

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine EKER AKYILDIZ

**HİDROKLORİK ASİT İÇERİSİNDE YUMUŞAK ÇELİĞİN
KOROZYONUNA KARŞI İNHİBİTÖR GELİŞTİRİLMESİ**

KİMYA ANABİLİM DALI

ADANA, 2013

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİDROKLORİK ASİT İÇERİSİNDE YUMUŞAK ÇELİĞİN
KOROZYONUNA KARŞI İNHİBİTÖR GELİŞTİRİLMESİ**

Emine EKER AKYILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA ANABİLİM DALI

Bu Tez 12/07/2013 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Birgül YAZICI
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Gülfeza KARDAŞ
ÜYE

.....
Prof. Dr. Hamide KAVAK
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Kimya Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: FEF2012YL29

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere
tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİDROKLORİK ASİT İÇERİSİNDE YUMUŞAK ÇELİĞİN KOROZYONUNA KARŞI İNHİBİTÖR GELİŞTİRİLMESİ

Emine EKER AKYILDIZ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Birgül YAZICI

Yıl: 2013, Sayfa: 77

Jüri : Prof. Dr. Birgül YAZICI

: Prof. Dr. Gülfeza KARDAŞ

: Prof. Dr. Hamide KAVAK

Bu çalışmada, 3-Amino-5-methylisoxazole (3A5M), 5-Amino-3-methylisoxazole (5A3M)' nin 0,1 M HCl çözeltisi içindeki yumuşak çeliğin (MS), korozyonuna inhibisyon etkileri elektrokimyasal impedans spektroskopisi, akım-potansiyel eğrileri kullanılarak derişime ve farklı daldırma sürelerine bağlı olarak değişimi belirlenmiştir. Ayrıca maddelerin elektrot yüzeyindeki adsorpsiyon davranışlarının molekül yapısı ve fonksiyonel grupların konuma bağlılığı belirlenmiştir. $1,0 \times 10^{-2}$ M 3A5M ve 5A3M içeren 0,1 M HCl çözeltilerinin yumuşak çelik elektrodun sıfır yük potansiyeli EIS yöntemiyle belirlenmiştir. $1,0 \times 10^{-2}$ M 3A5M içeren 0,5 M HCl ve 0,1 M HCl çözeltilerindeki yumuşak çelik elektrotun 4 saatlik daldırma zamanından sonra çözelti derişiminin etkinliğe katkısını belirlemek için yüzey görüntüleri elde edilmiştir. Sonuçlar araştırılan inhibitör maddelerin yumuşak çeliğin yüzeyinde zamanla kaybolan koruyucu bir film tabakası oluşturduğunu ve orta derecede bir etkinlik sağladığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: 3-Amino-5-methylisoxazole, 5-Amino-3-methylisoxazole, Yumuşak çelik, HCl, Korozyon.

ABSTRACT

MS THESIS

TO DEVELOP INHIBITORS AGAINST CORROSION OF MILD STEEL IN HYDROCHLORIC ACID

Emine EKER AKYILDIZ

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CHEMISTRY**

Supervisor : Prof. Dr. Birgül YAZICI

Year: 2013, Pages:77

Jury : Prof. Dr. Birgül YAZICI

: Prof. Dr. Gülfeza KARDAŞ

: Prof. Dr. Hamide KAVAK

In this study, 3-Amino-5-methylisoxazole (3A5M), 5-Amino-3-methylisoxazole (5A3M) of 0,1 M HCl solution in the mild steel (MS), the corrosion inhibition effect of electrochemical impedance spectroscopy, current-potential curves depending on the concentration and different immersion were determined. The molecular structure of the substance on an electrode surface, the adsorption behavior and position of functional groups were determined. $1,0 \times 10^{-2}$ M 3A5M and 5A3M in 0,1 M HCl solutions mild steel electrode potential of zero charge determined by EIS method. $1,0 \times 10^{-2}$ M 3A5M containing 0,5 M HCl and 0,1 M HCl solutions, mild steel electrode immersion time of 4 hours, the solution concentration and surface images were obtained. Results investigated the inhibitory substances on the surface of mild steel creates a disappeared protective film over time and showed that a moderate activity.

Key Words: 3-Amino-5-methylisoxazole, 5-Amino-3-methylisoxazole, mild steel, HCl, Corrosion.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve benimle değerli bilgi ve deneyimlerini paylaşarak bana daima yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Birgül YAZICI' a sonsuz teşekkürler.

Fizikokimya Anabilim Dalındaki Değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet ERBİL, Prof. Dr. İlyas DEHRİ, Prof. Dr. Gülfeza KARDAŞ, Prof. Dr. Tunç TÜKEN, Doç. Dr. Güray KILINÇÇEKER' e ve Kimya bölümündeki tüm hocalarıma ve bölüm çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalışmam sırasında destekleriyle yanımda olan hocalarım Dr. Başak DOĞRU MERT' e, Dr. Serap TOPRAK DÖŞLÜ' ye, Ar. Gör. Gökmen SİĞİRCİK' a, sevgili arkadaşım Fatih TEZCAN' a teşekkür ederim.

Beni daima destekleyen ve bana güvenen babam Mehmet EKER' e, annem Hicran EKER' e ve kardeşlerime minnetle teşekkür ederim.

Sevgili eşim Harun AKYILDIZ' a ~~sa~~ ve sevgilerinden dolayı teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca desteğini ve sevgisini hissettiğim burada adını sayamadığım tüm öğretmenlerime ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Korozyon	1
1.2. Korozyonu Önleme Yöntemleri	4
1.3. Adsorplanan Maddelerin Metal Yüzeyindeki Genel Etkileri.....	8
1.4. İnhibitör Türleri	10
1.4.1. Anodik İnhibitörler.....	10
1.4.2. Katodik İnhibitörler.....	10
1.4.3. Karma İnhibitörler.....	11
1.4.4. Doğrudan Veya Dolaylı Etkilerine Göre	12
1.4.5. Etki Mekanizmalarına Göre.....	12
1.4.6. Organik İnhibitörler.....	14
1.5. İnhibitör Seçimi.....	15
1.6. Metal Yüzeyinin Yükü	16
1.7. Korozyon Hızını Belirleme Yöntemleri	17
1.7.1. Akım-Potansiyel Eğrileri	17
1.7.2. AC İmpedans Yöntemi	18
1.8. İnhibitör etkinliklerinin Belirlenmesi	22
1.9. Çalışmanın Amacı	22
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	25
3. MATERYAL VE METOD	31
3.1. Materyal	31
3.2. Metot	32

3.2.1. Elektrotların Hazırlanması.....	32
3.2.2 Elektrokimyasal Yöntemler	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
4.1. AC İmpedans Tekniği İle Elde Edilen Deneysel Bulgular	36
4.2. Sıfır Yük Potansiyeli (PZC)	61
4.3. Akım Potansiyel Eğrileri.....	63
4.4. Yüzey Morfolojisi.....	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ	77

Çizelge 4.1. 0,1 M HCl ‘ nin inhibitörsüz ortamdaki 1-168 saatleri arasındaki Rs/ Ω , Rp/ Ωcm^2 ve CPE/ $\mu\text{F cm}^2$ değerleri.....	58
Çizelge 4.2. 0,1 M HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içeren ortamdaki 1-168 saatleri arasındaki Rs/ Ω , Rp/ Ωcm^2 ve CPE/ $\mu\text{F cm}^2$ değerleri.....	59
Çizelge 4.3. 0,1 M HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içeren ortamdaki 1-168 saatleri arasındaki Rs/ Ω , Rp/ Ωcm^2 ve CPE/ $\mu\text{F cm}^2$ değerleri.....	60

Şekil 1.1.	Tafel eğrilerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu.....	17
Şekil 1.2.	a) Metal/çözelti ara yüzeyindeki potansiyel dağılımı b) ve c) Ara yüzeyin elektronik eşdeğer devreleri (iki farklı yaklaşım).....	18
Şekil 1.3.	Şematik kompleks diyagramı	19
Şekil 4.1.	İmpedans eğrilerinin şematik yaklaşımı	36
Şekil 4.2.	0.1 M HCl içerisindeki yumuşak çeliğin 1-168 saatlik daldırma sonundaki açık devre potansiyeli.....	37
Şekil 4.3.a.	0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 1saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi.....	39
Şekil 4.3.b.	0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 1saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi.....	40
Şekil 4.4.a.	0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 2 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi.....	41
Şekil 4.4.b.	0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 2 saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi.....	42
Şekil 4.5.a.	0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 3saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi.....	42
Şekil 4.5.b.	0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 3saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi.....	43
Şekil 4.6.a.	0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 4 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi.....	44

Şekil 4.6.b. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M)	
içerisinde yumuşak çeliğin 4 saatlik daldırma süresi sonundaki	
Bode eğrisi.....	45
Şekil 4.7.a. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M)	
içerisinde yumuşak çeliğin 72 saatlik daldırma süresi sonundaki	
Nyquist eğrisi.....	45
Şekil 4.7.b. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M)	
içerisinde yumuşak çeliğin 72 saatlik daldırma süresi sonundaki	
Bode eğrisi.....	46
Şekil 4.8.a. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M)	
içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonundaki	
Nyquist eğrisi.....	47
Şekil 4.8.b. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M)	
içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonundaki	
Bode eğrisi.....	48
Şekil 4.9.a. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M)	
içerisinde yumuşak çeliğin 1saatlik daldırma süresi sonundaki	
Nyquist eğrisi.....	49
Şekil 4.9.b. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M)	
içerisinde yumuşak çeliğin 1saatlik daldırma süresi sonundaki	
Bode eğrisi.....	50
Şekil 4.10.a. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M)	
içerisinde yumuşak çeliğin 2 saatlik daldırma süresi sonundaki	
Nyquist eğrisi.....	50
Şekil 4.10.b. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M)	
içerisinde yumuşak çeliğin 2 saatlik daldırma süresi sonundaki	
Bode eğrisi.....	51
Şekil 4.11.a. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M)	
içerisinde yumuşak çeliğin 3saatlik daldırma süresi sonundaki	
Nyquist eğrisi.....	52

Şekil 4.11.b. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 3saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi.....	53
Şekil 4.12.a. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 4 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi.....	53
Şekil 4.12.b. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 4 saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi.....	54
Şekil 4.13.a. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 72 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi.....	55
Şekil 4.13.b. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 72 saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi.....	56
Şekil 4.14.a. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi.....	56
Şekil 4.14.b. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi.....	57
Şekil 4.15.a. Yumuşak çelik elektrotun 0,1M HCl + $1,0 \times 10^{-2}$ M 3A5M içeren çözeltide elde edilen potansiyel (E) – sabit faz elementi (CPE) eğrisi.....	61
Şekil 4.15.b. Yumuşak çelik elektrotun 0,1M HCl + $1,0 \times 10^{-2}$ M 5A3M içeren çözeltide elde edilen potansiyel (E) – sabit faz elementi (CPE) eğrisi.....	62
Şekil 4.16.a. 0,1 HCl + 3A5M [(e) 5×10^{-4} M, (d) 1×10^{-3} M, (c) 5×10^{-3} M, (b) 1×10^{-2} M, (a)0 M] içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonunda elde edilen yarı logaritmik anodik akım potansiyel eğrileri	63

- Şekil 4.16.b. 0,1 HCl+5A3M [(e) 5×10^{-4} M, (d) 1×10^{-3} M, (c) 5×10^{-3} M,(b) 1×10^{-2} M, (a)0 M] içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonunda elde edilen yarı logaritmik anodik akım potansiyel eğrileri 64
- Şekil 4.17. 0,1 HCl (a) + 3A5M [1×10^{-2} M(b)] içerisinde 4 saat bekletilen yumuşak çelik elektrotun SEM görüntüleri. 65
- Şekil 4.18. İnhibitörsüz (a) ve 1×10^{-2} M 3A5M içeren (b) 0,5 M HCl çözeltisi içerisinde 4 saat bekletilen yumuşak çelik elektrotun SEM görüntüleri 66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Pt	: Platin
3A5M	: 3-Amino-5-methylisoxazole
5A3M	: 5-Amino-3-methylisoxazole
AC	: Alternatif akım
EIS	: Elektrokimyasal impedans spektroskopisi
MS	: Paslanmaz çelik
SEM	: Taramalı elektron mikroskopisi
M	: Molar konsantrasyon
HCl	: Hidroklorik asit
V	: Volt
mV	: Milivolt
A	: Amper
I	: Akım yoğunluğu
E	: Potansiyel

1. GİRİŞ

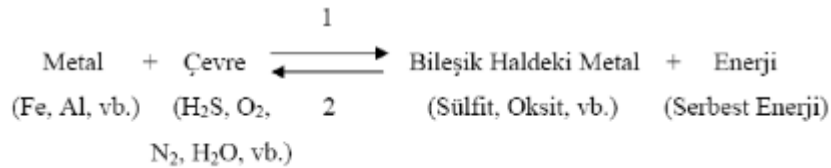
Korozyon, metal ve alaşımların kimyasal ya da elektrokimyasal olarak termodinamik bakımdan doğada kararlı olduğu bileşiklere dönüşme eğilimidir. Metal ve alaşımların çevresiyle etkileşerek fazla enerjisini dışarı vermesi, entropisini küçültmesi ve doğadaki kararlı bileşiği haline dönüşmesi şeklinde gerçekleşen doğal bir olaydır (Erbil 1984).

Korozyon, ekonomik açıdan olduğu kadar insan sağlığı bakımından da oldukça önemlidir. Özellikle, korozyon ürünlerinin, besin maddeleri ve ilaçların içine sızması tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Korozyon, endüstrinin her bölümünde kendini gösterir. Açık atmosferde bulunan tanklar, depolar, direkler, taşıtlar, iş makineleri, metal aksamdan yapılmış binalar, yeraltı boru hatları, gemiler, iskele ayakları vb. her şey korozyon süreci ile karşı karşıyadır. Korozyon sonucu dayanımını yitirmiş yapıtların, beklenmedik bir zamanda çökmesi iş kazalarına neden olur. Korozyon nedeniyle boşa giden harcamalar, üretim giderlerini de arttırmaktadır. İngiltere’ de korozyon ve korozyonun neden olduğu ekonomik kayıp, yıllık 1365 milyon paund olduğu tahmin edilmektedir. Korozyon maddi kayıplardan başka, çevre kirliliğine de yol açar. Bu nedenle, korozyon ve korozyonu önleme ilkelerinin metal malzeme kullanan her kesim ve özellikle teknik elemanlar tarafından bilinerek uygulanmasında büyük yararlar vardır (Erbil, 1985). Bunun için bilim adamları, korozyon hızının ölçülmesi ve korozyondan korunma önlemlerinin alınabilmesi için sürekli araştırmalar yapmaktadır. Elde edilen veriler doğrultusunda yeni alaşımlar veya istenildiği takdirde korozyon sürecine müdahaleler söz konusu olmaktadır.

1.1. Korozyon

Korozyon mekanik olmayan ve daha çok elektrokimyasal ya da kimyasal yolla meydana gelen aşınmadır. Kimyasal tepkimenin büyük bir kesimi elektrokimyasal yarı tepkimelere ayrılabilceğinden korozyonun tanımını ‘ metallerin elektrokimyasal tepkimeler vererek aşınmasıdır’ şeklinde özetlemek doğru olacaktır.

