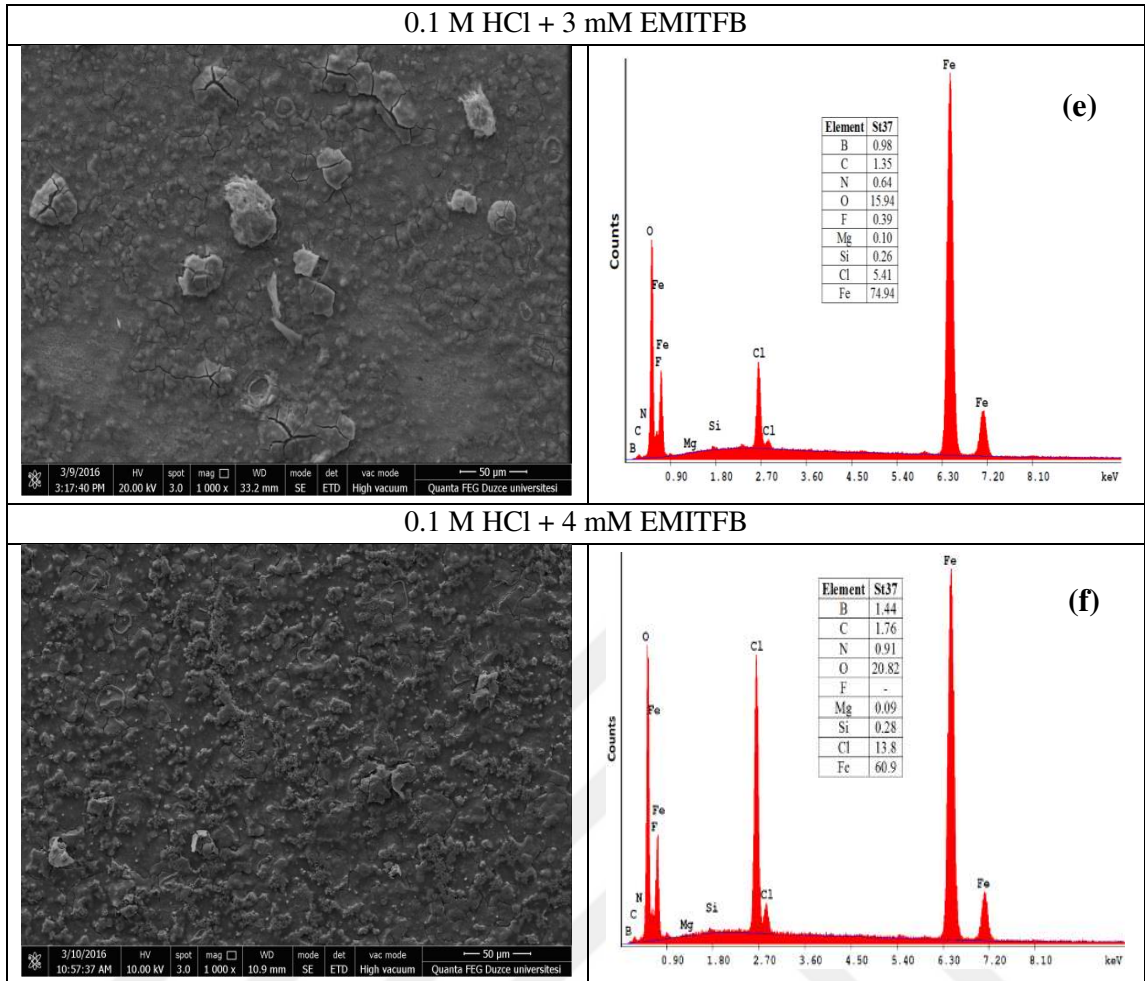
TP deneyleri sonrası inhibitörsüz ve EMITFB içeren 0.1 M HCl ortamında St37 metalinin yüzeyinde meydana gelen morfolojik değişimleri gözlemlemek için SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Elde edilen SEM ve EDS sonuçları Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. TP yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a); deney öncesi, (b); 0.1 M HCl, (c); 0.1 M HCl + 1 mM EMITFB, (d); 0.1 M HCl + 2 mM EMITFB, (e); 0.1 M HCl + 3 mM EMITFB, (f); 0.1 M HCl + 4 mM EMITFB.



Şekil 3.12 (devam) TP yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a); deney öncesi, (b); 0.1 M HCl, (c); 0.1 M HCl + 1 mM EMITFB, (d); 0.1 M HCl + 2 mM EMITFB, (e); 0.1 M HCl + 3 mM EMITFB, (f); 0.1 M HCl + 4 mM EMITFB.

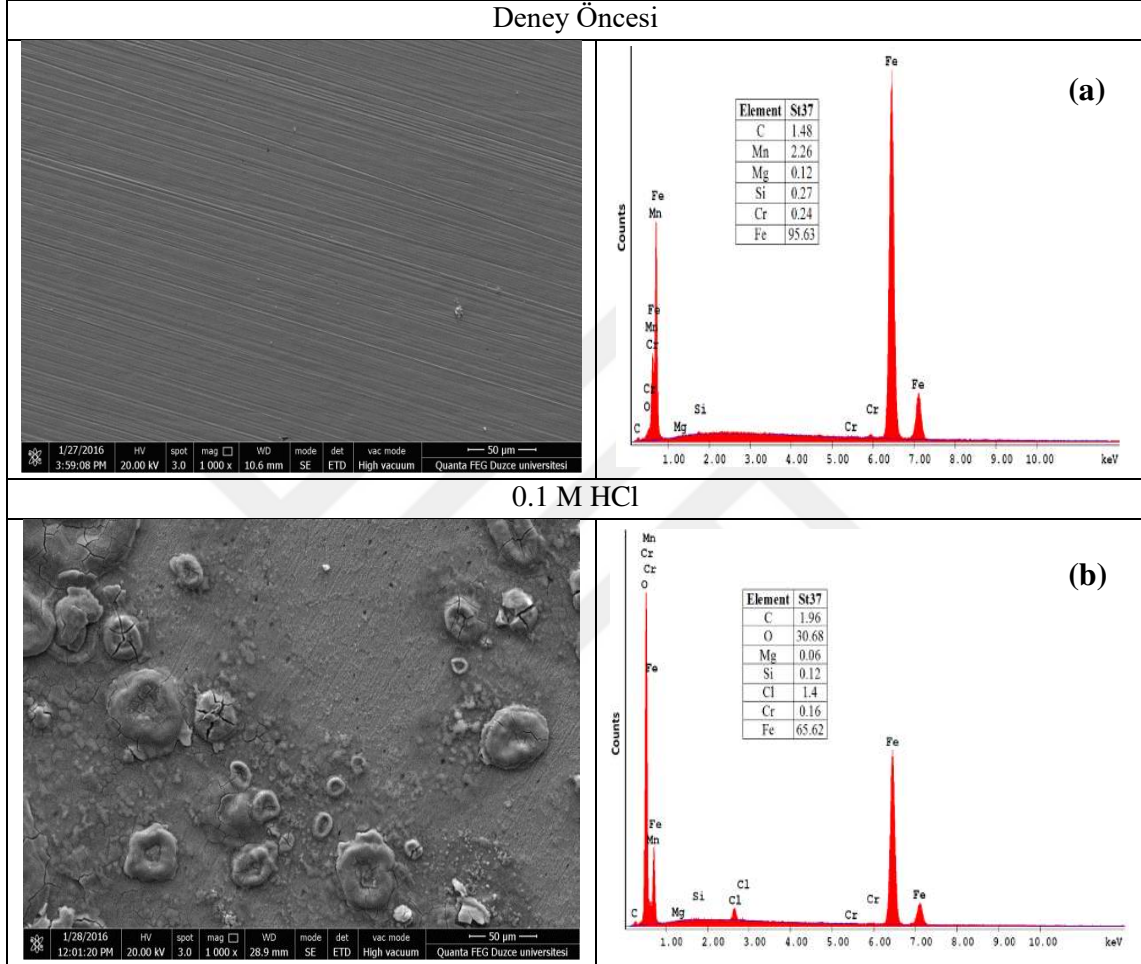


Şekil 3.12 (devam) TP yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a); deney öncesi, (b); 0.1 M HCl, (c); 0.1 M HCl + 1 mM EMITFB, (d); 0.1 M HCl + 2 mM EMITFB, (e); 0.1 M HCl + 3 mM EMITFB, (f); 0.1 M HCl + 4 mM EMITFB.

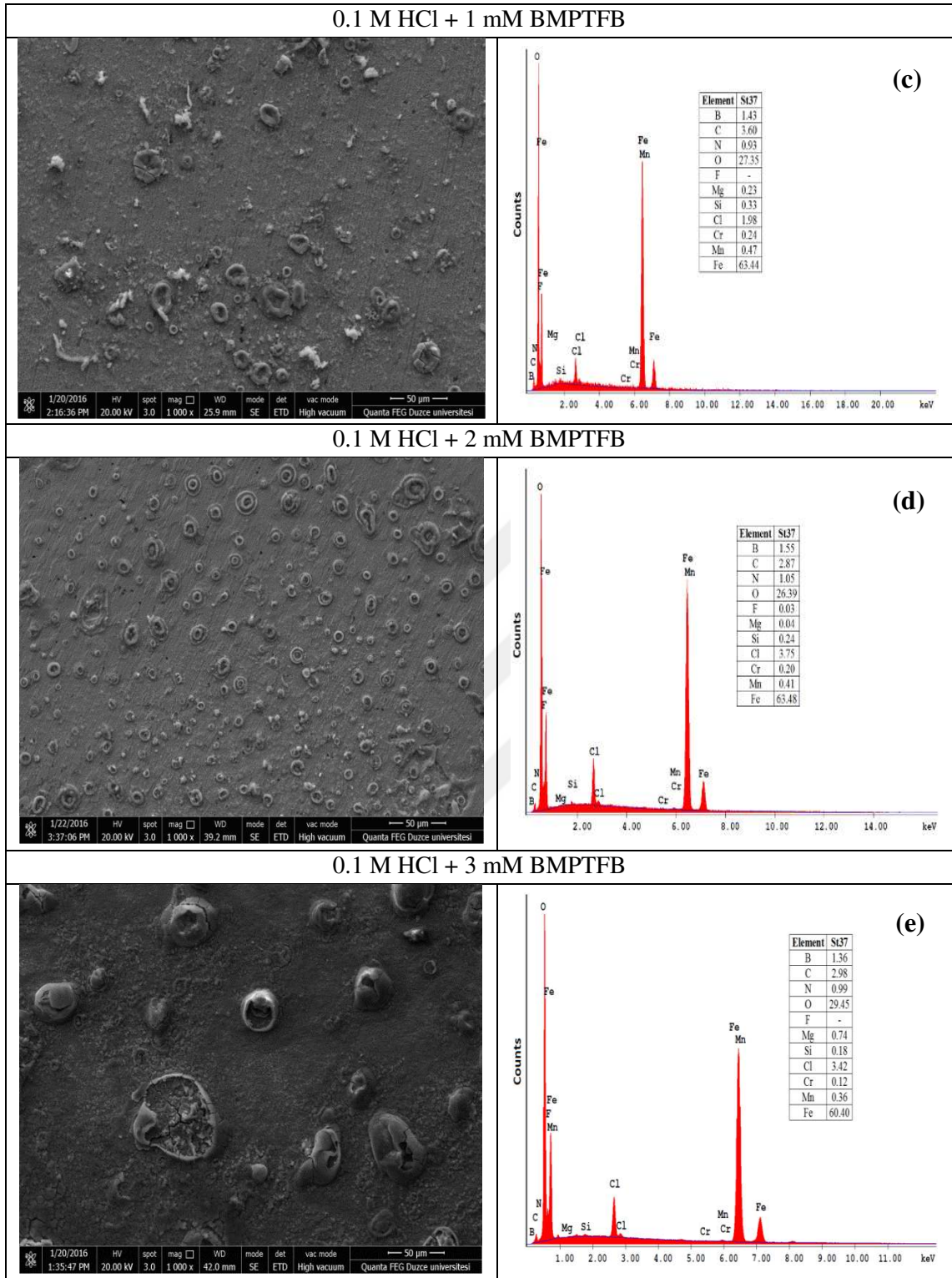
Şekil 3.12 (a)'da görüldüğü gibi deney öncesi metal yüzeyinde korozyonun olmadığı ancak zımparadan kaynaklı izler görülmektedir. Deney öncesi EDS analizi sonucu Fe miktarı %95.63 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.12 (b)'de HCl ortamına maruz bırakılan metalin yüzeyinde korozyon ürünleri görülmektedir. EDS spektrumunda O oranının yüksek olması yüzeydeki tortuların metal oksitler olduğunu göstermektedir [56]. Şekil 3.12 (c)'de EMITFB ilavesi ile korozyon ürünlerinin azaldığı ve EDS analizine göre EMITFB bileşiğinin bileşiminde bulunan N ve B gibi elementlerin varlığı, EMITFB bileşiğinin yüzeye adsorbe olduğunu göstermektedir. Konsantrasyon arttırıldıkça metalin yüzeyine adsorbe olan bileşiklerin yoğunluğunun arttığı ve korozyon ürünlerinin kaybolduğu görülmektedir (Şekil 3.12 (d), (e), (f)). Sonuçlara göre EMITFB metalin yüzeyine adsorbe olarak metali korozyona karşı koruyan bir tabakanın oluştuğunu kanıtlamaktadır.

3.3.1.2. BMPTFB'nin SEM EDS Analizi

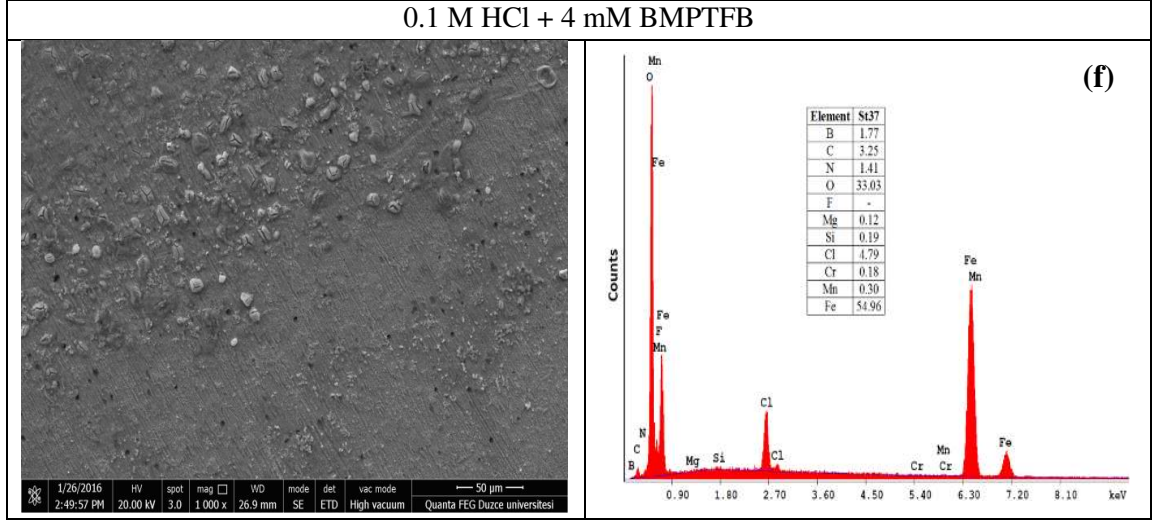
TP deneyleri sonrası inhibitörsüz ve BMPTFB içeren 0.1 M HCl ortamında St37 metalinin yüzeyinde meydana gelen morfolojik değişimleri gözlemlemek için SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Elde edilen SEM ve EDS sonuçları Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. TP yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a); deney öncesi, (b); 0.1 M HCl, (c); 0.1 M HCl + 1 mM BMPTFB, (d); 0.1 M HCl + 2 mM BMPTFB, (e); 0.1 M HCl + 3 mM BMPTFB, (f); 0.1 M HCl + 4 mM BMPTFB.