Metallerin çoğu oksijen, su, sülfürlü bileşikler gibi bulundukları ortamdaki birçok maddelere karşı büyük ilgi gösterirler. Bulundukları ortamla tepkime vererek metalik doğalarını değiştirirler. Bu değişim, termodinamik olarak en kararlı bileşiklerine dönüşme eğilimlerinden kaynaklanır. Bilindiği gibi metaller doğada oksitleri, sülfürleri vb. gibi değişik bileşikleri halinde bulunurlar. Doğadaki bileşikleri en kararlı olanlarıdır. Metal haline getirilirlerken enerji kapasiteleri arttırılmış, entropileri küçültülmüş durumdadırlar. Bu dönüşüm sırasında verilen enerjiyle kararsız bir sistem halindedirler. Çevreleriyle etkileşerek fazla enerjilerini dışarı vermeleri, entropilerini küçültmeleri ve doğadaki kararlı bileşikleri haline dönüşmeleri doğal bir olaydır. Bu doğal yapıya dönüşme eğilimi, dönüşüm sırasında harcanan enerji ile orantılıdır. Çok enerji sarf edilerek güçlkle elde edilen metallerin çoğu doğal yapılarına kolayca dönme eğilimi gösterirler. Yani korozyona uğrarlar (Erbil, 1987). Ortam olarak adlandırılan metal çevresi çoğunlukla bir elektrolit çözeltisidir. Kısaca korozyon elektrolitler içinde yürüyen elektrokimyasal olaylardır. Metal ve çevresi arasında gerçekleşen ve korozyon olarak tanımlanan genel reaksiyon denklemi aşağıda gösterilmiştir:



Elektrokimyasal reaksiyonun hızı anodik ve katodik yarı reaksiyonlar tarafından birlikte denetlenir. Doğal bir korozyon olayında her iki yarı reaksiyonun hızı birbirine eşittir. Korozyon reaksiyonunun anodik kesimi metal iyonlarının metal örgüsünden ayrılması ile ilgilidir. Korozyon hızı aslında anodik yarı reaksiyonun hızıdır. Katodik yarı reaksiyon ortamda bulunan elektronegatif bir iyon ya da molekül tarafından yürütülür. Doğal bir olay olan ve her metalik malzemenin, her koşulda az ya da çok etkilendiği korozyon olayını tam anlamıyla önlemek söz konusu değildir. Ancak belirli ölçülerde sınırlamak ‘ korozyonu önlemek’ olarak değerlendirilir.

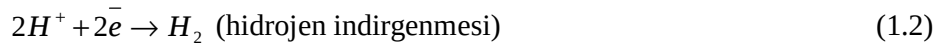
Elektro-kimyasal korozyon esasen anot rolündeki maddenin çözünmesidir. Elektrokimyasal korozyon ister mikro ölçekte ister makro ölçekte oluşsun korozyon hücresi ile modellenenir. Korozyon hücresi; anot, katot, iletken ortam (elektrolit) ve anot – katot arasındaki iletken bağlantıdan oluşur. Bu dört bileşenden biri dahi olmasa korozyon oluşmaz. Genellikle anot ile indirgenmenin söz konusu olduğu katot arasında fiziksel olarak belirli bir mesafe vardır. Bu iki uç arasında elektriksel potansiyel farkı mevcuttur ve çözeltide anottan katoda doğru elektrik akımı geçer. Akımla birlikte, anottan katoda metalden elektron akışı olur.

Korozyon reaksiyonları, anodik ve katodik yarı reaksiyonlarının toplamıdır. Korozyonda anodik reaksiyon (oksidasyon), metalin kendi iyonlarına yükseltgenmesi olup genel olarak aşağıdaki şekilde gösterilir:



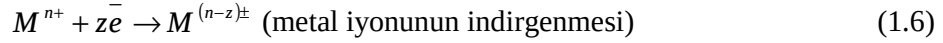
Katodik reaksiyon (redüksiyon) ise metalin yükseltgenmesine karşılık ortamdaki diğer bir maddenin ya da iyonun indirgenmesidir. Korozyonda yürüyen değişik katodik reaksiyonlar vardır. Bu reaksiyonlar ortamın asidik, bazik ya da nötr olmasına göre ve elementlerin indirgenme potansiyellerine göre değişiklik gösterir.

Asitli ortamlarda olası katot reaksiyonları:



Nötr veya alkali ortamlarda olası katot reaksiyonları:





Elektrokimyasal tepkimelerde kimyasal tepkimelerde olduğu gibi, tepkime entalpisi ve tepkime serbest enerjisi dikkate alınmalıdır. Bir tepkimenin kendiliğinden yürüyüp yürüyemeyeceği ΔG serbest enerjisinin büyüklüğüne bağlıdır. Metalin yükseltgenmesi yönünde kendiliğinden yürüyen bir tepkime için $\Delta G < 0$ olup bu tepkime korozyon tepkimesidir. Bu olay, suyun yüksekte alçağa veya ısının sıcaktan soğuğa doğru doğal akışına benzer biçimde meydana gelir.

Hücre reaksiyonundaki yarı – hücrelerin elektrot potansiyelleri arasındaki fark pil potansiyelini verir. Pil potansiyelinden yararlanarak korozyon hücresinin enerjisi hesaplanabilir ve bu enerjinin değeri negatiftir. Bu durum aşağıdaki formül ile gösterilebilir:

$$\Delta G^0 = -nFE^0 \quad (1.8)$$

Burada n, transfer edilen elektron sayısını; F, Faraday sabitini; E^0 , standart pil potansiyelini ifade eder.

1.2.Korozyonu Önleme Yöntemleri

Yapının bulunduğu çevredeki doğa şartlarını değiştirmek genellikle mümkün olmadığı için, korozyonu önleme veya geciktirme yolları araştırılır. Bu konuda ilk olarak çevre şartlarına dayanıklı metalin seçimi yapılır. İkinci olarak da metalin bir koruyucu ile kaplanması yani çevreye karşı izolasyonu yapılabilir ya da katodik koruma yapılabilir.

Belli bir ortam içinde bulunan metalik yapının korozyonunu önlemek veya korozyon hızını azaltmak üzere alınacak önlemleri üç ana grup altında toplanabilir:

1. Elektrokimyasal yöntemler
2. Koruyucu kaplamalar
3. Kimyasal yöntemler

1. Elektrokimyasal yöntemler

Katodik koruma

Katodik korumanın temel ilkeleri elektrokimyasal korozyon teorisine dayanmaktadır. Katodik koruma, korozyona uğrayan metallerin katot olarak polarizasyonunu gerektirir. Bu korunacak metali daha aktif bir metal ile (galvanik anot veya kurban anot) eşleyerek sağlanacağı gibi dıştan akım uygulayarak da gerçekleştirilebilir. Galvanik anotlar koruma sırasında belirli hızlarla çözünerek ağırlıklarını kaybederler. Bunları uygun zaman aralıklarıyla yenileyerek koruma işlevine süreklilik kazandırılır. İkinci yöntemde korunan metal ve anot çiftinin akım üretir nitelikte olması gerekmez. Çünkü koruma için gerekli akım uygun bir dış kaynaktan çekilir. Yavaş çözünürlük yanında ekonomik olan malzemeler anot malzemesi olarak kullanılır. Galvanik anotla katodik koruma sistemlerinde kullanılan anot malzemeleri genellikle çinko, alüminyum ve magnezyumdur. Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde Fe-Si, Pb-Sb-Ag ve Ti bazlı anotlar kullanılır.

Anodik Koruma

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

Anodik koruma yapılarak metal sürekli olarak pasif halde tutulur. Pasif hal, korozyon akımının en düşük olduğu haldir. Ancak en düşük korozyon akımı her zaman yeterli derecede düşük olmayabilir ve bu nedenle bazı çözeltiler için bu yöntem uygun çözüm getirmez. Ayrıca; anodik korumada, potansiyel ve akım kontrolünün çok iyi yapılması gerekir. Eğer sistemde bir arıza meydana gelirse, korunan metal kısa sürede korozyona uğrayabilir. Bu nedenle anodik koruma genellikle şiddetli korozyon olayının söz konusu olduğu ortamlarda korozyon hızını azaltmak amacıyla kullanılır.

2. Koruyucu Kaplamalar

Korozyondan korunmak için metalin koruyucu kaplamalar ile kaplanarak çevre-yapı arasında az veya çok yalıtkan bir engel oluşturmak daha ekonomik bir yoldur. Kaplamaların kalitesi elektriksel dirençleri ile ilgili olup, $10000 \text{ ohm} / \text{mm}^2$ ' den büyük dirençliler korozyon açısından uygundur.

Boyayla Koruma

Boyalar, metal yüzeyini çevreden yalıtarak su ve oksijenin metal yüzeyine ulaşmasını önleyen genellikle organik malzemelerdir. Boyaların bileşiminde korozyonu önleyici çeşitli pigmentler kullanılır. Boyalar, uygulama kolaylığı ve düşük maliyetleri nedeniyle korozyondan korumak üzere yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla çok sayıda boya cinsleri geliştirilmiştir. Bunların kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı olmakla beraber, hepsinde ortak olan, sağlam ve geçirimsiz bir kabuk oluşturarak metalin çevresi ile temasını önlemektir. Boyalar korozyonu önleme görevini üç şekilde yerine getirir:

- ü Bütün boyalar, metal yüzeyi ile çevre arasında geçirimsiz bir tabaka oluşturarak metalin çevresi ile reaksiyona girmesini önler.

ü Bazı boyalar içinde inhibitör etkisi yapan pigmentler bulunur. Bunlar metal yüzeyinin pasifleşmesine neden olurlar.

ü Bazı boyalar içinde dolgu maddesi olarak çinko tozu bulunur. Çinko galvanik etki yaparak metali katodik olarak korur.

Metalik Kaplamayla Koruma

Metalik bir yüzeyi korumak amacı ile üzerine kaplanan metal, ya bu metale göre ortama daha dayanıklı soy bir metaldir veya bu metali korumak için kendisi tercihli olarak çözünür ve kapladığı metalin çözünmesine engel olur. Yani daha aktiftir. Birinci tip yani soy metal kaplamalarına örnek, bakır üzerine altın veya gümüş, çelik üzerine kalay kurşun veya krom kaplamadır. İkinci tip, yani aktif kaplama metallerine ise, çelik üzerine çinko, kadmiyum, alüminyum kaplama örnek gösterilebilir.

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

Aktif kaplama metallerindeki küçük devamsızlıklar altından açığa çıkan alt metal ise korozyona uğramaz. Çünkü aktif metal kendisi harcanarak bir çeşit katodik koruma ile alt metali korur. Aktif metalleri ile kaplamada ilginç bir yöntem de, aktif metal yüzeylerinin kromat veya fosfat tabakası ile kaplanmasıdır. Bu durumda aktif metalin çözünmesi büyük ölçüde azalır.

Metalik kaplamaların bileşimleri, yapıları, içerdikleri safsızlıklar korozyon dirençlerine etki eder. Metal kaplamaların seçiminde ortam, metal kaplanmış parçanın kabul edilebilir ömrü, dekoratif etki, metalin türü, parçanın şekli ve boyutu, daha sonra uygulanacak imalat yöntemleri ve mekanik faktörler rol oynar. Metalik kaplamalarda sağlanmak istenen korozyon direncinin optimum olması için ise, metalik malzemenin kullanılacağı ortam, üzerine kaplama yapılan alt metal cinsi,

kaplamanın türü, uygulama şekli, kaplamanın alt veya üstünde başka kaplama bulunup bulunmadığı gibi faktörler önemlidir.

3. Kimyasal yöntemler

Uygun Metal Seçimi

Metal seçimi, işin yürütülebilirliği ile ilgili olduğu için her yeraltı ve sualtı yapılarına özel alaşımların kullanılması beklenemez. Bu nedenle bu yolla korozyondan korunmak her zaman mümkün değildir.

Örneğin, yer altı suyu temini için açılan sondaj kuyularında kullanılan filtre boruları değişik zemin, sıcaklık ve kimyasal içeriği değişik su katmanlarını kestikleri için korozyona uğrama ihtimalleri de oldukça fazladır.

İnhibitörle Koruma

Ortama az miktarda katıldığında korozyon hızını azaltan maddelere korozyon inhibitörü denir. Korozyona karşı dayanıklı fakat pahalı olan bir malzeme kullanmak yerine bazı halde ortama inhibitör katılarak daha ucuz malzemelerin kullanılması yoluna gidilir. İnhibitör kullanımı çukur korozyonuna karşı en ekonomik çözüm yoludur.

İnhibitörlerin korozyon hızı azaltıcı etkileri çeşitli şekillerde gerçekleşir. Bazı inhibitörler metal yüzeyinde ince bir film oluşturarak, metal ile çevresi arasındaki reaksiyon hızını yavaşlatır. Bazı halde ortamda bulunan korozyon yapıcı bileşenin, örneğin çözünmüş oksijenin inhibitör tarafından kimyasal olarak bağlanması ile korozyon önlenir.

1.3. Adsorplanan Maddelerin Metal Yüzeyindeki Genel Etkileri

Ortama az miktarda eklendiğinde korozyonu yavaşlatan ya da durduran maddelere inhibitör denir (Erbil, 1984). Bazı inhibitörler yüzeyde adsorplanarak

etkin olurlar, ama metal yüzeyinde adsorplanan her madde inhibitör değildir. Metal yüzeyindeki etkilerine göre, değişik oranlarda etkin olan inhibitörler veya katalizörler olabilirler. Beklenen etkileri şu biçimde özetlemek olanaklıdır:

1. Normal kapatma etkisi yapabilir: Yüzeyde adsorplanan maddenin hiçbir özelliği olmayabilir. Yüzeyi kapatarak korozyon tepkimelerinin olacağı aktif yüzeyi küçültür. Bunun sonucu korozyon hızı yavaşlar. Böyle bir kapatma etkisi iki ayrı biçimde düşünülebilir.
 - a. Adsorplanan maddenin yüzeyi kapatma kesri $\theta \rightarrow 1$ e yaklaşır. Başka bir deyişle, yüzeyin tamamına yakın bir kısmı kapatıldığı için, yüzeyde olması beklenen tepkimelerin hızı yavaşlar.
 - b. Yüzeyin çok küçük bir kesri kapatılır, ($\theta \ll 1$). Ama kapatılan yüzey, yüzeyin özellikle aktif noktaları olduğu için korozyon yavaşlar. Her iki durumda da korozyon hızı yavaşladığı için, akım potansiyel eğrilerinde kayma olur.
2. Yüzeyde adsorplanan madde yüzeyi aktifleştirebilir veya kendisi aktif olabilir. Bu koşullarda da değişik olasılıklar söz konusudur:
 - a. Kapatılmamış yüzeyde normal elektrot tepkimeleri sürebilir,(normal kapatma etkisinde olduğu gibi).
 - b. Kapatılmış metal yüzeyinde, adsorplanan maddenin katodik indirgenmesi veya anodik yükseltgenmesi olabilir.
 - c. Kapatılmış yüzeyde normal elektrot tepkimeleri de sürebilir. Böyle durumlarda gözlenen akım, hem elektrot tepkimelerinden, hem de yan tepkimelerden ileri geldiği için, eklenen maddenin gerçek elektrot tepkimesini yavaşlatıp yavaşlatmadığını, başka bir deyişle ne oranda etkin bir inhibitör olduğunu anlamak zordur. Eklenen madde katalizör bile olabilir. Aktifleştirici bir kaplanma olmuşsa, esas tepkime kaplanmış yüzeyde yürür.