Şekil 3.13 (devam) TP yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a); deney öncesi, (b); 0.1 M HCl, (c); 0.1 M HCl + 1 mM BMPTFB, (d); 0.1 M HCl + 2 mM BMPTFB, (e); 0.1 M HCl + 3 mM BMPTFB, (f); 0.1 M HCl + 4 mM BMPTFB.



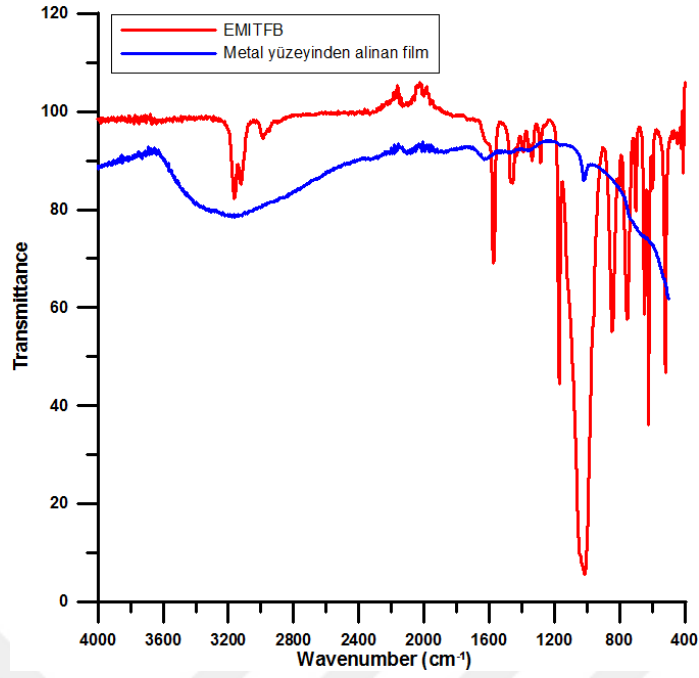
Şekil 3.13 (devam) TP yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a); deney öncesi, (b); 0.1 M HCl, (c); 0.1 M HCl + 1 mM BMPTFB, (d); 0.1 M HCl + 2 mM BMPTFB, (e); 0.1 M HCl + 3 mM BMPTFB, (f); 0.1 M HCl + 4 mM BMPTFB.

Şekil 3.13 (a)'da görüldüğü gibi deney öncesi metal yüzeyinde korozyonun olmadığı ancak zımparadan kaynaklı izler görülmektedir. Deney öncesi EDS analizi sonucu Fe miktarı %95.63 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.13 (b)'de HCl ortamına maruz bırakılan metalin yüzeyinde korozyon ürünleri görülmektedir. Korozif ortamdaki EDS analizine göre metaldeki Fe miktarının %95.63'ten %65.2'ye azaldığı, yüzeyde %30.68 oranında O miktarı belirlenmiş yani metal yüzeyinde korozyon ürünlerinin oluştuğu görülmüştür. Şekil 3.13 (c)'de BMPTFB ilavesi ile korozyon ürünlerinin azaldığı ve EDS analizine göre BMPTFB bileşiğinin bileşiminde bulunan N ve B gibi elementlerin varlığı, BMPTFB bileşiğinin yüzeye adsorbe olduğunu göstermektedir. Konsantrasyon arttırıldıkça metalin yüzeyine adsorbe olan bileşiklerin yoğunluğunun arttığı ve korozyon ürünlerinin kaybolduğu görülmektedir (Şekil 3.13 (d), (e), (f)). Sonuçlara göre BMPTFB metalin yüzeyine adsorbe olarak metali korozyona karşı koruyan bir tabakanın oluştuğunu kanıtlamaktadır.

3.3.2. FTIR Analizi

3.3.2.1. EMITFB İçin FTIR Analizi

EMITFB ve deney sonrası metal yüzeyinden alınan numuneye ait FTIR spektrumu Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. EMITFB ve metal yüzeyinden alınan filme ait FTIR spektrumu.

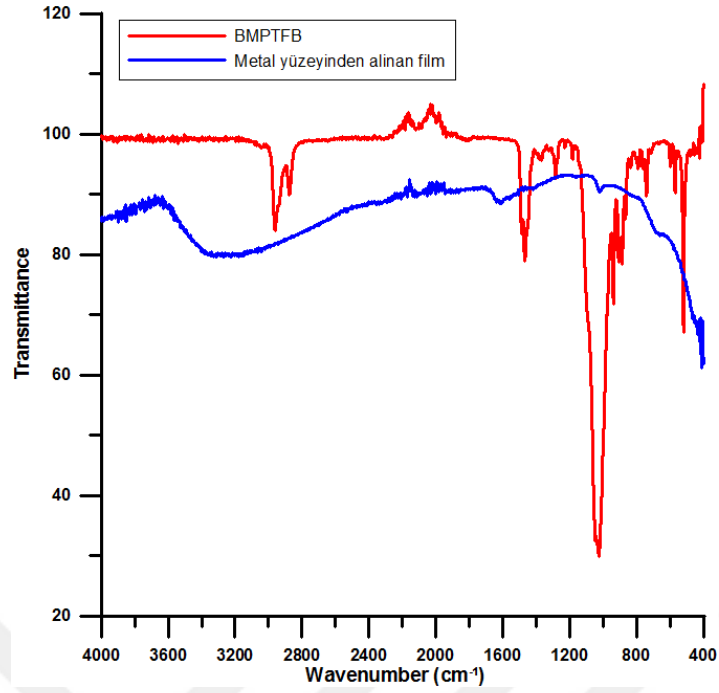
EMITFB spektrumunda 1005 cm^{-1} 'de oksijen-hidrojen (O-H), 1168 cm^{-1} 'de karbon-azot (C-N), 1567 cm^{-1} 'de karbon-karbon (C=C) ve 3155 cm^{-1} 'de oksijen-hidrojen (OH) veya azot-hidrojen (N-H) bağları keskin bir şekilde bellidir [77]. Metal yüzeyinden alınan film ile kıyaslandığında belirgin olan piklerin neredeyse kaybolduğunu ve N heteroatomunun EMITFB bileşiğinin adsorbsiyonu ile metal yüzeyinde yer aldığını göstermektedir. Ayrıca FTIR sonuçları Çizelge 3.7'de özetlenmektedir [78].

Çizelge 3.7. EMITFB bileşiğine ait FTIR analiz sonuçları.

Dalga Boyu Aralığı, cm^{-1}	Tahmini Fonksiyonel grup
3155	O-H veya N-H
1567	C=C
1168	C-N
1005	-OH
840-622	=C-H

3.3.2.2. BMPTFB İçin FTIR Analizi

BMPTFB ve deney sonrası metal yüzeyinden alınan numuneye ait FTIR spektrumu Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. BMPTFB ve metal yüzeyinden alınan filme ait FTIR spektrumu.

BMPTFB spektrumunda 1025 cm^{-1} 'de karbon-hidrojen (C-H), 1285 cm^{-1} 'de azot-hidrojen (N-H), 1466 cm^{-1} 'de karbon-hidrojen (C-H) ve 2961 cm^{-1} 'de karbon-azot (C-N) bağları keskin bir şekilde bellidir [77]. Metal yüzeyinden alınan film ile kıyaslandığında belirgin olan piklerin neredeyse kaybolduğunu ve N heteroatomunun BMPTFB bileşiğinin adsorpsiyonu ile metal yüzeyinde yer aldığını göstermektedir. Ayrıca FTIR sonuçları Çizelge 3.8'de özetlenmektedir [78].