1.4. İnhibitör Türleri

İnhibitörler değişik biçimde sınıflandırılabilirler. Örneğin maddenin anodik veya katodik yarı tepkimeyi yavaşlatmasına göre, yüzeyde doğrudan veya bazı ara tepkimelerden sonra etkin olmasına göre veya etki mekanizmalarına göre aşağıdaki sınıflara ayırmak olanaklıdır (Erbil, 1984).

1.4.1. Anodik İnhibitörler

Bir inhibitör sadece anodik reaksiyonu önlüyorsa, ya anot yüzeyinde adsorplanan pozitif yüklü iyonlar nedeniyle metal iyonlarının çözeltiye geçişi zorlaşmakta ya da elektrodun pasifleşmesi sonucu korozyon reaksiyonunun süreceği aktif alan azalmaktadır. Ortama anodik inhibitör eklenmesiyle korozyon akımı azalır ve korozyon potansiyeli artı yöne kayar.

Nötr ortamlarda çoğunlukla karşılaşılan ve oldukça etkin olan pasifleşme halinde, aktif yüzeyin azalması nedeniyle genel korozyon hızı azalır. Ancak bu azalma yüzeyin hala aktif olan noktaları için geçerli değildir. Toplam yüzeye göre hesaplanan korozyon akım yoğunluğu küçülürken aktif noktalardaki artar. Aktif yüzeyle pasif yüzey toplamı daima sabit ve toplam yüzeye eşit olduğundan aktif noktalardaki hız artışı aktif yüzeyin küçülmesi ile orantılıdır. Olay kısaca küçük anot büyük katot etkisine indirgenebilir. Anodik inhibisyonun mekanizması, pasifleşen bir metalin polarizasyon diyagramı kullanılarak açıklanabilir.

1.4.2. Katodik İnhibitörler

Anodik inhibitörlerin tersine, katodik inhibitörler metal yüzeyini kısmen pasifleştirme gibi bir özelliğe sahip değildirler. Katodik inhibitörler, oksijen iyonlaşması, oksijenin katoda difüzyonu ve hidrojen iyonlarının indirgenmesi gibi katodik reaksiyonların basamaklarının ilerleme hızını yavaşlatarak korozyon hızını azaltırlar. Bu olaylar ise metal yüzeyinde bölgesel korozyon oluşturmazlar. Ortama

katodik inhibitör eklenmesiyle korozyon akımı azalır ve korozyon potansiyeli eksi yöne kayar.

Katodik inhibitörün korozyon hızını yavaşlatması iki türlü olabilir.

- a. Metal yüzeyinde katot reaksiyonunun sürdüğü alan küçüldüğü için hız azalır.
- b. Katodik reaksiyon basamaklarından biri yavaşlatılarak korozyon hızı azaltılır. Katodik reaksiyon basamaklarından bir veya bir kaçının yavaşlatılması halinde elektrodun polarizlenebilirliği de değişir. Bu değişim dolaylı olarak korozyon hızının azalmasına neden olur. Polarizasyon eğrileri üzerine katodik inhibitörün etkisi incelendiğinde, ortama katodik inhibitörün eklenmesiyle anodik polarizasyon eğrisinin eğiminin bundan etkilenmediği fakat katodik polarizasyon eğrisinin eğiminin değiştiği görülür. Katodik inhibitörler bölgesel korozyona neden olmadığı ve böylece korozyon yoğunluğunu arttırmadığı için tamamen güvenli inhibitörlerdir. Çözelti içinde yetersiz miktarlarda bulunsalar bile bir tehlike söz konusu değildir.

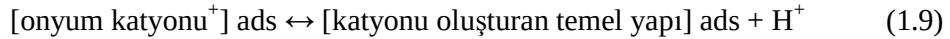
1.4.3. Karma İnhibitörler

Karma inhibitörler hem anodik hem de katodik reaksiyonlar üzerine etkirler. Bu nedenle etkilerini ölçülen potansiyele göre tahmin etmek zordur. İnhibitörün ortamda bulunmadığı ve ortamda bulunduğu koşullarda saptanan korozyon akımları arasındaki farktan etkinlikleri saptanabilir. Çoğu zaman korozyon potansiyelleri fazla değişmez, sistemin özelliklerine göre, anodik ya da katodik inhibitörlerin de karma inhibitör gibi davranması olanaklıdır.

1.4.4. Doğrudan Veya Dolaylı Etkilerine Göre

Bazı inhibitörler doğrudan yüzeye adsorplanarak etkin oldukları halde bazıları yüzeyde bazı elektrot tepkimelerine katılırlar ve tepkime sonunda oluşan yeni ürün ya da ürünler inhibitör olarak etkirler. Doğrudan etkinlik gösteren ve düşük adsorpsiyon ısılarıyla yüzeyde fiziksel olarak adsorplanan inhibitörlere birincil (primer), yüksek adsorpsiyon ısı ile yüzeyde kimyasal olarak adsorplanan ve bir elektrot tepkimesi sonucu etkin olabilen inhibitörlere ikincil (sekonder) inhibitörler denilmektedir. Birincil inhibitörler ortamda hiçbir değişikliğe uğramazlar. İkincil inhibitörler kimyasal değişime uğrarlar ve son ürünler korozyon tepkimelerini yavaşlatır.

Örneğin, onyum katyonlarının katot yüzeyinde adsorplanmaları beklenirken anot yüzeyinde adsorplandığı ve anodik akımı küçülttüğü gözlenmiştir (Erbil, 1984). Bu durum:



tepkimesine göre katyonun hidrojen bırakması ile açıklanmaktadır. Potansiyelin artmasıyla tepkime sağa kaymakta ve oluşan yüksüz molekül, yapısındaki polarlaşma sonucu anot yüzeyinde adsorplanmaktadır. Bu tür bir etki, onyum katyonlarının ikincil inhibitör olduğunu gösterir. Ama, ortamdaki eksi yüklü iyonların anot yüzeyinde adsorplanması sonucu yüzeyde eksi yüklü bir tabakanın oluşması ve onyum katyonlarının bu tabaka üzerine ikinci bir tabaka olarak adsorplanması da olasıdır. Bu durumda inhibitör birincildir. Bir inhibitörün birincil mi yoksa ikincil mi olduğunu anlamak kolay değildir. Ancak, çok özel koşullarda, her türlü etkenin denetlendiği ortamlarda ve bazı özel tekniklerle hangi tür olduğu tahmin edilebilir.

1.4.5. Etki Mekanizmalarına Göre

Inhibitörler, doğrudan veya dolaylı olarak, anodik ve katodik tepkimeler üzerine olan etkilerinin biçimine göre de sınıflandırılmaktadır. Mekanizmalarını tam

olarak saptamanın olanaksızlığı nedeniyle böyle bir sınıflandırmanın ancak kuramsal değeri vardır, deneysel sonuçları yorumlamakta yardımcı olabilir. Mekanizmalarına göre, şu üç sınıfta toplanabilir:

1. Sınır Yüzeyi İnhibitörleri

Sınır yüzeyi inhibitörleri doğrudan elektrot sınır yüzeyindeki, başka bir deyişle elektriksel çift tabakanın Helmholtz ara yüzeyindeki tepkimelerin basamaklarını yavaşlatır. Olay, iyon ve/veya elektronların geçişlerini yavaşlatarak (aktivasyon polarizasyonu) veya heterojen kimyasal tepkimelerin yavaşlatılması (tepkime polarizasyonu) biçiminde yürür. Büyük bir olasılıkla, ara yüzeydeki tepkimenin aktifleşme enerjisi büyütülmektedir.

2. Elektrolit Filmi İnhibitörleri

Elektrolit filmi inhibitörleri elektrot yüzeyinde bir difüzyon tabakası oluşturarak tepkimelerin gidişini yavaşlatır. Elektrot yüzeyine ya da elektrot yüzeyinden dışarıya madde taşınması güçleşir (difüzyon polarizasyonu) ve sınır akıma ulaşılır. Bunu sonucu homojen kimyasal tepkimelerin yürümesi de yavaşlar (tepkime polarizasyonu). Böyle bir elektrolit filmi ancak, elektriksel çift tabakanın çözelti tarafında ve çözelti içine doğru oluşabilir.

3. Zar İnhibitörleri

Bu tür inhibitörler elektrot sınır yüzeyinde gözenekli bir zar oluştururlar. Bu zar, birçok molekülden ya da bir polimerden oluşabilir. Sınır yüzeyinde bir sınır yüzeyi inhibitörü gibi etkirler. Yüzeyden daha uzak bölgelerde ise daha çok elektrolit filmi inhibitörleri gibi davranırlar. Bu inhibitörler zar gözenekleri içindeki kimyasal tepkime basamaklarını yavaşlatırlar. Toplam olarak belirgin bir ohmluk dirence neden olurlar.

1.4.6. Organik İnhibitörler

Organik inhibitörler anodik ya da katodik olarak sınıflandırılmaları mümkün olmayan korozyon inhibitörlerinin büyük bir çoğunluğunu oluştururlar. Bazı durumlarda organik inhibitörlerin yalnızca katodik ya da yalnızca anodik etki yaptığı görülse de genel bir kural olarak, organik inhibitörler yeterli konsantrasyonda bulunduklarında korozyona uğrayan metalin tamamına etki ederler. Anodik ve katodik bölgelerde metalin potansiyeline, inhibitör molekülü boyutlarına ve yapısına bağlı olarak yüzeyde değişik oranlarda adsorplanır. Organik inhibitörlerin etkileri genellikle yüzeyi kapatarak korozif ortamla etkileşebilecek yüzey alanını azaltmalarından ibarettir. Bu nedenle genellikle inhibitör etkinliği madde konsantrasyonu arttıkça artar. Çözünür bir organik maddenin metal yüzeyinde adsorplanması halinde yüzeyde oluşacak film gözle görülemeyen bir kaç molekül kalınlığında ince bir filmidir. Ancak çözünmeyen bir inhibitör katkısı ile çok daha kalın bir film oluşması sağlanabilir. Organik maddelerin inhibitör özelliği gösterebilmeleri için öncelikle metal yüzeyinde adsorplanmaları gerektiğine göre, adsorplanabilme özelliklerinin yapıları ile olan ilişkileri ve adsorplanabilme potansiyelleri çok önemlidir. İnhibitör adsorpsiyonu ile metal yüzeyinde bir yük dağılımı oluşacak ve iyonik çift tabakanın belirli bir potansiyeli olacaktır. Çift tabaka potansiyelinin büyüklüğü ve işareti de elektrot reaksiyonlarının kinetiğini değiştirebilecektir. Çift tabaka potansiyelinin iki farklı işarete (+ ve -) olabilmesi ve belirli büyüklüklerinin olması sıfır başlangıç noktasının olması gerektiğini ortaya çıkarır. Her metale özgü olmak üzere, iyonik çift tabakanın oluşmadığı bir sıfır-yük potansiyeli tanımlanmış olup, bu potansiyel yüzeyde adsorplanan maddelerce değiştirilebilir (Erbil, 1984). Metal yüzeyinde adsorplanan organik moleküllerin, yani inhibitörlerin derişimlerine ve türlerine bağlı olarak sıfır-yük potansiyelini değiştirme miktarlarından yararlanılarak inhibitör etkinliklerinin saptanması yolu özellikle inhibitör araştırmalarında sıkça uygulanan bir yöntemdir. Metal yüzeyinde iyonik çift tabaka oluşumunda öncelikle adsorplanan su molekülleri kuvvetli polarize dipoller halinde bulunacağından organik maddelerin adsorpsiyonunu engeller. Bu nedenle organik maddeler sıfır-yük potansiyelinde en çok adsorplanırlar. Elektrolit içerisine

yüzey aktif maddeler eklenirse iyonik tabakanın işaretini ve potansiyelini değiştirebileceğinden elektrodun adsorpsiyon kapasitesi de değişir. Sıfır-yük potansiyelinin her metal için sabit olmayışı ve bir çok faktörden etkilenmesi bir dezavantajdır. Organik molekülün yapısında bulunan fonksiyonel grupların etkisi tam olarak bilinmemekle birlikte, deneysel sonuçlar bu grupların inhibitör etkinliğini arttırdığını göstermektedir. Organik molekülde; -OH-, -CHO, -COOH, -CN-, -SN >CO, -NH₃, SO₃ gibi gruplar, ya da çift bağ üçlü bağ, ortaklaşmamış elektronlar varsa, madde ile metalin kolayca etkileşeceği ve sıfır yük potansiyelini değiştirerek etkinliği arttırdıkları bilinmektedir. Organik moleküllerde bulunan fonksiyonel grupların etkisi, elektron yoğunluğunun bu gruplar üzerinde daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Birçok organik molekül, azot, sülfür, oksijen, selenyum ya da fosfor gibi atomlar içeren en az bir fonksiyonel gruba sahiptir. Sözü edilen atomlar oldukça elektronegatif gruplar olup, aromatik hidrokarbonlar ya da siklik bileşikler gibi üzerinde elektron dağılımının sürekli değiştiği moleküllerde bile polarlaşmayı kolaylaştırmaktadır. Fonksiyonel gruplarda bulunan bazı elementlerin adsorpsiyona katkılarının aşağıdaki sıraya göre değiştiği ileri sürülmektedir: Selenyum >sülfür > azot > oksijen iyonizasyon potansiyellerinin de atom üzerindeki elektron yoğunluğunun bir ölçüsü olduğu ileri sürülmektedir. Düşük iyonizasyon potansiyeline sahip molekül daha iyi adsorplanmalıdır (Erbil,1984; Stoyanova, 2002).

1.5 İnhibitör Seçimi

Metal korozyonuna etkiyen faktörler çok çeşitli olduğundan inhibitör uygulamalarında başarı sağlayabilmek için bazı ilkelere dikkat edilmesi gerekmektedir. Metalin türü, ortamın bileşimi, çözeltinin pH_i, çözeltinin havalandırılıp havalandırılmadığı, ortamda bulunması muhtemel mikroorganizmalar, çözelti sıcaklığı, dizayn vb. etkin faktörlerdir (Erbil, 1984). Koşullar ayarlandığı zaman inhibitör kullanmadan bile korozyonu önlemek olanaklıdır. İnhibitör az miktarda kullanıldığı zaman ekonomik olur, bu nedenle inhibitör seçiminden uygulama kolaylığına kadar en elverişli koşulların ayarlanması gerekir.