Çizelge 3.8. BMPTFB bileşiğine ait FTIR analiz sonuçları.

Dalga Boyu Aralığı, cm^{-1}	Tahmini Fonksiyonel grup
2961	C-N
1466	C-H
1285	N-H
1025	C-H
840-622	=C-H

3.4. ADSORPSİYON İZOTERMİ VE TERMODİNAMİK PARAMETRELER

3.4.1. EMITFB İçin Adsorpsiyon İzotermi Hesaplaması

Adsorpsiyon izotermi korozyon mekanizmasını anlamak için oldukça önemlidir. Adsorpsiyon izotermi belirlenmesi için öncelikle yüzey kaplanma derecelerinin

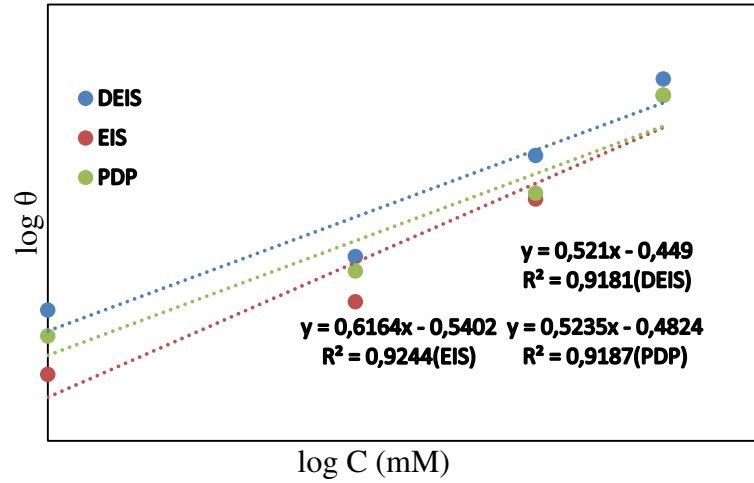
(θ) hesaplanması gerekmektedir [79]. Yüzey kaplanma derecesi Denklem (3.4) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\theta = (i_0 - i_{inh})/i_0 \quad (3.4)$$

Denklemde i_0 inhibitörsüz ortamdaki korozyon derecesini, i_{inh} ise inhibitörlü ortamdaki korozyon derecesini tanımlamaktadır.

$$\log \theta = \log K_{ads} + \frac{1}{n} \log C \quad (3.5)$$

Denklemde θ yüzey kaplanma derecesini, K_{ads} adsorpsiyon katsayısını, $1/n$ grafikten elde edilen doğrunun eğimini ve C inhibitör konsantrasyonlarını göstermektedir. Çizilen grafikten Denklem (3.5) kullanılarak K_{ads} adsorpsiyon katsayıları hesaplanmıştır (Şekil 3.16). EMITFB bileşiğinin kullanılan yöntemler sonucu, Şekil 3.16'da gösterilen doğrularda uygunluk katsayıları (R^2) 1'e yakın olduğu için Freundlich adsorpsiyon izotermine uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.16. EMITFB ilaveli 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metali için elde edilen Freundlich adsorpsiyon izotermi grafiği.

ΔG_{ads}^0 Gibbs serbest enerjisi ile K_{ads} adsorpsiyon katsayısı arasında Denklem (3.6)'da gösterildiği gibi bir bağıntı vardır.

$$\Delta G_{ads}^0 = -RT(\ln 55.5 \times K_{ads}) \quad (3.6)$$

Burada ΔG_{ads}^0 Gibbs serbest enerjisi, R gaz sabiti, T sıcaklık, K_{ads} adsorpsiyon katsayısıdır. Denklem (3.6) ile ΔG_{ads}^0 elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.9. Freundlich adsorpsiyon izoterminden elde edilen parametreler.

Metot	1/n	n	K_{ads} (M^{-1})	ΔG^0_{ads} (kJ/mol)
EIS	0.616	1.623	0.288	-6.87
DEIS	0.521	1.919	0.356	-7.39
PDP	0.524	1.908	0.329	-7.20

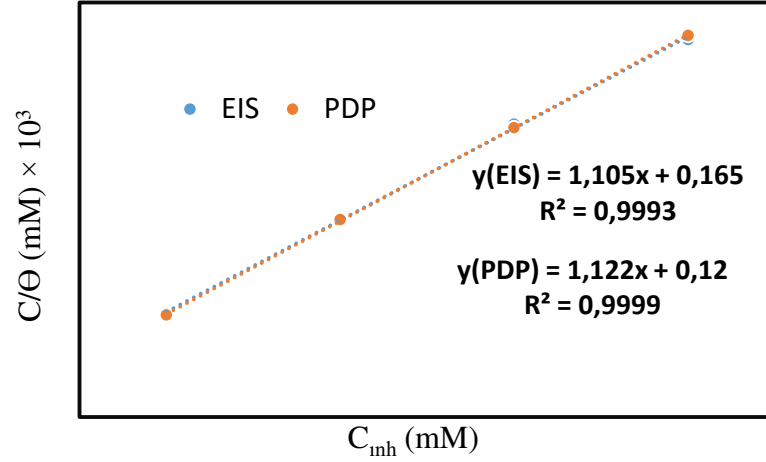
Çizelgeye göre 1/n ve n değerlerinin 0.521-0.616 ve 1.623-1.919 arasında olması EMITFB bileşiğinin St37 metaline adsorpsiyonunun uyumlu olduğunu göstermektedir. ΔG^0_{ads} , adsorpsiyonun kuvvetini ifade etmektedir. ΔG^0_{ads} -20 kJ/mol'den daha düşük değerde ise; yüklü metal yüzeyi ile yüklü inhibitör türü arasındaki elektrostatik etkileşime bağlı adsorpsiyon (fiziksel adsorpsiyon), -40 kJ/mol civarında ise; elektron paylaşımı veya inhibitör molekülünün metalin boş yörüngesine geçişini gösteren adsorpsiyon (kimyasal adsorpsiyon) olayını ifade etmektedir [80]. Elde edilen sonuçlara göre hesaplanan ΔG^0_{ads} değeri -20 kJ/mol'den daha düşük değerde olması, EMITFB bileşiği ile metal arasında fiziksel adsorpsiyon olduğunu göstermektedir.

3.4.2. BMPTFB İçin Adsorpsiyon İzotermi Hesaplaması

0.1 M HCl ortamında BMPTFB bileşiği ile metal yüzeyi arasındaki etkileşimi tanımlamak için Denklem (3.4) yardımı ile yüzey kaplanma dereceleri (θ) hesaplanmıştır. Test edilen tüm izotermeler arasında R^2 değeri 1'e en yakın olan ($R^2(EIS)=0.9993$ ve $R^2(TP)=0.9999$) Langmuir adsorpsiyon izotermine en uygun izoterm olduğu belirlenmiştir. Bu izoterm Denklem (3.7)'de gösterilen forma sahiptir [81].

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_L} + C_{inh} \quad (3.7)$$

Burada; C_{inh} = inhibitör miktarını, K_L = adsorpsiyon denge sabitini göstermektedir. Adsorpsiyon denge sabitinin yüksek olması inhibitörün metal yüzeyine daha güçlü yapıldığının göstergesidir. Şekil 3.17'de elde edilen Langmuir adsorpsiyon grafiği verilmiştir.

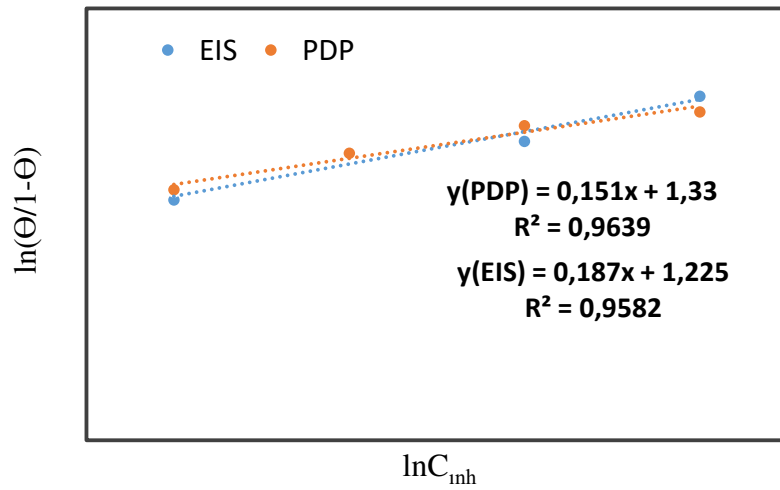


Şekil 3.17. BMPTFB ilaveli 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metali için elde edilen Langmuir adsorpsiyon izotermi grafiği.

Şekil 3.17 incelendiğinde elde edilen denklemlerin eğimi ($\text{Eğim}(\text{EIS})=1.105$ ve $\text{Eğim}(\text{TP})=1.122$) 1'den büyük olduğu için Langmuir adsorpsiyon izotermi uygun değildir. Eğimlerin sapması nedeniyle R^2 değeri göz önünde bulundurularak verilerin El-Awady kinetik/termodinamik izotermine uygun olduğu tespit edilmiştir. Denklem (3.8) El-Awady kinetik/termodinamik modelinin tanımını vermektedir.

$$\ln \frac{\theta}{1-\theta} = \ln K_e + y \ln C_{inh} \quad (3.8)$$

K_e ve K_L adsorpsiyon sabitleri olup $K^{1/y}$ 'ye eşittir. $1/y$ tek bir molekülün bağlı olduğu gerçek aktif alan sayısı hakkında bilgi verir. Şekil 3.18'de elde edilen El-Awady adsorpsiyon grafiği verilmiştir.



Şekil 3.18. BMPTFB ilaveli 0.1 M HCl çözeltisinde St37 metali için elde edilen El-Awady adsorpsiyon izotermi grafiği.

K_e ve K_L değerleri sırasıyla Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'den, $1/y$ değerleri ise Şekil 3.18'de hesaplanan eğimlerden elde edilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Langmuir ve El-Awady adsorpsiyon izoterminden elde edilen parametreler.

Metot	Langmuir		El-Awady	
	K_L	K_e	$1/y$	$-\Delta G^0_{ads}$
TP	6.061	21.380	6.623	17.538
EIS	8.333	16.788	5.348	16.939

Çizelgede $1/y$ değerlerinin 1'den daha büyük olduğu görülmektedir. Bu da BMPTFB bileşiğinin metal yüzeyinde aktif bölgelerden daha fazla yer kapladığı anlamına gelmektedir. K_L ve K_e değerleri kıyaslandığında K_e değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu El-Awady izotermine BMPTFB bileşiği ile metal yüzeyi arasındaki etkileşimin daha iyi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yüzden adsorpsiyon serbest enerjisi, K_e değeri kullanılarak Denklem (3.9) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\Delta G^0_{ads} = RT(\ln 55.5 \times K_e) \quad (3.9)$$

Denklemden R = molar gaz sabiti, T = mutlak sıcaklık ve 55.5 değeri asit çözeltisindeki suyun konsantrasyonunu temsil etmektedir. Çizelge 3.10'da görüldüğü gibi ΔG^0_{ads} değerleri negatiftir. Değerlerin negatif olması BMPTFB bileşiğinin metal yüzeyinde güçlü etkileşimi olduğunu göstermektedir [82]. ΔG^0_{ads} değerleri -20 kJ/mol'den daha düşük değerlere sahip olması fiziksel adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Sonuçlar iyonik sıvının St37 metali yüzeyine adsorbesinin yüklü BMPTFB bileşiği ile yüklü metal yüzeyi arasındaki elektrostatik etkileşim aracılığıyla olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrokimyasal deneyler ve sonrasında yapılan yüzey morfolojisi incelemeleri sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS), Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) ve Tafel Ekstra Polarizasyon (TP) yöntemleri sonucunda elde edilen bulgular birbirini desteklemektedir. St37 çeliğinin 0.1 M HCl ortamındaki korozyonunu engellemek için EMITFB ve BMPTFB bileşikleri korozyon inhibitörü olarak kullanılabilir.
- Yapılan elektrokimyasal ölçümlerden elde edilen elektriksel parametrelerin (R_{ct} , n , I_{corr} , E_{corr}) birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir.
- TP yöntemi sonucunda EMITFB ve BMPTFB bileşiklerinin karma tip inhibitör olarak davrandığı tespit edilmiştir.
- Kullanılan her iki iyonik sıvı için elde edilen inhibisyon yüzdelerinin birbirine yakın olduğu ancak BMPTFB için elde edilen değerlerin EMITFB'ye oranla daha yüksek olduğu dolayısıyla BMPTFB ilavesiyle metalin daha az korozyona uğradığı gözlenmiştir.
- SEM ve EDS analizleri EMITFB ve BMPTFB bileşiklerinin bileşiminde bulunan elementlerinin metal yüzeyine adsorblanarak metali korozyona karşı koruduğunu göstermektedir.
- Adsorbsiyon izotermi hesaplamaları sonucu elde edilen ΔG_{ads}^0 değerlerine göre EMITFB ve BMPTFB bileşiklerinin fiziksel adsorbsiyon mekanizması ile metal yüzeyine adsorbe olduğu belirlenmiştir.
- Bu araştırma iyonik sıvıların 0.1 M HCl ortamında St37 metali için inhibitör olarak kullanılabileceğini göstermektedir. İnhibitör miktarı artırılarak daha yüksek %IE elde edilebilir. Ayrıca daha farklı metal ve ortamlar (özellikle asidik ortam) için de iyonik sıvıların korozyon inhibitör potansiyeli araştırılmalıdır.

- Bu çalışma ile suda kolay çözünen ve ülkemizde bol miktarda bulunan bor elementinin katma değeri yüksek alternatif bir alanda kullanılmasının önü açılmıştır.



5. KAYNAKLAR

- [1] R. W. Revie, and H. H. Uhlig, *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*, 4th ed., New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2008.
- [2] B. Bardes, *Metals Handbook: Properties and Selection: Irons and Steels*, 9th ed., vol. 1, American Society For Metals, 1978, pp. 185 and 407.
- [3] A. Yurt, "Düşük karbon çeliğinin 0.1 M Hidroklorik asit çözeltisindeki korozyonuna kuaternar amonyum grubu içeren bileşiklerin inhibitör etkisi", Doktora tezi, Kimya Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2000.
- [4] J. He, D. Sirois, S. Lib, M. Sullivan, C. Wickle, and B. A. Chin, "Ballistic impact welding of copper to low carbon steel", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 232, pp. 165–174, 2016.
- [5] E. Bedir, C. Batıgün, ve C. H. Gür, "S235 çeliğinin MAG köşe kaynağında farklı sabitleme noktalarına bağlı gelişen çarpılma eğilimlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile tahmin edilmesi," *Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ankara, Türkiye, 2015, ss. 191-208.
- [6] C. Mızrak, "Damızlık yumurta tavuğu yemlerine farklı seviye ve formda bor ilavesinin performans, kemik gelişimi, yumurta kalitesi ve bazı kan parametreleri üzerine etkisi," Doktora tezi, Zootehni Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [7] T. W. Davies, S. Colak, and R.M. Hooper, "Boric acid production by the calcination and leaching of powdered colemanite", *Powder Technology*, vol. 65, pp. 433-440, 1991.
- [8] A. Sıpmaz, M. Gözen, ve M. Z. Gözler, "Dünya bor sektörü ve türkiye açısından önemi," *1. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Dumlupınar, Türkiye, 2002, ss. 285-290.
- [9] V. Kurtoğlu, ve F. Kurtoğlu, "Biyokimyasal özellikleri ve metabolik etkileri ile bor," *Veterinarium*, c. 15, ss. 74-87, 2004.
- [10] G. Sungur, "Yeni katyonik bor içeren iyonik sıvıların sentezi," Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2016.
- [11] J. A. Moore, and an Expert Scientific Committee, "An assesment of boric acid and borax using the IEHR evaluative process for assessing human developmental and reproductive toxicity of agents," *Reproductive Toxicology*, vol. 11, pp. 123-160, 1997.
- [12] A. Yılmaz, "Her derde deva hazinemiz bor," *Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi*, c. 35, ss. 38-48, 2002.
- [13] R. Tezcan, ve H. Tezcan, *Metaller Kimyası*, 1. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2007.
- [14] H. Gerengi and M. Kurtay, "Teaching "Corrosion and corrosion-resistant

materials" class as a must course in material and material processing technologies program”, *Electronic Journal of Vocational Colleges*, vol. 3, pp. 67-71, 2013.