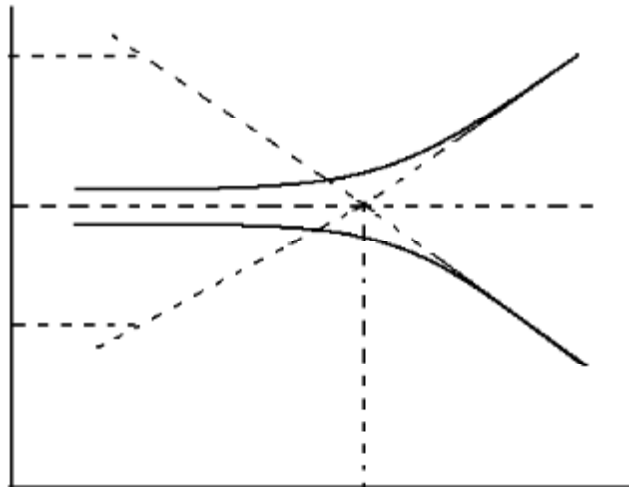
1.6. Metal Yüzeyinin Yüğü

Organik maddelerin inhibitör özelliğı gösterebilmeleri için öncelikle metal yüzeyinde adsorplanmaları gerektir buna göre, adsorplanabilme özelliklerinin yapıları ile olan ilişkileri ve adsorplanabilme potansiyelleri çok önemlidir. İnhibitor adsorpsiyonu ile metal yüzeyinde bir yük dağılımı oluşacak ve iyonik çift tabakanın belirli bir potansiyeli olacaktır. Çift tabaka potansiyelinin büyüklüğü ve işareti de elektrot reaksiyonlarının kinetiğini değıştirebilecektir. Çift tabaka potansiyelinin iki farklı işarete (+ ve -) olabilmesi ve belirli büyüklüklerinin, sıfır başlangıç noktasının olması gerektiğini ortaya çıkarır. Her metale özgü olmak üzere, iyonik çift tabakanın oluşmadığı bir sıfır-yük potansiyeli tanımlanmış olup, bu potansiyel yüzeyde adsorplanan maddelerce değıştirilebilir (Erbil, 1984a).Çözeltiye daldırılan bir metal (elektrot) yüzeyinin fazla elektronlarla yüklendiğini düşünelim. Su molekülleri elektrot yüzeyine hidrojen tarafı gelecek şekilde sıkı olarak tutunurlar. Organik türler bu durumda fazla tutunamazlar veya zayıf tutunurlar. Eğer elektrot yüzeyi daha az negatif ise, su moleküllerinin önemli bir kısmı pozisyonlarını değıştirerek oksijen tarafından da kontakt adsorplanmaya başlarlar. Böylece elektrot yükü yüksek negatif değerdan sıfıra doğru azalmaya başlar, su elektrot etkileşim enerjisi azalır, su molekülü daha kolay desorbe olur ve organik türün adsorpsiyonu daha kolay hale gelir. Su molekülleri sıfır yük potansiyelinde (PZC) daha zayıf tutulurlar ve sonuç olarak organik moleküller elektrot yüzeyine bu potansiyelde daha sıkı ve sayıca daha fazla tutunurlar. Bu nedenle maksimum organik adsorpsiyon sıfır yük potansiyelinde meydana gelir. PZC'nin pozitif tarafında ise; su dipollerinin hidrojen uçları elektrot yüzeyinden uzaklaşacak şekilde tutunma eğilimi vardır. Su moleküllerinin oksijen uçlarından elektrot yüzeyine tutunma miktarı yüzeyin pozitif yükünün artmasıyla artar ve su ile yüzey arasındaki net çekim artarak güçlenir. Organik moleküller sıkıca adsorbe olmuş su molekülleri (H^+ uçları elektrottan uzaklaşacak şekilde) tarafından yerlerinden edilmesiyle organik adsorpsiyon oldukça azalır. Adsorplanan organik türlerin miktarı PZC'de maksimum olup, aşırı pozitif ve negatif yüklerde asimptotik olarak sıfıra yaklaşır (Bockris, 2000).

1.7. Korozyon Hızını Belirleme Yöntemleri

1.7.1. Akım-Potansiyel Eğrileri

Korozyon potansiyelinden başlayarak anodik ve/veya da katodik yönde çizilen yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrileri Tafel eğrileri olarak bilinir ve Tafel eğrilerinin çizgisel kısımları geriye doğru ekstrapole edildiğinde korozyon potansiyelinde kesişirler. Kuramsal olarak, korozyon potansiyelinde kesiştikleri noktanın belirlendiği akım korozyon akımıdır. Tafel eğrilerinin ekstrapole edilecek doğrusal kısmı çok önemlidir ve bu bölgenin güvenli olması için, korozyon potansiyelinden en az 40-50 mV sonra başlaması ve akımın en az 10 kat artmasına kadar sürmelidir (Şekil 1.1.). Akımın 10 kat artmasını sağlayacak potansiyel aralığı eğrinin doğruluğu içindir. Korozyon potansiyeli dolayındaki potansiyel aralığı ise; anodik eğrideki katodik akımın ya da katodik eğrideki anodik akımın katkısını en aza indirmek içindir.



Şekil 1.1. Tafel eğrilerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu

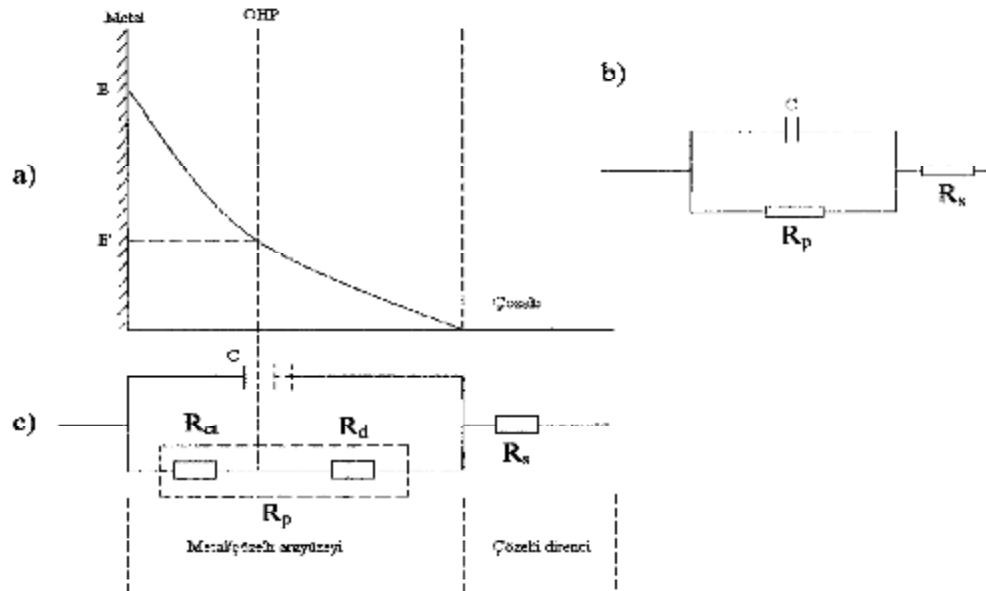
Tafel eğrilerinin ekstrapolasyonu yöntemi, aktivasyon denetimli tepkimeler için geçerlidir. Difüzyon denetimli tepkimelerde, korozyon akımı katodik sınır akımı büyüklüğündedir. Metalin pasif olduğu koşullarda ise korozyon akımı pasiflik

akımına eşittir. Sözü edilen son iki durumda korozyon hızının ölçülmesi için, sırasıyla katodik sınır akımının ya da pasiflik akımının ölçülmesi yeterlidir.

1.7.2. AC İmpedans Yöntemi

AC impedans yöntemi ile metal yüzeyine uygulanan küçük genlikli alternatif akım yüzey yapısını fazla değiştirmedikinden daha doğru sonuç verdiği düşünülmektedir. Metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan çift tabakadaki, çift tabaka kapasitesi ve metal yüzeyi ile çözelti derinliklerinde meydana gelen dirençlerin oluşturduğu “elektronik eşdeğer devre” tasarlanarak polarizasyon direnci belirlenebilmektedir.

Basit bir korozyon sisteminde metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan elektrokimyasal çift tabaka ve onun eşdeğer devreleri Şekil 1.2.’de verilmektedir.

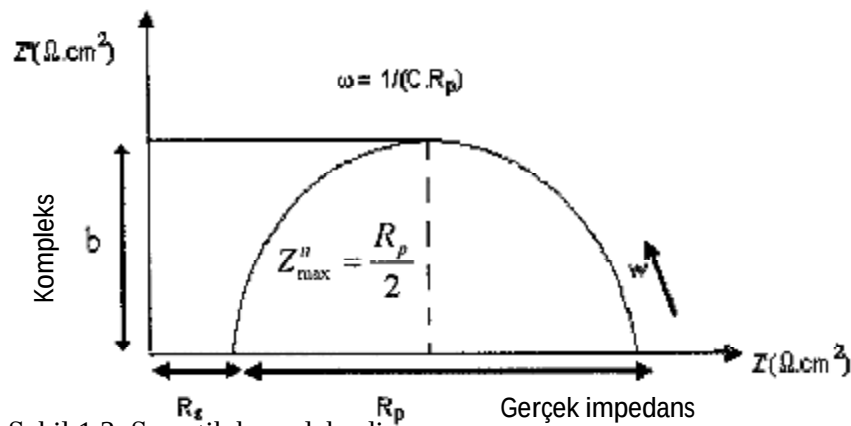


Şekil 1.2. a) Metal/çözelti ara yüzeyindeki potansiyel dağılımı b) ve c) Ara yüzeyin elektronik eşdeğer devreleri (iki farklı yaklaşım)

Metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan çift tabakanın C kapasiteli bir kondansatöre eşdeğer olduğu düşünülerek Şekil 1.2.' de görülen eşdeğer devreye göre toplam impedans (Z) aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanır:

$$Z = R_s + \frac{R_p}{1 + j\omega CR_p} \quad (1.10)$$

Bu bağıntıda R_s çözelti direncini ω alternatif akım frekansını ($\omega=2\pi f$), $j=\sqrt{-1}$ i ve R_p polarizasyon direncini göstermektedir.



Şekil 1.3. Şematik kompleks diyagramı

Polarizasyon direnci yöntemiyle korozyon hızı belirlenmesinde metal/çözelti ara yüzeyinde elde edilen direncin, yük transfer direncine karşılık geldiği bilinir. AC impedans yöntemiyle ise Şekil 1.3.' de görüldüğü gibi elde edilen polarizasyon direncinin sadece yük transfer direncini ifade etmesi olanaksızdır. Şekil 1.2.c' de görüldüğü gibi eşdeğer devrede R_p direnci iki bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden biri metal/çözelti ara yüzeyindeki yük transfer direnci (R_{ct}), diğer bileşen ise çift tabaka içinde yük transferinin olmadığı bilinmesine karşın zeta potansiyeli etkisi ile iyon hareketlerine karşı bir direncin olacağı dikkate alındığında;

$$R_p = R_{ct} + R_d \quad (1.11)$$

yazılabilir. R_d difüz tabaka direncini göstermektedir. Böylece difüz tabaka direncini (R_d) belirleyebilmek için teorik olarak elde edilen yarım daire ile deneysel olarak elde edilen eğriler arasındaki sapmanın kaynağına inmek gerekmektedir.

AC impedans yöntemiyle değişik ortamlarda elde edilen eğriler incelendiğinde yarım daireden sapmalar sonucu koniklerin elde edildiği görülmüştür. Sapma daha çok düşey eksen ($Z' \text{ '}$) boyunca gösterilen kompleks impedans üzerinde yoğunlaşmaktadır. Kuramsal eğriden sapmaların keyfi düzeltme faktörü ile düzeltilmesine ilişkin çalışmalar olmasına karşın korozyon hızını belirlemede kullanılabilecek gerçek yük transfer direncinin hesaplanmasını sağlamamaktadır. Erbil tarafından yapılan çalışmalar sonucu teorik eğriden sapmalar şu şekilde açıklanmaktadır.

Yapay hücrelerde gerçek kondansatör kullanılmakta, metal yüzeyinde oluşan ince oksit filmi gibi gerçek bir kondansatöre yakın özellik gösteren sistemlerde ince oksit filmi dışında kalan poröz oksit ve difüz tabakanın toplam kapasiteye katkısı önemsiz kalmaktadır. Oysa herhangi basit bir sistemde, örneğin Fe/çözelti sisteminde difüz tabakanın etkisi önemli olmakta ve metal/çözelti ara yüzeyinin temsil ettiği kondansatör gerçek bir kondansatörden farklı davranmaktadır. Gerçek bir kondansatörün plakalarında yükler elektron hareketleri ile denetlenirken, metal/çözelti ara yüzeyinde metal tarafını elektronlar, çözelti tarafını ise iyonlar denetlemektedir. Elektron ve iyonların büyüklük ve hareketlilik bakımından farklılıkları, teoriden beklenen değerlerin sapmasına neden olmaktadır.

Bu açıklamalar ışığında Erbil, deneysel verilere uyarlamak için çift tabakanın kondansatör eşdeğerini, buna bağlı olarak da AC impedans diyagramının bir faktörle düzeltilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Erbil' e göre,

1. Yarım daireden sapma, uygulanan alternatif akımın orta frekans bölgesindedir ($Z' \text{ '}_{max}$). Bu bölgede maksimum sapma görülmesinin hiçbir açıklaması yoktur.

2. Yarım elipsten sapmanın maksimum olduğu bölge yüksek frekans bölgesidir. Yüksek frekanslarda çift tabakanın bozulduğu ve sadece çözelti direncinin ölçülebildiği ω yerine $2\pi f$ yazılırsa f in sonsuza gideceği düşünüldüğünde çözelti direncine ulaşılır. Bu durumda sözü edilen Şekil 1.2.b.' deki değeri devrenin geçersiz olduğunu belirtmiştir.
3. Ayrıca düşük frekans bölgesinde difüz tabaka etkisinin daha çok artacağı ve ölçüm sırasında saçılmaların olacağını belirtmiştir.
4. Yarım elips modelinden genel sapmaların metal yüzeyinin pürüzlülüğü ve frekans saçılmalarıyla ilgili olacağını ifade etmiştir.

Yarım daireden değişik boyutlu yarım elipslere doğru dönüşümü, elips odaklarının merkezden uzaklaşmalarıyla beraber yürümektedir. Yani yarım elips biçimindeki karmaşık diyagramların odakları arasındaki uzaklık, ölçülen R_p direnci içindeki difüz tabaka katkısını (R_d) temsil ediyor olmalıdır. Bir elipsin yatay eksen, ölçülen toplam R_p direncini verdiği göre, Erbil tarafından ileri sürülen yarım elips modelinden yük transfer direnci (R_{ct}) aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$R_{ct} = R_p - 2 \left[\left(\frac{R_p}{2} \right)^2 - (Z'')^2_{\max} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.12)$$

Böylece Erbil, AC impedans yöntemi ile hem yük transfer direnci (R_{ct}), hem de difüz tabakanın ölçülen toplam dirence katkısının ne olacağını önermiştir. Ayrıca 13. nolu eşitlikten de yararlanarak korozyon hızının aşağıdaki şekilde hesaplanacağını belirtmiştir.

$$i_{kor} = \frac{b_a b_c}{2,3(b_a + b_c)} \left\{ R_p - 2 \left[\left(\frac{R_p}{2} \right)^2 - (Z'')^2_{\max} \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{-1} \quad (1.13)$$

1.8. İnhibitör etkinliklerinin Belirlenmesi

İnhibitör etkinliklerinin saptanması için uygulanan yöntemler genel olarak korozyon hızı ölçme yöntemleri ile tamamen aynıdır. Bir inhibitörün doğası ve uygulama koşulları ne olursa olsun etkinliği; korozyon hızını azaltma miktarı ile belirlenir.