- [15] H. Gerengi, “Tafel polarizasyon (TP), lineer polarizasyon (LP), Harmonik analiz (HA) ve dinamik elektrokimyasal impedans spektroskopisi (DEIS) yöntemleriyle düşük karbon çeliği (AISI 1026), pirinç-MM55 ve nikelium-118 alaşımlarının yapay deniz suyunda korozyon davranışları ve pirinç alaşımlarına benzotriazol’un inhibitör etkisinin araştırılması”, Doktora tezi, Kimya Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2008.
- [16] H. Gerengi, ve H. İ. Uğraş, “Katyonik bor içeren iyonik sıvıların korozyon inhibitörü olarak kullanılması ile ilgili patent çalışmaları,” *14. Uluslararası Korozyon Sempozyumu*, Bayburt, Türkiye, 2016, ss. 166-177
- [17] M. Kurtay, “İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum alaşımlarında asit yağmurlarının etkisiyle oluşan korozyonun incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2014.
- [18] P.A. Schweitzer, *Fundamentals of Corrosion: Mechanisms, Causes, and Preventative Methods*. CRC Press Taylor & Francis Group, London, New York, 2010.
- [19] C. M. Hansson, “The impact of corrosion on society”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 42, no. 10, pp. 2952–2962, 2011,
- [20] S. Konuklu, “Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının sülfürik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi”, Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2007.
- [21] A. A. Aksüt, “İnhibitörler ve bunların korozyonu önleme mekanizması”, *Standart Ekonomik ve Teknik Dergi*, c. 249, ss. 18, 1982.
- [22] H. Yalçın, ve T. Koç, *Mühendisler İçin Korozyon*, Kimya Mühendisleri Odası, Ankara, 1998, pp. 315.
- [23] C. Nathan, *Corrosion Inhibitors*, National Association of Corrosion Engineers, Texas, 2000.
- [24] D. Kesavan, M. Gopiraman, and N. Sulochana, “Green inhibitors for corrosion of metals: A review”, *Chemical Science Review and Letters*, vol. 1, no. 1, pp. 1-8, 2012.
- [25] T. Yanardağ, “Çinko ve çinko alaşımların korozyonunun inorganik ve organik maddelerle önlenmesi”, Doktora tezi, Kimya Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [26] C. Küstü, “Asitli ortamdaki korozyona karşı schiff bazı temelli bazı yeni inhibitörlerin geliştirilmesi”, Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [27] S. Çatal, “Alüminyumun yüzeyindeki oksit tabakasının fosforik asit (H_3PO_4) anodizing yöntemiyle geliştirilmesi”, Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2007.
- [28] T. Welton, “Room-temperature ionic liquids: Solvents for synthesis and catalysis,” *Chemical Reviews*, vol. 99, no. 8, pp. 2071–2083, 1999.

- [29] F. Dinçel, “Kiral iyonik sıvıların sentezleri”, Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2010.
- [30] R. Ratti, “Review article ionic liquids: Synthesis and applications in catalysis”, *Advances in Chemistry*, vol. 2014, pp. 1-16, 2014.
- [31] P. Wassercheid and T. Welton, *Ionic Liquids in Synthesis*, Wiley-VCH, 2nd ed. New York, USA, 2008.
- [32] Y. Zhang, H. Gao, Y.H. Joo, and J. M. Shreeve, “Ionic liquids as hypergolic fuels”, *Angewandte Chemie*, vol. 123, pp. 9726–9734, 2011.
- [33] K. Wang, Y. Zhang, D. Chand, D. A. Parrish, and J. M. Shreeve, “Boronium-based ionic liquids as hypergolic fluids”, *Chemistry - A European Journal*, vol. 18, pp. 16931–16937, 2012.
- [34] T. S. De Vries, A. Prokofjevs, and E. Vedejs, “Cationic tricoordinate boron intermediates: Borenium chemistry from the organic perspective”, *Chemical Reviews*, vol. 112, no. 7, pp. 4246-4282, 2012.
- [35] S. E. Denmark and Y. Ueki, “Lewis base activation of lewis acids – Group 13. in situ generation and reaction of borenium ions” *Organometallics*, vol. 32, no. 22, pp. 6631–6634, 2013.
- [36] P. Kölle, H. Nöth, “The chemistry of borinium and borenium ions”, *Chemical Reviews*, vol. 85, pp. 399-418, 1985.
- [37] E. P. Warren, C. B. Sara, and D. C. Korey, “Borinium, borenium, and boronium ions: synthesis, reactivity and applications,” *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 44, pp. 5016-5036, 2005.
- [38] E. Barabás, I. M. Roman, M. Paraschiv, E. Romaş, and A. T. Balaban, “Heterocyclic organoboron compounds—VII:Chelated bis-(1,3-diketonato)boronium salts with acetylacetone, benzoylacetone and dibenzoylmethane”, *Tetrahedron Letters*, vol. 24, pp. 1133-1144, (1968).
- [39] G. E. Ryschkewitsch, *Boron Hydride Chemistry (Ed.: E. L. Muettert)*, Chapter 6, Academic Press, New York, 1975.
- [40] P. A. Fox, S. T. Griffin, M. Reichert, A. Salter, A. B. Smith, M. D. Tickell, B. F. Wicker, E. A. Cioffi, J. H. Davis, R. D. Rogesr, and A. Wierzbicki, “Exploiting isolobal relationships to create new ionic liquids: Novel room-temperature ionic liquids based upon (N-alkylimidazole) (amine)BH₂⁺ “boronium” ions”, *Chemical Communications*, vol. 29, pp. 3679–3681, 2005.
- [41] Ö. Dinçyürek, “Termik santral uçucu kül tiplerinin atıksulardaki fenolün adsorpsiyon yöntemi ile giderim etkinliklerinin karşılaştırılması”, Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2006.
- [42] L. Tang, M. Guannan, and L. Guangheng, “The effect of neutral red on the corrosion inhibition of cold-rolled steel in 1 M HCl acid”, *Corrosion science*, vol. 45, pp. 2251–2262, 2003.
- [43] M. Quraishi, and D. Jamal, “Development and testing of all organic volatile corrosion inhibitors”, *Corrosion*, vol. 58, pp. 387-391, 2002.
- [44] N. V. Likhanova, M. A. Domínguez-Aguilar, O. Olivares-Xometl, N. Nava-Entzana, E. Arce, and H. Dorantes, “The effect of ionic liquids with imidazolium