İnhibitörden beklenen korozyon hızını azaltmasıdır. Etkinliği de korozyon hızını azaltma oranı olarak tanımlanır. Öyleyse, bir inhibitörün etkinliği herhangi bir ortamda söz konusu inhibitörün bulunduğu ve bulunmadığı iki ayrı koşulda ölçülecek korozyon hızlarının karşılaştırılmasıyla elde edilir. Bir metalin herhangi bir ortamda, ortama inhibitör eklenmediği koşullardaki korozyon hızı I_o ve ortamda inhibitör var iken saptanan korozyon hızı I_{inh} olarak işaretlenirse, inhibitör etkinlikleri genel olarak aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmaktadır.

$$\%Z = \frac{I_o - I_{inh}}{I_o} \times 100 \quad (1.14)$$

1.9. Çalışmanın Amacı

Yumuşak çelik endüstride yaygın olarak kullanılan bir metaldir. Korozyon ürünlerinin sistemin ısı transferi üzerinde negatif etkileri nedeniyle periyodik olarak asit çözeltileri ile temizlenmeleri (pickling) gerekmektedir. Temizleme işlemi sırasında metal yüzeyinde aşınma (korozyon) olmaktadır. Korozyonu önleme yöntemleri içinde inhibitör uygulamalarının önemi çok büyüktür. Birçok kimyasal madde, bazı teknik metal ve alaşımların korozyona karşı korunmasında inhibitör olarak kullanılmaktadır. Kimyasal maddelerin yapısal özellikleri düşünülerek yapılan birçok inhibitör araştırması, inhibitör etkinliklerinin, moleküllerin yapılarına ve molekül üzerinde bulunan polar gruplara bağlı olduğunu göstermiştir. Kimyasal maddelerin yapısında bulunan oksijen, azot, kükürt ve fosfor gibi atomlar, çoklu

bağlar ile aromatik halkalar yapının etkin bir inhibitör olarak davranmasını sağlamaktadır. Bu nedenle etkinliği arttırıcı özel grupların moleküllerde bulunmasına özen gösterilmektedir. Geçiş metalleri ve bunların alaşımları teknikte çok kullanıldığı için bunların korozyona karşı korunmaları da önemlidir. Bilindiği gibi geçiş metallerinin elektron yörüngelerinde çiftleşmemiş elektronlar vardır. Büyük bir olasılıkla, elektronlarından bazılarını bu yörüngelerle ortak kullanabilecek biçimde yüzey sıkıca bağlanabilen maddeler etkin birer inhibitör olmaktadır. Bu çalışmada 3-Amino-5-methylisoxazole (3A5M), 5-Amino-3-methylisoxazole (5A3M)' nin yumuşak çeliğin asidik ortamlarda farklı zaman ve derişimlerdeki korozyonuna inhibisyon etkileri incelenerek ve bu maddelerin elektrot yüzeyindeki adsorpsiyon davranışlarının moleköl yapısı ve fonksiyonel grupların konuma bağılılığı belirlendi.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

M. A. Quraishi, R. Sardar, (2002), 2-Hidroksifenil-5-merkapt-1-oxa-3,4-diazol (HMO), 2-fenil-5-merkapt-1-oxa-3,4-diazol (PMO), ve 2-sinnamil-5-merkapt-1-oxa-3,4-diazol (CMO) laboratuvarında sentezlenmiş ve onların yumuşak çeliğin korozyonu üzerine inhibisyon etkileri 1 N HCl ve 1 N H₂SO₄ çözeltilerinde kütle kaybı ve potansiyodinamik polarizasyon teknikleriyle araştırılmıştır. Bu türlerin inhibisyon verimlerinin (IE) sıcaklık, konsantrasyon ve dalma zamanıyla değiştiği bulunmuştur. İyi verimin etkinliği (IE) her iki asit çözeltisinde de kanıtlanmıştır. Her iki asit için yumuşak çelik yüzeyine bu türlerin adsorpsiyonunun Temkin' in adsorpsiyon izotermine uyduğu bulunmuştur. Potansiyodinamik polarizasyon bilgileri, türlerin her iki asit çözeltisinde katodik inhibitörler olarak davrandıklarını göstermiştir.

M.El Azhar ve ark., (2002) Perklorik asit (1 M HClO₄) çözeltilerinde yumuşak çeliğin korozyonuna 2,5-bis(n-piridil)-1,3,4-tiyadiazol (n-PTH) izomerlerinin etkisi kütle kaybı, elektrokimyasal impedans spektroskopisi ve potansiyodinamik polarizasyon yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. İnhibisyon etkinliğinin, tiyadiazolün yapısına bağlı olduğu ve 3-PTH nin 2-PTH den daha iyi bir inhibitör olduğu belirlenmiştir. Düşük konsantrasyonlarda 2-PTH nin yumuşak çeliğin korozyonunu hızlandırdığı gözlenmiştir. Polarizasyon eğrilerinden 3-PTH nin anodik 2-PTH nin ise katodik bir inhibitör olduğu görülmüştür. Asidik çözeltide yumuşak çeliğin korozyonunun 3-PTH tarafından inhibisyonu ve 2-PTH tarafından hızlandırılması mekanizmaları aydınlatılmak için X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) kullanılmıştır. 1M HClO₄ içinde yumuşak çelik yüzeyine 3-PTH nin adsorpsiyonunun Langmuir adsorpsiyon izotermine uyduğu belirlenmiştir.

F.Bentiss ve ark., (2003) Molar hidroklorik asit (1M HCl) içinde, yumuşak çelik elektrotta, triazol ve okzadiazol türevlerinin korozyon inhibisyonu etkinliğinin kuvantum kimyasal bir çalışması yapılmıştır. Bu heterosiklik bileşiklerin inhibisyon etkinlikleri ile moleküler yapıları arasındaki korelasyonu yük transfer direncini (R_t) de içeren doğrusal bir model kullanılarak araştırılmıştır. Doğrusal direnç modeli, yarı ampirik nicel yapı-aktiflik bağıntıları (QSAR) yaklaşımıyla optimize edilmiştir.

0,90 ve üzeri çoklu korelasyon katsayılı regrasyon denklemleri $1/R_t$ ve moleküler tanımlayıcılar arsında türetilmiştir. Bu önemli korelasyonlarla, inhibitörlerin yapısıyla korozyon inhibisyonundaki değişimin elektronik özellikler çerçevesinde açıklanabileceği gösterilmiştir.

Kaan C. Emregül, O. Atakol, (2003), Amine karşılık olan ve salisil aldehitten türetilen Schiff baz türleriyle yumuşak çeliğin korozyon inhibisyonunun konsantrasyonla ilişkisi elektrokimyasal teknikler kullanılarak araştırılmış. N-(2-metil fenil) salisylaldimin ve N-(2-metoksifenil) salisylaldimin inhibitörlerin anodik inhibitör olarak daha etkin oldukları ve konsantrasyonlarının artmasıyla etkinliklerinin arttığı polarizasyon ve impedans ölçümleriyle belirlenmiştir.

E. E. Oguzie, G. N. Onuoha, A.L. Onuchukwa, (2005), Bu çalışmada Metilen Blue (MB) gravimetrik ve termometrik teknikler kullanılarak 2 M H_2SO_4 çözeltisinde yumuşak çelik için korozyon inhibitörü olarak kullanılmıştır. MB' nin inhibisyon veriminin ortama KCl, KBr ve KI gibi bileşiklerin eklenmesiyle sinerjistik olarak arttığı gözlenmiştir. Araştırmalarda MB' nin düşük konsantrasyonlarda (0,01-0,5mM) metal yüzeyine fiziksel olarak adsorblandığı yüksek konsantrasyonlarda (1,0-5,0mM) ise kimyasal olarak adsorblandığı görülmüştür. MB' nin lagmiur ve Frumkin adsorbsiyon izotermine uyduğu bulunmuştur.

Solmaz R. (2007), bu çalışmada 2-amino-5-mercapto-1,3,4-thiadiazolun HCl içerisinde yumuşak çeliğin adsorpsiyonu ve onun korozyon inhibisyon etkisi kısa ve uzun daldırma süreçlerinde çalışıldı. Bu çalışmada potansiyel dinamik polarizasyon, elektrokimyasal impedans spektroskopisi lineer polarizasyon direnci, termogravimetrik analiz, ara yüzey fotoğrafları, hidrojen değişimi ve açık döngü potansiyeli teknikleri kullanıldı. Yumuşak çeliğin korozyonu ve termogravimetrik parametreler için aktivasyon enerjisi değerleri hesaplandı. Sonuçlarda, 2-amino-5-mercapto-1,3,4-thiadiazol' un yumuşak çelik üzerinde 0.5 M HCl de mükemmel inhibitör etkisi olduğunu göstermiştir. Ara yüzey fotoğrafları ile metal ara yüzeyinde iyi bir yüzey kapsama özelliği olduğunu göstermiştir. Ayrıca TGA sonuçları ara yüzey inhibisyon filminin iyi bir termal kararlılığa sahip olduğunu göstermiştir.

Solmaz R. (2008), 2-mercaptothiazolinin 0,5M HCl ' li ortamda yumuşak çelik üzerindeki inhibitör etkisi kısa ve uzun zamanlarda potansiyodinamik polarizasyon elektrokimyasal impedans spektroskopisi ve lineer polarizasyon direnci teknikleriyle çalışılmıştır.. Uzun dönem testleri için hidrojen gazının açık döngü potansiyelinin daldırma zamanı ile değişimi ölçülmüştür. İnhibitör filmindeki termal kararlılık termogravimetrik analiz tarafından belirlenmiştir. Aktivasyon enerjisi değeri ve termodinamik parametreler hesaplanmıştır. Sonuçlar 2-mercaptothiazolin performansının yumuşak çelik üzerindeki etkisini gösterdi. Sonuç olarak inhibitör molekülünün ve metal üzerindeki koruyucu filmin adsorpsiyonunun farklı dönemlerdeki yüksek inhibisyon etkisi tartışılmıştır. Ayrıca TGA sonuçları ara yüzey inhibisyon filminin iyi bir termal kararlılığa sahip olduğunu göstermiştir.

Doğru Mert B. (2011), 3-amino-1,2,4-triazole-5-thiolun 0,5M HCl içerisindeki karbon çeliğine etkisi değişik konsantrasyon ve sıcaklıklarda elektrokimyasal impedans spektroskopisi potansiyodinamik ölçümlerle araştırıldı. Sonuçlar, deneysel ve kuantum hesaplama parametreleri arasındaki ilişkiyi gösterdi. Yüksek inhibisyon etkisi metal üzerindeki inhibitör protonlarının güçlü adsorpsiyonu ile azalır.

Ongun Yüce A. (2011), 2-Thiohydantoin (2-THB) 0.1 M HCl çözeltisi, hafif metal (MS) üzerinde potansiyodinamik polarizasyon, elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve lineer polarizasyon direnci (LPR) ölçümleri kullanarak bir korozyon inhibitörü olarak incelenmiştir Sıcaklığın etkisi, hidrojen gaz çıkışı ve etkileri, daldırma süresi ile açık devre potansiyelindeki değişim incelenmiştir. MS yüzeylerinin görüntüleri inhibitörlü ve inhibitörsüz SEM ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar, 2-THD 0.1 M karışık tip inhibitörü olduğunu göstermiştir. 0,1M HCl deki katodik ve anodik prosesler MS yüzeyindeki fiziksel adsorpsiyon Langmuir adsorpsiyon izotermi ile belirlenmiştir.

Quraishi M.A. (2012), 0.5 M HCl çözeltisi bakır korozyona karşı inhibisyon etkisi üç triazol türevleri olan, 4-amino-4H-1,2,4-triazol-3thiol (ATT), 4 -amino-5-metil-4H-1,2,4-triazol-3thiol (AMTT) ve 4-amino-5-etil-4H-1,2,4-triazol-3thiol (AETT) kullanılarak incelenmiştir. Araştırmada, potansiyodinamik polarizasyon, elektrokimyasal empedans, kütle kaybı metodu ve kuantum kimyasal çalışmalar

kullanılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri ile üç bileşiğin de katodik türü inhibitör olduğu belirlenmiştir. İncelenen bileşikler arasında, 4-amino-5-etil-4H-1,2,4-triazol-3thiol 2.58 mM en iyi inhibisyon verimi % 96,09 olduğu belirlenmiştir. Bu bileşiklerin adsorpsiyon Langmuir adsorpsiyon izotermine uymaktadır. Kuantum yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile uyumludur.

Bin Xu ve ark. (2012), 3-piridinkarboksaldehid tiyosemikarbazon (3-PCT)' in korozyona karşı koruma etkinliği yumuşak çelik kullanılarak 1 M HCl çözeltisi içerisinde kütle kaybı, potansiyodinamik polarizasyonu ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ölçümleri ile incelenmiştir Yumuşak çelik yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve metal çözelti ara yüzeyindeki sıfır yük (PZC) ölçümü ile inhibisyon mekanizması belirlenmiştir. Daha sonra 3-PCT için moleküler dinamik simülasyonlar uygulanmıştır. Sonuçlar, hidroklorik asit içerisindeki katodik ve anodik reaksiyonlar için 3-PCT nin iyi bir korozyon inhibitörü olduğunu göstermektedir Yumuşak çelik yüzeyindeki 3-PCT adsorpsiyonu Langmuir izoterm parametresine uymaktadır.

Bei Qian ve ark. (2012), Yumuşak çeliğin deniz suyu içerisinde ıslak / kuru döngüsel koşullarda tannik asitdeki korozyon inhibisyon etkisi kütle kaybı ve Elektrokimyasal yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Polarizasyon eğrilerinde tannik asit eklendikten sonra korozyon akım yoğunluğu 47.85 l Acm^{-2} dan $6,67 \text{ l Acm}^{-2}$ ya azaldığını gösterir. Korozyon inhibisyonunu incelemek için yapılan tarama elektron mikro-kopyalama, X-ışını kırınımı ve Fourier transfer kızıl ötesi yapılmıştır. Bileşiğin inhibisyon etkisi, ıslak / kuru döngüleri sırasında yumuşak çelik yüzeyindeki filmin bileşeninin ferrik tannat olduğu belirlenmiştir.

Finš gar M. (2013), 2-merkaptobenzimidazol (MBIH) un kütlece %3 NaCl çözeltisi içerisindeki korozyona karşı inhibisyon etkinliği uzun süreli daldırma testleri yapılarak ve 3D-profilometrisi, elektrokimyasal impedans spektroskopisi ve potansiyodinamik eğrisi ölçümleri kullanılarak çalışılmıştır. Korozyon önleme performansı 180 günlük daldırma sonrası belirlenmiştir. Bakır iyonlarının yüzey tabakasındaki difüzyonuyla ilişkisi araştırılmıştır. Bunun sonucunda bakırın, MBIH

çözeltileri içerisindeki korozyonunun difüzyon kontrollü olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, MBIH karışık tip inhibitörü olduğu gösterilmiştir.

3.1. Materyal

Elektrolit: Yumuşak çelik elektrot için yapılacak tüm korozyon ölçümleri 0,1 M Hidroklorik asit çözeltisi içerisinde gerçekleştirildi.

Temizleme Çözeltisi: Çalışma elektrotlarının yüzeyi mekanik parlaticıyla parlatıldıktan sonra 1:1etil alkol: aseton karışımı ile temizlendi.

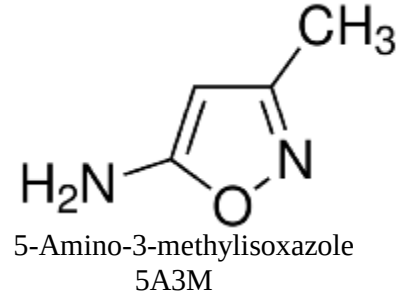
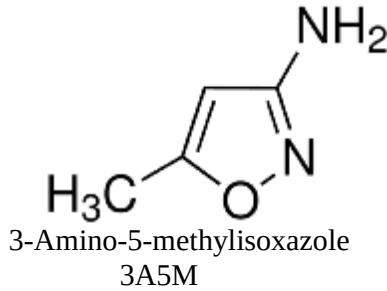
Çalışma Elektrotu: Tüm çalışmalar aşağıda kimyasal bileşimi verilmiş yumuşak çelik elektrot üzerine gerçekleştirilmiştir.