- and pyridinium cations on the corrosion inhibition of mild steel in acidic environment”, *Corrosion Science*, vol. 52, pp. 2088–2097, 2010.
- [45] E. Kowsari, S. Y. Arman, M. H. Shahini, H. Zandi, A. Ehsani, R. Naderi, A. Pourghasemi Hanza, and M. Mehdipour, “In situ synthesis, electrochemical and quantum chemical analysis of an amino acid-derived ionic liquid inhibitor for corrosion protection of mild steel in 1M HCl solution”, *Corrosion Science*, vol. 112, pp. 73–85, 2016.
 - [46] A. M. El-Shamy, Kh. Zakaria, M. A. Abbas, and S. Zein El Abedin, “Anti-bacterial and Anti-corrosion effects of the ionic liquid 1-butyl-1-methylpyrrolidinium trifluoromethylsulfonate”, *Journal of Molecular Liquids*, vol. 211, pp. 363–369, 2015.
 - [47] S. K. Shetty, and A. N. Shetty, “Eco-friendly benzimidazolium based ionic liquid as a corrosion inhibitor for aluminum alloy composite in acidic media”, *Journal of Molecular Liquids*, vol. 225, pp. 426–438, 2017.
 - [48] S. M. Tawfik, “Ionic liquids based gemini cationic surfactants as corrosion inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid solution”, *Journal of Molecular Liquids*, vol. 216, pp. 624–635, 2016.
 - [49] E. Kowsari, M. Payami, R. Amini, B. Ramezanzadeh, and M. Javanbakht, “Task-specific ionic liquid as a new green inhibitor of mild steel corrosion”, *Applied Surface Science*, vol. 289, pp. 478–486, 2014.
 - [50] S. Ullah, M. A. Bustam, A. M. Shariff, G. Gonfa, and K. Izzat, “Experimental and quantum study of corrosion of A36 mild steel towards 1-butyl-3-methylimidazolium tetrachloroferrate ionic liquid”, *Applied Surface Science*, vol. 365, pp. 76–83, 2016.
 - [51] M. A. Deyab, M. T. Zaky, and M. I. Nessim, “Inhibition of acid corrosion of carbon steel using four imidazolium tetrafluoroborates ionic liquids”, *Journal of Molecular Liquids*, vol. 229, pp. 396–404, 2017.
 - [52] I. Lozano, E. Mazario, C. O. Olivares-Xometl, N. V. Likhanova, and P. Herrasti, “Corrosion behaviour of API 5LX52 steel in HCl and H₂SO₄ media in the presence of 1,3-dibenzimidazolium acetate and 1,3-dibenzimidazolium dodecanoate ionic liquids as inhibitors”, *Materials Chemistry and Physics*, vol. 147, pp. 191–197, 2014.
 - [53] Q. B. Zhang, and Y. X. Hua, “Corrosion inhibition of mild steel by alkylimidazolium ionic liquids in hydrochloric acid”, *Electrochimica Acta*, vol. 54, pp. 1881–1887, 2009.
 - [54] H. Ashassi-Sorkhabi, and M. Es’haghi, “Corrosion inhibition of mild steel in acidic media by [BMIm]Br ionic liquid”, *Materials Chemistry and Physics*, vol. 114, pp. 267–271, 2009.
 - [55] X. Zhou, H. Yang, and F. Wang, “[BMIM]BF₄ ionic liquids as effective inhibitor for carbon steel in alkaline chloride solution”, *Electrochimica Acta*, vol. 56, pp. 4268–4275, 2011.
 - [56] A. Pourghasemi Hanza, R. Naderi, E. Kowsari, M. Sayebani, “Corrosion behavior of mild steel in H₂SO₄ solution with 1,4-di[1-methylene-3-methylimidazolium bromide]-benzene as an ionic liquid”, *Corrosion Science*, vol. 107, pp. 96–106, 2016.

- [57] P. Kannan, J. Karthikeyan, P. Murugan, T. S. Rao, and N. Rajendran, "Corrosion inhibition effect of novel methyl benzimidazolium ionic liquid for carbon steel in HCl medium", *Journal of Molecular Liquids*, vol. 221, pp. 368–380, 2016.
- [58] X. Zheng, S. Zhang, W. Li, M. Gong, and L. Yin, "Experimental and theoretical studies of two imidazolium-based ionic liquids as inhibitors for mild steel in sulfuric acid solution", *Corrosion Science*, vol. 95, pp. 168–179, 2015.
- [59] Y. Sasikumar, A. S. Adekunle, L. O. Olasunkanmi, I. Bahadur, R. Baskar, M. M. Kabanda, I.B. Obot, and 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*, vol. 211, pp. 105–118, 2015.
- [60] T. Tüken, F. Demir, N. Kıcıır, G. Sığırçık, and M. Erbil, "Inhibition effect of 1-ethyl-3-methylimidazolium dicyanamide against steel corrosion", *Corrosion Science*, vol. 59, pp. 110–118, 2012.
- [61] H. Gerengi, H. I. Ugras, M. M. Solomon, S. A. Umoren, M. Kurtay, and N. Atar, "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*, vol. 30, no. 21, pp. 2383–2403, 2016.
- [62] M. Stern and A. L. Geary, "Electrochemical polarization: I. a theoretical analysis of the shape of polarization curves", *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 104, no. 1, pp. 56-63, 1957.
- [63] H. Gerengi, K. Schaefer, and H. I. Sahin, "Corrosion-inhibiting effect of mimosa extract on brass-MM55 corrosion in 0.5 M H₂SO₄ acidic media", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 18, pp. 2204–2210, 2012.
- [64] S. Nagarajan, M. Karthega, and N. Rajendran, "Pitting corrosion studies of super austenitic stainless steels in natural seawater using dynamic electrochemical impedance spectroscopy", *Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 37, pp. 195–201, 2017.
- [65] H. Gerengi, Y. Kocak, A. Jazdzewska, M. Kurtay, and H. Durgun, "Electrochemical investigations on the corrosion behaviour of reinforcing steel in diatomite- and zeolite-containing concrete exposed to sulphuric acid", *Construction and Building Materials*, vol. 49, pp. 471–477, 2013.
- [66] H. Gerengi, M. Kurtay, "Dinamik elektrokimyasal empedans spektroskopisi (DEIS)", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 1, s. 2, ss. 71-78, 2014.
- [67] A. Jazdzewska, K. Darowicki, and J. Orlikowski, "Development of dynamic method for evaluation of corrosion rate on the example of organic corrosion inhibitor", *14. Uluslararası Korozyon Sempozyumu*, Bayburt, Türkiye, 2016, ss. 59-67.
- [68] H. Gerengi, A. Jazdzewska, and M. Kurtay, "A comprehensive evaluation of mimosa extract as a corrosion inhibitor on AA6060 alloy in acid rain solution: part i. electrochemical AC methods", *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 29, no. 1, pp. 36-48, 2015.
- [69] H. Gerengi, P. Slepiski, and G. Bereket, "Dynamic electrochemical impedance spectroscopy and polarization studies to evaluate the inhibition effect of