Yumuşak Çeliğin Kimyasal Bileşimi: %17 C, %1,40 Mn, %0,045 P, %0,045 S, %0,009 N.

Karşı Elektrot: 1x1 cm² boyutlarında 2 cm² yüzey alanına sahip platin levha karşı elektrot olarak kullanılmıştır

Referans Elektrot: Standart gümüş elektrot (Ag/AgCl, 3 M KCl) referans elektrot olarak kullanıldı.

İnhibitör: Azot içeren organik madde kullanıldı.



Mekanik parlaticı: Elektrot yüzeylerini mekanik olarak temizlemek amacıyla kullanıldı.

Elektrokimyasal analiz cihazı: Zamanla değişen açık devre potansiyeli impedans eğrileri, katodik ve anodik polarizasyon eğrilerinin elde edilmesinde kullanıldı.

Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM): Elektrotların yüzey analizini yapmak için kullanılmıştır. Oluşan ürünün yüzey özellikleri incelenmiştir.

3.2. Metod

3.2.1 Elektrotların hazırlanması

Silindir şeklindeki yumuşak çelik çubuktan 5' er cm boyutunda parçalar kesildi. Kesilen parçaların alt yüzeylerinden bir tanesine delik açılarak bu deliğe bakır tel yerleştirildi. Daha sonra bu silindirik parçaların delik olmayan ucu açıkta kalacak şekilde polyester ile kaplandı. Elektrotların açık ucu uygun çap büyüklüğüne sahip zımpara kağıtları kullanılarak parlatıldı ve temizleme çözeltisi ile temizlenip kurutuldu.

3.2.2 Elektrokimyasal Yöntemler

Tüm elektrokimyasal ölçümler CHI604D isimli elektrokimyasal ölçüm cihazında, 0.1M HCl çözeltisinde yapıldı. Ölçümler üç elektrot tekniğinden yararlanıldı. Çalışma elektrotu olarak yumuşak çelik (MS), referans elektrot olarak standart gümüş elektrot (Ag/AgCl, 3 M KCl) ve karşı elektrot olarak Platin levha (Pt) kullanıldı. İnhibitörsüz ve farklı derişimlerde inhibitör içeren 0,1M HCl çözeltisi içerisinde yumuşak çelik elektrotlar daldırılarak ve zamanla değişen açık devre potansiyeli takip edildi. Daha sonra impedans eğrisi ve anodik katodik potansiyel eğrileri alındı.

Alternatif Akım İmpedansı Yöntemi (EIS): Alternatif akım impedans tekniğinde, deneyler açık devre potansiyelinde, 10^{-5} - 10^{-1} Hz frekans aralığında 10 mV genlik uygulanarak yapılmıştır. Elde edilen veriler Nyquist ve Bode eğrileri şeklinde gösterilmiştir.

Akım-Potansiyel Eğrilerinin Elde Edilmesi: Her inhibitor ve derişim için (0M; $1,0 \times 10^{-2}$ M; $5,0 \times 10^{-3}$ M; $1,0 \times 10^{-3}$ M; $5,0 \times 10^{-4}$ M) 0,1 M HCl çözeltisi içerisinde 168 saat daldırılan çalışma elektrotu 5 mV/s tarama hızıyla 0,75V' dan -0,75 V'a kadar polarize edilerek akım-potansiyel eğrileri elde edilmiştir.

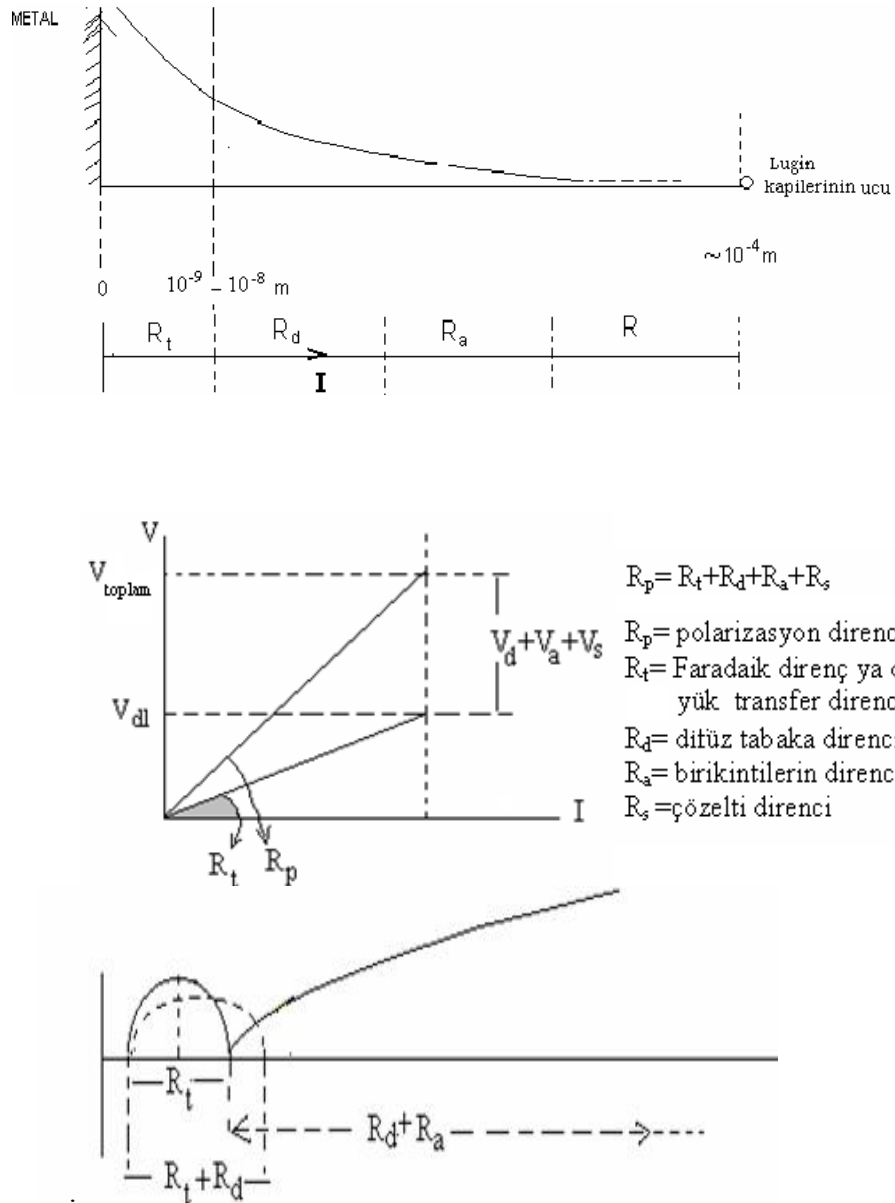
Sıfır Yük Potansiyelinin Belirlenmesi: Alternatif akım impedans tekniği ile açık devre potansiyelinde ve farklı potansiyellerde elde edilen Nyquist diyagramlarından belirlenen C_{dl} değerlerine karşılık potansiyel grafikleri çizilerek sıfır yük potansiyelleri belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

0,1 M HCl içerisinde, değişik derişimlerde ve sürelerdeki 3A5M ve 5A3M çözeltilerindeki yumuşak çeliğin A.C. impedans eğrilerini incelemeyden önce A.C. impedans yöntemi hakkında biraz daha bilgi vermekte fayda vardır.

AC impedans yöntemi ile metal yüzeyine uygulanan küçük genlikli alternatif akım yüzey yapısını fazla değiştirmediğinden metalin direnci ve yüzey yapısı ile ilgili daha doğru sonuçlar elde edilebileceği düşünölmektedir. Bu yöntem ile belirlenen direnç polarizasyon direnci olup, buna ilave olarak yük transfer direnci, yüzeydeki kaplama veya film direnci ve iyon difüzyonuna karşı gösterilen dirençler ile ilgili ayrıca bilgi edinilebilmektedir (Erbil, 1987).

Metal /çözelti ara yüzeyi Şekil 4.1.' deki gibi tasarlanabileceği ileri sürölmüşdür (Erbil 2002). Metal /çözelti ara yüzeyi ile çift tabaka bölgesinin sınırı (DHT) metalin yüzeyinden yaklaşık $1,0 \times 10^{-9} - 1,0 \times 10^8$ m uzaklıktadır. Metal çözelti arasında elektron alışverişi bu bölgede gerçekleşmektedir. Yüzeyde birikinti olan sistemlerde DHT ve difüz tabaka birbirinden ayrılmamakta ve bir yarım elips oluşmaktadır. Burada ölçölen direnç yük transfer direnci ve DHT ile Lugin kapileri arasında oluşun difüz tabaka direncini içine alan polarizasyon direnci olarak verilebilir. Yani $R_p = R_t + R_d$ olmalıdır. Burada yük transfer direnci polarizasyon direncinin bir kısmını karşılamaktadır. Bu çalışmada Nyquist eğrileri, kararlı açık devre potansiyeline ulaşıldıktan sonra, 5 mV sinüzoidal genlik uygulanarak, $10^5 - 10^3$ Hz frekans aralığında elde edilmiştir.



Şekil 4.1. İmpedans eğrilerinin şematik yaklaşımı (Erbil, 2002)

4.1. AC İmpedans Tekniği İle Elde Edilen Deneysel Bulgular

0.1 M HCl içerisindeki yumuşak çeliğin 1-168 saatlik daldırma sonundaki açık devre potansiyelinin zamanla değişimi Şekil 4.2. de verilmiştir. Başlangıçta bu potansiyel -0,515 V iken, 72. saatte (-0,363V) pasif bölgeye kayan elektrot yüzeyi 168. saatte (-0,528V) aktif bölgelere kayarak sürekli açılmaktadır. Klorürlü

çözeltilerde yumuşak çelik sürekli aktif olmakta ve aşağıdaki tepkimeyi oluşturmaktadır:



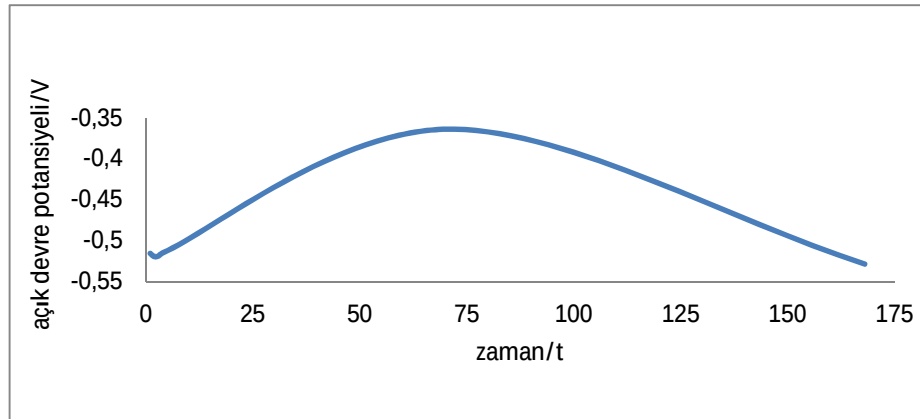
$$E = -0,440 + 0,0591/2 \log (\text{Fe}^{++})$$

Yumuşak çelik elektrodun katodik yöndeki tepkimesi ise bu olayda aşağıdaki verildiği gibi hidrojen indirgenmesidir:



Hidrojen indirgenmesini karşılayan potansiyel aşağıdaki şekildedir:

$$E = -0,0591 \text{ pH}$$



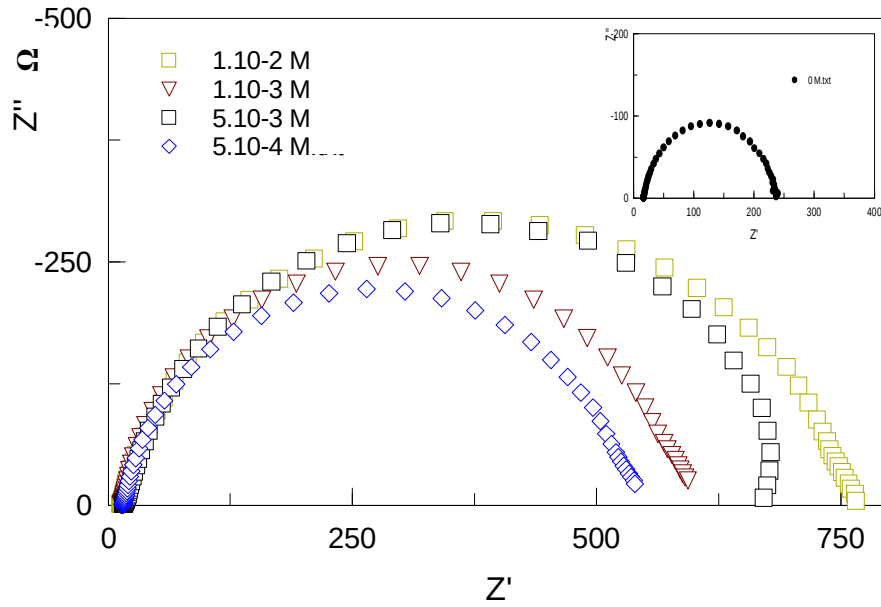
Şekil 4.2. 0.1 M HCl içerisindeki yumuşak çeliğin 1-168 saatlik daldırma sonundaki açık devre potansiyeli

İnhibitörsüz ve inhibitörlü 3A5M içeren (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) 0,1 M HCl içerisindeki değişik sürelerde (1-168h) elde edilen deneysel bulgular Şekil 4.3.- 4.8. ve çizelge 4.1.- 4.2. de verilmiştir.

Tüm şekillerde 0,1M HCl asit içerisinde çıplak yumuşak çeliğin eğrileri üst kısımlarında verilmiştir.

Yumuşak çeliğin, 1 saat sonunda 0,1 M HCl çözeltisinde açık devre potansiyelinde elde edilen Şekil 4.3.a' daki Nyquist eğrisinde görüldüğü gibi yüksek frekans bölgesinden başlayan ve orta frekans bölgesinde kapanan eliptik bir eğri oluşmaktadır. Eğride elde edilen direnç $220,9 \Omega$ ' dur.

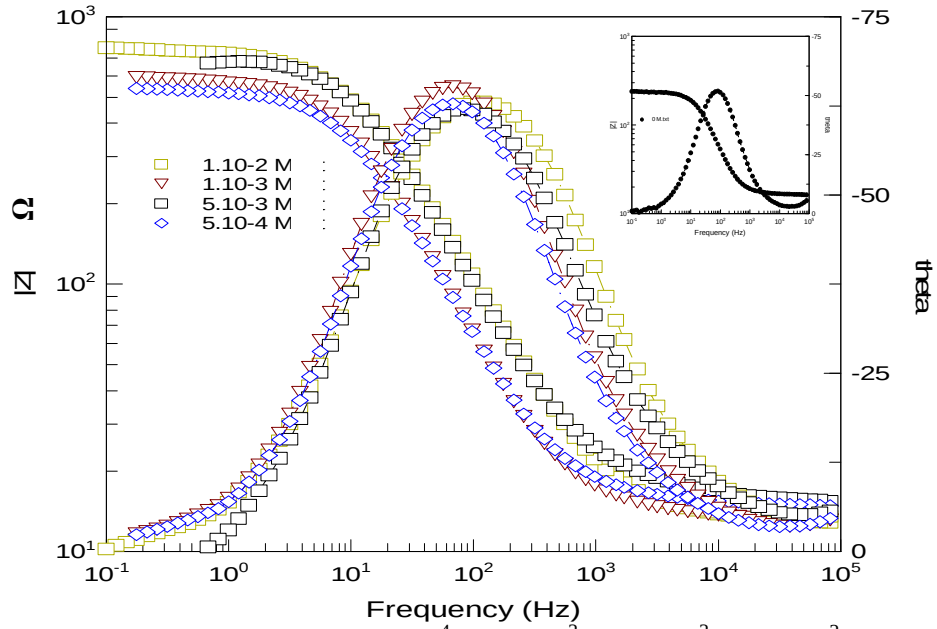
Şekil 4.3.a.' da değişik derişimlerdeki 3A5M içeren 0,1 M HCl içerisinde, yumuşak çeliğin değişik daldırma sürelerindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisi verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 3A5M in derişimi arttıkça açık devre potansiyeli daha soy değerlere kaymaktadır. Açık devre potansiyeline ulaşıldıktan sonra bu potansiyelde elde edilen eğrilere bakıldığında, yüksek frekans bölgesinden başlayan ve orta frekans bölgesinde kapanan eliptik eğrilerin oluştuğu görülmektedir. En yüksek derişimdeki direnç değeri $746,5 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, 0,1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $525,6 \Omega$ daha fazla olduğu görülmektedir. Daha düşük derişimlerdeki eğrileri incelediğimiz zaman 5×10^{-4} M 3A5M içeren HCl çözeltisindeki elde edilen direnç $522,3 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $301,4 \Omega$ daha fazladır. 1×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç değeri $577,3 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $356,4 \Omega$ daha fazladır. Bu değer 1×10^{-3} M' ün 5×10^{-4} M' e göre daha iyi koruma sağladığını gösterir. 5×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direncin değeri $700,6 \Omega$ ' dur. Bu değer, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $479,7 \Omega$ daha fazladır.



Şekil 4.3.a. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 1saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi

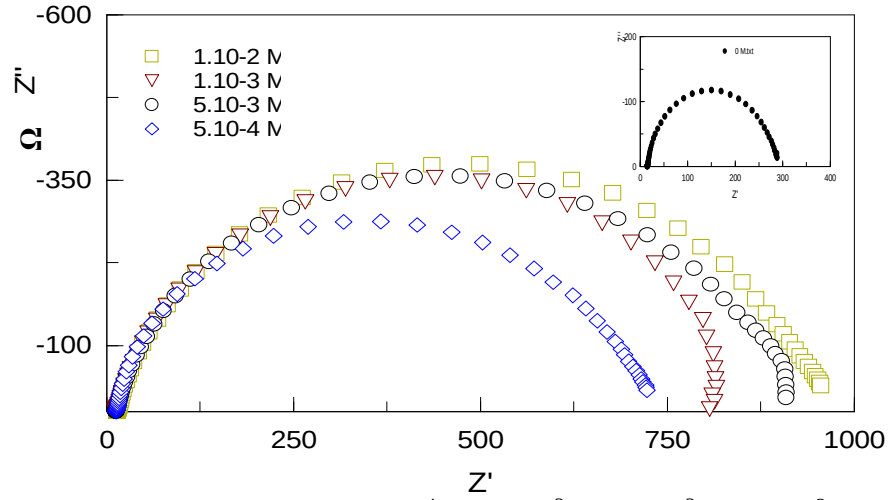
En yüksek derişimdeki direnç değeri olan $746,5 \Omega$ inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $525,6 \Omega$ daha fazla olduğunu görölmektedir. Bu durum ortama eklenen inhibitörün derişiminin artmasıyla metal yüzeyi ile etkileşen moleküllerin sayısının arttığını ve metal yüzeyinde oluşan koruyucu filmin kapattığı yüzey alanının arttığını göstermektedir (Bentiss ve ark., 1999, Lagrennee ve ark., 2002). Oluşan bu tabaka metal çözünmesini engellemektedir. Bu nedenle, 0,1 M HCl çözeltisinde en yüksek derişimde ($1,0 \times 10^{-2}$ M 3A5M) inhibitör içeren ortamda metal yüzeyinin korozif ortamın etkisine karşı korunmasının diğer derişimlere oranla daha fazla olduğu görölmektedir.

Şekil 4.3.b.' de değişik derişimlerdeki 3A5M içeren 0,1 M HCl içerisinde, yumuşak çeliğin 1 saatlik daldırma sonundaki Bode eğrileri verilmektedir. Bu eğrilerde inhibitörsüz yumuşak çeliğin 0,1 M HCl deki faz açısı olan θ° değeri 53 iken, en yüksek derişimli inhibitörlü ortamdaki θ° değeri 64 e kadar yükselmiştir.



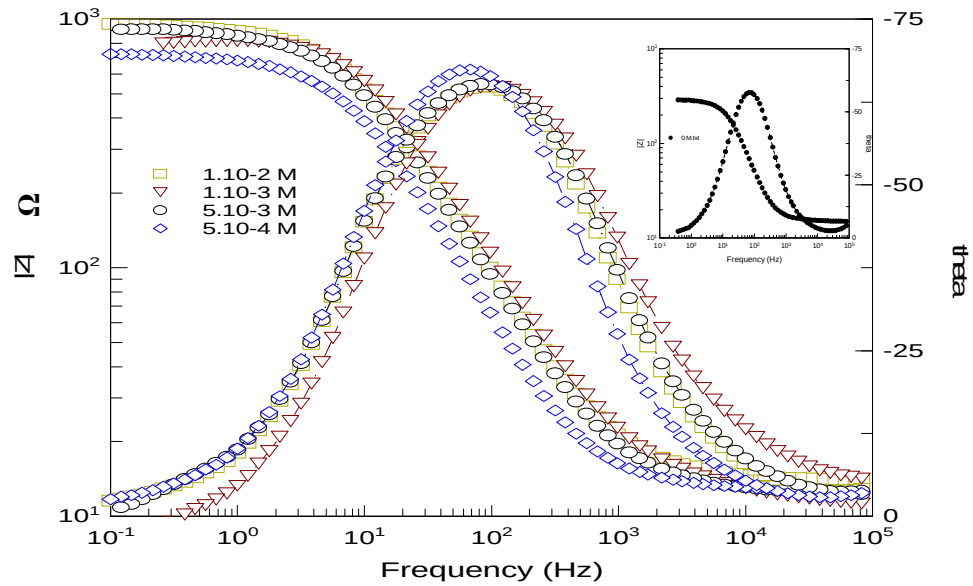
Şekil 4.3.b. 0,1 HCl + 3A5M ($5 \cdot 10^{-4}$ M, $1 \cdot 10^{-3}$ M, $5 \cdot 10^{-3}$ M, $1 \cdot 10^{-2}$ M) içerisinde yumuşak çeliğin 1saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi

Şekil 4.4.a' da değişik derişimlerde 3A5M içeren 0,1 M HCl içerisinde, yumuşak çeliğin 2 saatlik daldırma süresindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisi verilmektedir. Açık devre potansiyeline ulaşıldıktan sonra bu potansiyelde elde edilen eğrilere bakıldığında, yüksek frekans bölgesinden başlayan ve orta frekans bölgesinde kapanan eliptik eğrilerin oluştuğu görülmektedir. Yumuşak çeliğin, 2 saat sonunda 0,1 M HCl çözeltisinde açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisine göre elde edilen direnç $272,9 \Omega$ ' dur.



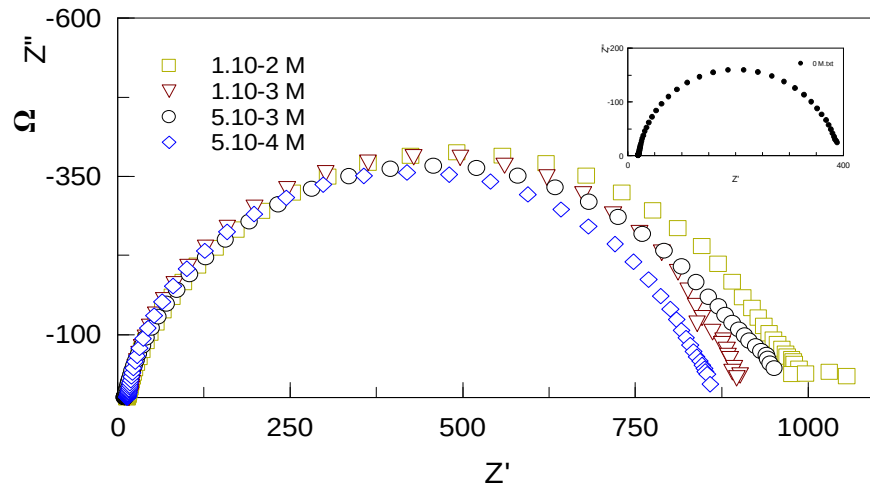
Şekil 4.4.a. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 2 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi

En düşük derişim olan 5×10^{-4} M 3A5M içeren HCl çözeltisindeki elde edilen direnç $697,8 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $424,9 \Omega$ daha fazladır. 1×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç değeri $840,01 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $567,11 \Omega$ daha fazladır. 5×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direncin değeri 898Ω ' dur. Bu değer, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $625,1 \Omega$ daha fazladır. En yüksek derişim olan 1×10^{-2} M 3A5M içeren HCl çözeltisindeki direnç değeri $935,3 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, 0,1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $662,4 \Omega$ daha fazla olduğu görülmektedir. Artan derişim değeri yumuşak çeliğin korozyona karşı daha iyi korunduğunu gösterir.



Şekil 4.4.b. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 2 saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi

Şekil 4.4.b. deki Bode eğrisinde inhibitörsüz ortamdaki faz açısı 57 derece iken inhibitörlü ortamdaki θ° değeri ise 66 dereceye kadar yükselmiştir.

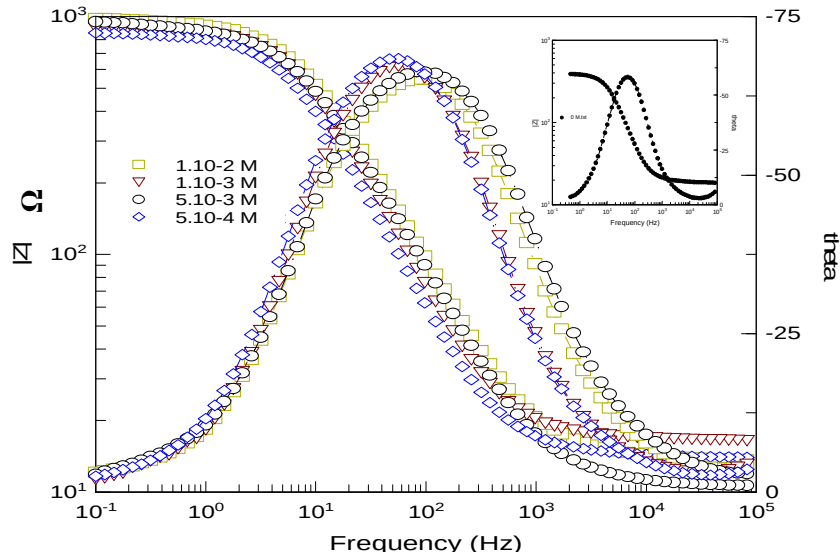


Şekil 4.5.a. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 3 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi

Şekil 4.5.a' da değişik derişimlerde 3A5M içeren 0,1 M HCl içerisinde, yumuşak çeliğin 3 saat daldırma süresindeki açık devre potansiyelinde elde edilen

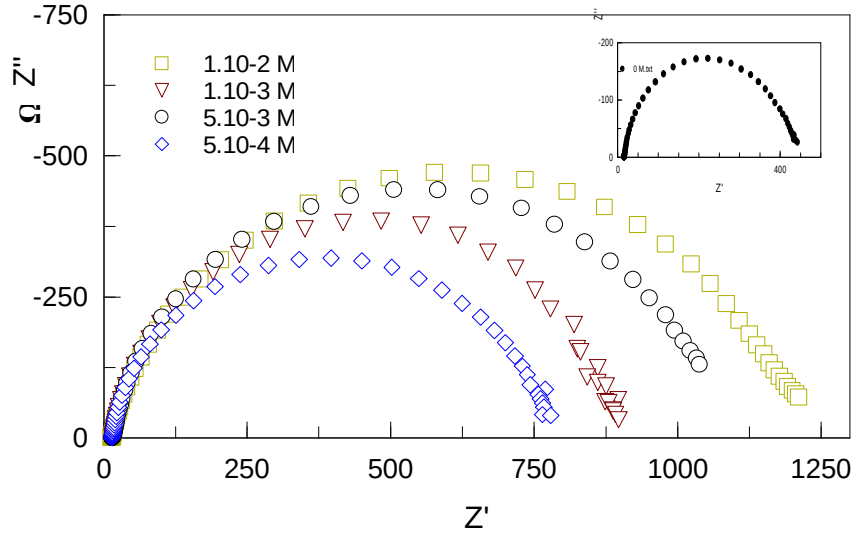
Nyquist eğrisi verilmektedir. 3 saatlik daldırma süresi sonunda açık devre potansiyeline ulaşıldıktan sonra bu potansiyelde elde edilen eğrilere bakıldığında, yüksek frekans bölgesinden başlayan ve orta frekans bölgesinde kapanan eliptik eğrilerin oluştuğu görülmektedir. Yumuşak çeliğin, 3 saat sonunda 0,1 M HCl çözeltisinde açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisine göre elde edilen direnç $342,4 \Omega$ 'dur.

En düşük derişim olan 5×10^{-4} M 3A5M içeren HCl çözeltisindeki elde edilen direnç $833,2 \Omega$ 'dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $490,8 \Omega$ daha fazladır. 1×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç değeri $876,5 \Omega$ 'dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $534,1 \Omega$ daha fazladır. 5×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direncin değeri $922,8 \Omega$ 'dur. Bu değer, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $580,4 \Omega$ daha fazladır. En yüksek derişim olan 1×10^{-2} M 3A5M içeren HCl çözeltisindeki direnç değeri $971,4 \Omega$ 'dur. Elde edilen lupun çapı, 0,1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından 629Ω daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar artan derişimlerde korozyonun önlemek için yüzeyde oluşan filmin yumuşak çeliği daha iyi koruduğunu gösterir.



Şekil 4.5.b. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 3saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi

Şekil 4.4.b deki Bode eğrisinde inhibitörsüz faz açısının değeri 58 iken inhibitörlü ortamdaki θ° değeri 67 dereceye kadar yükselmiştir.