- benzotriazole on copper-manganese-aluminium alloy in artificial sea water”, *Materials and Corrosion*, vol. 64, no. 11, pp. 1024-1031, 2012.
- [70] M. M. Solomon, and S. A. Umoren, “In-situ preparation, characterization and anticorrosion property of polypropylene glycol/silver nanoparticles composite for mild steel corrosion in acid solution”, *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 462, no. 1, pp. 29–41, 2016.
- [71] X. Li, S. Deng, and X. Xie, “Experimental and theoretical study on corrosion inhibition of oxime compounds for aluminium in HCl solution”, *Corrosion Science*, vol. 81, no. 1, pp. 162–175, 2014.
- [72] X. He, Y. Jiang, C. Li, W. Wang, B. Hou, and L. Wu, “Inhibition properties and adsorption behavior of imidazole and 2-phenyl-2-imidazoline on AA5052 in 1.0 M HCl solution”, *Corrosion Science*, vol. 83 no. 1, pp. 124–136, 2014.
- [73] H. Gerengi, H. Goksu, and P. Slepski, “The inhibition effect of mad honey on corrosion of 2007- type aluminium alloy in 3.5% NaCl solution”, *Materials Research*, vol. 17, pp. 255–264, 2014.
- [74] T. Peme, L. O. Olasunkanmi, I. Bahadur, A. S. Adekunle, M. M. Kabanda, and E. E. Ebenso, “Adsorption and corrosion inhibition studies of some selected dyes as corrosion inhibitors for mild steel in acidic medium: Gravimetric, electrochemical, quantum chemical studies and synergistic effect with iodide ions”, *Molecules*, vol. 20, pp. 16004-16029, 2015.
- [75] Y. Zhou, S. Xu, L. Guo, S. Zhang, H. Lu, Y. Gong, and G. Gao, “Evaluating two new schiff bases synthesized on the inhibition of corrosion of copper in NaCl solutions”, *RSC Advances*, vol. 5, pp. 14804–14813, 2015.
- [76] Z. Salarvand, M. Amirnasr, M. Talebian, K. Raeissi, and S. Meghdadi, “Enhanced corrosion resistance of mild steel in 1 M HCl solution by trace amount of 2-phenyl-benzothiazole derivatives: Experimental, quantum chemical calculations and molecular dynamics (MD) simulation studies”, *Corrosion Science*, vol. 114, pp. 133–145, 2017.
- [77] H. Gerengi, and H. I. Sahin, “Schinopsis lorentzii extract as a green corrosion inhibitor for low carbon steel in 1 M HCl solution”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 51, no. 2, pp. 780–787, 2012.
- [78] R. M. Silverstein, G. C. Bassler, and T. C. Morrill, *Spectrometric Identification of Organic Compounds*, 7th ed., John Wiley & Sons Inc, USA, 1981, pp. 95–98.
- [79] L. L. Shreir, R. A. Jarman, and G. T. Burstein, *Corrosion Control. Planta Tree*, Oxford, United Kingdom, 1994, pp. 2960.
- [80] H. Gerengi, I. Uygur, M. Solomon, M. Yildiz, and H. Goksu, “Evaluation of the inhibitive effect of diospyros kaki (Persimmon) leaves extract on St37 steel corrosion in acid medium”, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 4, pp. 57–66, 2016.
- [81] G. Sığircık, T. Tüken, and M. Erbil, “Assessment of the inhibition efficiency of 3,4-diaminobenzonitrile against the corrosion of steel”, *Corrosion Science*, vol. 102, pp. 437–445, 2016.
- [82] Z. Tribak, Y. Kharbach, A. Haoudi, M. K. Skalli, Y. KandriRodi, M. El Azzouzi, A. Aouniti, B. Hammouti, and O. Senhaji, “Study of new 5-chloro-isatin derivatives as efficient organic inhibitors of corrosion in 1M HCl medium:

Electrochemical and SEM studies”, *Journal of Materials and Environmental Science*, vol. 7, no. 6, pp. 2006–2020, 2016.



6. EKLER

6.1. BU TEZDEN YAPILAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

İncelemede olan SCI yayınlar:

1. M. Yıldız, H. Gerengi, M. M. Solomon, E. Kaya, and S. A. Umoren, Influence of 1-Butyl-1-Methylpiperidinium Tetrafluoroborate (BMPTFB) on Steel Dissolution Behavior in HCl Environment, Chemical Engineering Communications.
2. H. Gerengi, M. M. Solomon, H. I. Ugras, M. Yıldız and P. Slepiski, Evaluation of The Inhibiting Efficacy of 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate on St37 Steel Corrosion in HCl Medium: Effect of Iodide Ions Addition, Anti-Corrosion Methods and Materials.

Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan yayınlar:

1. H. Gerengi, H. İ. Uğraş, M. Yıldız, Bor Katyonu İçeren İyonik Sıvıların 0.1 M HCl Ortamında Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılması, Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi (Kabul edilmiş yayın).

Uluslararası Sempozyumlar:

1. M. Yıldız, H. Gerengi, H. I. Uğraş, Bor Katyonu İçeren İyonik Sıvıların 0.1 M HCl Ortamında Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılması, 1st Engineers of Future International Student Symposium, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, 15-17 June 2017.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mesut Yıldız
Doğum Tarihi ve Yeri : 28.06.1990 Balıkesir
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mesut4760@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Fizik Bölümü	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	2013
Lise		Muharrem Hasbi Anadolu Lisesi	2007

SCI yayınlar:

1. H. Gerengi, I. Uygur, M.M. Solomon, M. Yıldız, H. Göksu, 2016, "Evaluation of the inhibitive effect of Diospyros kaki(Persimmon) leaves extract on St37 steel corrosion in acid medium", Sustainable Chemistry and Pharmacy, Volume:4 Page:57-66.

İncelemede olan SCI yayınlar:

1. M. Yildiz, H. Gerengi, M. M. Solomon, E. Kaya, and S. A. Umoren, Influence of 1-Butyl-1-Methylpiperidinium Tetrafluoroborate (BMPTFB) on Steel Dissolution Behavior in HCl Environment, Chemical Engineering Communications, Manuscript ID: GCEC-2017-0044.
2. H. Gerengi, M. M. Solomon, H. I. Ugras, M. Yildiz and P. Slepiski, Evaluation of The Inhibiting Efficacy of 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate on St37 Steel Corrosion in HCl Medium: Effect of Iodide Ions Addition, Anti-Corrosion Methods and Materials, Manuscript ID: ACMM-12-2016-1738.

Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan yayınlar:

1. H. Gerengi, H. İ. Uğraş, M. Yıldız, Bor Katyonu İçeren İyonik Sıvıların 0.1 M HCl Ortamında Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılması, Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi (Kabul edilmiş yayın).
2. I. Uygur, H. Gerengi, M. A. Erden, M. Yıldız, Toz Metalurjisi İle Elde Edilen Düşük Karbon Çeliğinin % 3.5 NaCl Ortamındaki Korozyonuna Niyobyum Ve Vanadyumun Etkisi, NWSA Academic Journals – Technological Applied Sciences (Kabul Edilmiş Yayın).

Uluslararası Sempozyumlar:

1. H. Gerengi, İ. Uygur, M. Kurtay, M. Yıldız, 2015, "Mimoza bitki ekstraktının korozyon inhibitörü olarak inşaat sektöründe kullanımı", 1st International International Congress on Engineering Architecture and Design, 13-14 Kasım 2015, Kocaeli, Oral presentation/ CD.
2. I. Uygur, H. Gerengi, M.A. Erden, M. Yıldız, 2016, "Toz Metalurjisi ile Elde Edilen Düşük Karbon Çeliğinin % 3.5 NaCl Ortamındaki Korozyonuna Niyobyum ve Vanadyumun Etkisi", 14th International Corrosion Symposium, 5-7 Oct 2016, Bayburt University, Bayburt, Oral presentation/ CD. page: 77-87.
3. M. Yıldız, H. Gerengi, H. I. Uğraş, Bor Katyonu İçeren İyonik Sıvıların 0.1 M HCl Ortamında Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılması, 1st Engineers of Future International Student Symposium, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, 15-17 June 2017.
4. M. Yıldız, H. Gerengi, Jeotermal Su Ortamında Meydana Gelen Korozyonun Elektrokimyasal Yöntemle Belirlenmesi, 1st Engineers of Future International Student Symposium, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, 15-17 June 2017.

Görev Aldığı Projeler:

1. Proje Araştırmacısı (2015-2016); **TÜBİTAK**, "Mimoza Bitki Ekstraktının İnhibitör Olarak Alüminyum 6060 Ve 6082 Alaşımlarının Yapay Asit Yağmuruyla Oluşan Korozyon Mekanizmasına Etkisinin Araştırılması" (Proje No: 214Z154) [**Tamamlandı**].
2. Proje Araştırmacısı (2015-2016); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (**BAP**), "İnhibitör Olarak 8-hidroksikinolinin Bakır Üzerindeki Korozyonunun Elektrokimyasal Olarak Belirlenmesi" (Proje No: 2015.26.04.365) [**Tamamlandı**].

3. Proje Araştırmacısı (2016-2017); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (**BAP**), “Bor İçeren İyonik Sıvıların Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılması” (Proje No: 2016.06.05.492) [***Devam Ediyor***].
4. Proje Araştırmacısı (2016-2017); Düzce Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (**BAP**), “Diospyros kaki Bitki Ekstraktının Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılma Potansiyelinin Araştırılması” (Proje No: 2016.06.05.492) [***Devam Ediyor***].