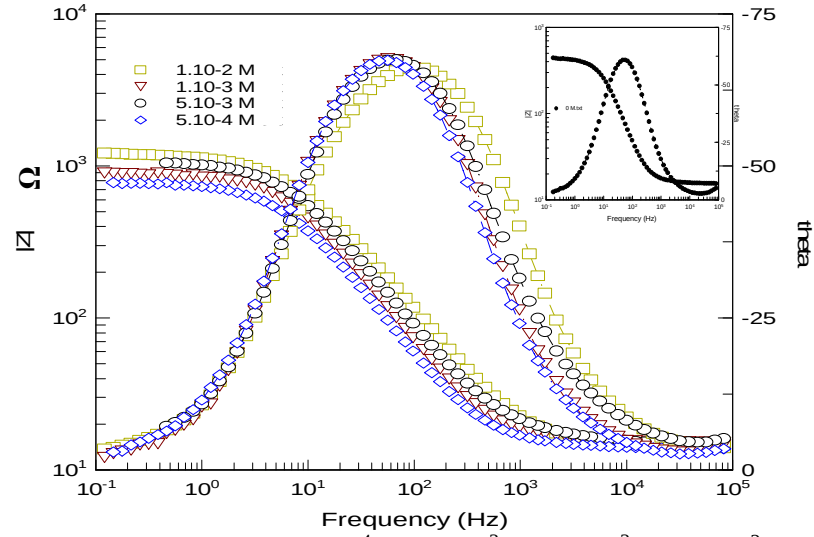


Şekil 4.6.a. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 4 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi

Yumuşak çeliğin, 4 saat daldırılma sonunda 0,1 M HCl çözeltisinde açık devre potansiyelinde elde edilen Şekil 4.6.a' daki Nyquist eğrisinde görüldüğü gibi yüksek frekans bölgesinden başlayan ve orta frekans bölgesinde kapanan eliptik bir eğri oluşmaktadır. Eğride elde edilen direnç $345,0 \Omega'$ dur.

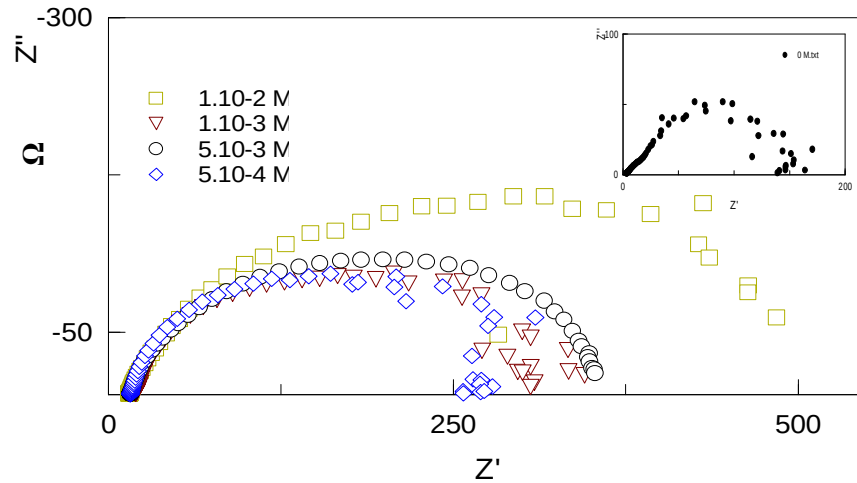
4 saatlik bekleme süresi sonunda 5×10^{-4} M 3A5M içeren HCl çözeltisindeki elde edilen direnç $755,7 \Omega'$ dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $410,0 \Omega$ daha fazladır. 1×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç değeri $879 \Omega'$ dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $534,0 \Omega$ daha fazladır. 5×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direncin değeri $1061 \Omega'$ dur. Bu değer, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $716,0 \Omega$ daha fazladır. En yüksek derişim olan 1×10^{-2} M 3A5M içeren HCl çözeltisindeki direnç değeri $1182 \Omega'$ dur. Elde edilen lupun çapı, 0,1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $837,0 \Omega$ daha fazla olduğu görülmektedir. Çözeltideki artan inhibitör

derişiminin 4 saatlik daldırma sonunda diğer daldırma sürelerine oranla yüzeyde oluşturduğu film sayesinde yumuşak çeliği daha iyi koruduğunu gösterir.



Şekil 4.6.b. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 4 saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi

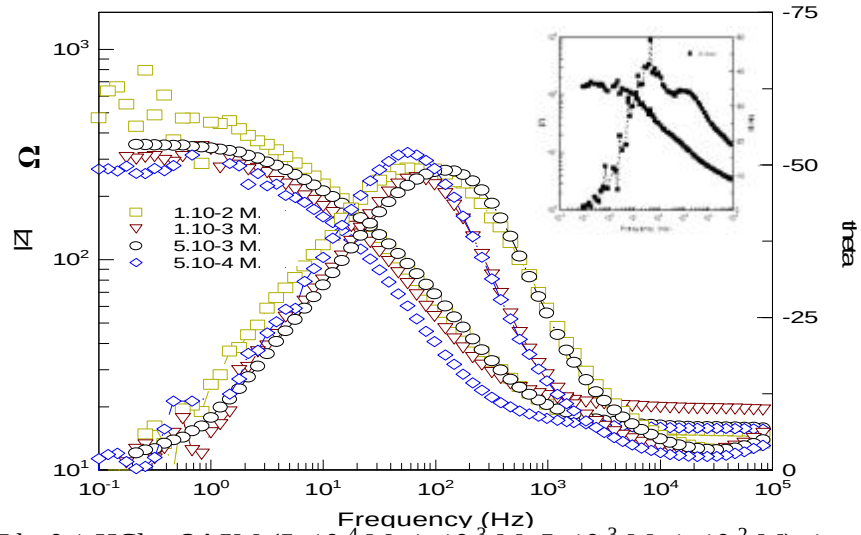
Şekil 4.6.b.' de görülen Bode eğrilerine göre 4 saatlik daldırma sonunda inhibitörsüz ortamdaki faz açısı 60 derece iken inhibitörlü ortamda faz açısı 67 derece olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7.a. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 72 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi

Yumuşak çeliğin, 72 saat daldırılma sonunda 0,1 M HCl çözeltisinde açık devre potansiyelinde elde edilen Şekil 4.7.a' daki Nyquist eğrisinde görüldüğü gibi yüksek frekans bölgesinden başlayan ve orta frekans bölgesinde kapanan eliptik bir eğri oluşmaktadır. Eğride elde edilen direnç $171,7 \Omega$ ' dur.

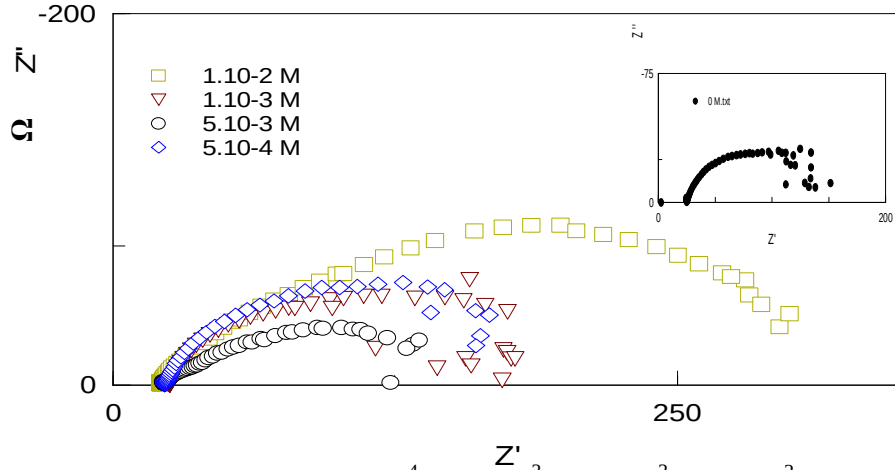
72 saatin sonunda 5×10^{-4} M 3A5M içeren HCl çözeltisinde elde edilen direnç $262,4 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $90,7 \Omega$ daha fazladır. 1×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç değeri $295,4 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $123,7 \Omega$ daha fazladır. 5×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direncin değeri $338,5 \Omega$ ' dur. Bu değer, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $166,8 \Omega$ daha fazladır. En yüksek derişim olan 1×10^{-2} M 3A5M içeren HCl çözeltisindeki direnç değeri $541,3 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, 0,1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $369,6 \Omega$ daha fazla olduğu görülmektedir. 72. saatten itibaren yüzeydeki filmin dayanıklılığının azalması sonucu elde edilen direnç değerleri azalmıştır.



Şekil 4.7.b. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 72 saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi

72 saatlik daldırma sonunda Bode eğrisinden elde edilen θ değeri inhibitörsüz ortamda 43 iken 3A5M ilavesiyle 52 dereceye kadar yükselmiştir. Bu yükselen değer

yumuşak çeliğin 3A5M inhibitörüyle korunduğunu gösterir. Ancak 72. saatteki değerler inhibitörün koruyucu etkisinin yavaşça azaldığını gösterir

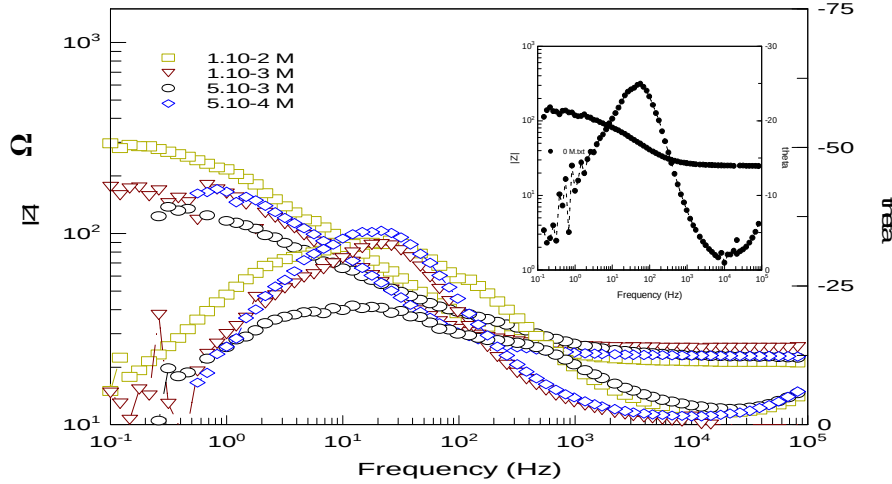


Şekil 4.8.a. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi

Yumuşak çeliğin, 168 saat daldırılma sonunda 0,1 M HCl çözeltisinde açık devre potansiyelinde elde edilen Şekil 4.8.a' daki Nyquist eğrisinde görüldüğü gibi yüksek frekans bölgesinden başlayan ve orta frekans bölgesinde kapanan eliptik bir eğri oluşmaktadır. Eğride elde edilen direnç $117,8 \Omega$ ' dur. 168 saatin sonunda inhibitörsüz ortamda elde edilen eğrinin çapı demirin yükseltgenmesinden, metal çözünmesinin ve yüzey alanının artmasından dolayı zamanla azalmaktadır.

Tamamlanan daldırma süresi sonunda 5×10^{-4} M 3A5M içeren HCl çözeltisinde elde edilen direnç $127,6 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $9,8 \Omega$ daha fazladır. 1×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç değeri 128Ω ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $10,2 \Omega$ daha fazladır. 5×10^{-3} M 3A5M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direncin değeri $310,6 \Omega$ ' dur. Bu değer, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $192,8 \Omega$ daha fazladır. En yüksek derişim olan 1×10^{-2} M 3A5M içeren HCl çözeltisinde direnç değeri $318,4 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, 0,1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $200,6 \Omega$ daha fazla olduğu görülmektedir. 72.saatten itibaren yüzeydeki filmin dayanıklılığının azalması 168. saatte de kendini göstermektedir ve

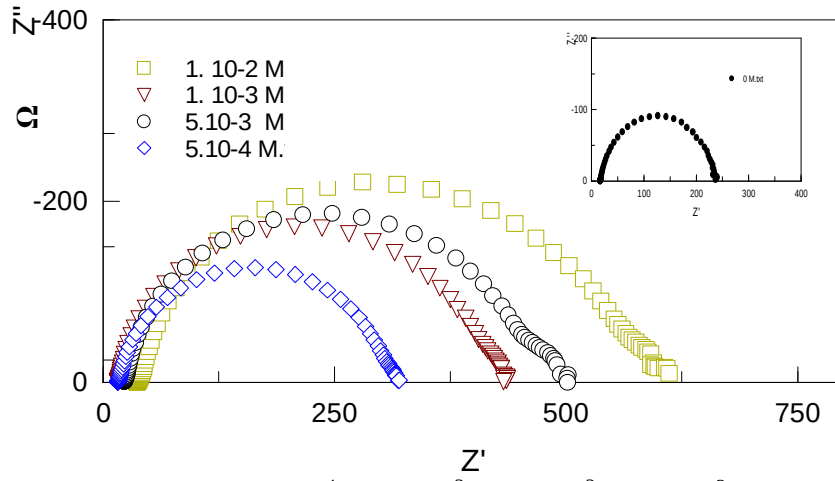
yumuşak çeliğin korozyona karşı korunması inhibitör moleküllerinin metal yüzeyinden ayrılması nedeniyle çok azdır.



Şekil 4.8.b. 0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi

Şekil 4.8.b.' deki Bode eğrisine göre inhibitörsüz ortamdaki θ° değeri yaklaşık 24° iken inhibitör desteği ile yaklaşık 36° ya yükselmiştir. Diğer bekleme sürelerine göre azalan koruyucu filmin etkisi görülmektedir.

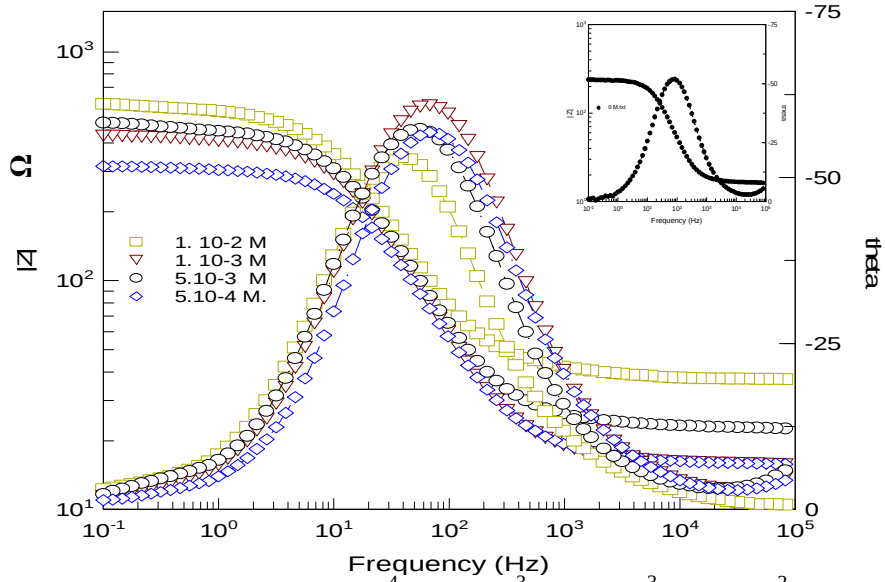
5A3M içeren 0,1 M HCl içerisinde, atmosfere açık ortamda yumuşak çeliğin değişik derişim ve daldırma sürelerindeki Nyquist eğrisi Şekil 4.9.-4.14.' de verilmektedir. Şekil 4.9.a.' da 1 saatlik daldırma sonundaki kararlı açık devre potansiyeline ulaşıldıktan sonra bu potansiyelde elde edilen eğrilerden derişimi 5×10^{-4} M olan çözeltiye bakıldığında, yüksek frekans bölgesinden başlayan ve orta frekans bölgesinde kapanan eliptik bir eğrinin oluştuğu görülmüştür. Eğrinin yatay eksene ekstrapol edilmesi ile elde edilen direnç değeri $298,3 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitör eklenmemiş çözeltiden belirlenen lupun çapından $77,4 \Omega$ daha fazla olduğu bulunmuştur. 5A3M' nin eklenmesi 1 saatlik daldırma sonunda çeliği çok az koruyabilmiştir.



Şekil 4.9.a. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 1saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi

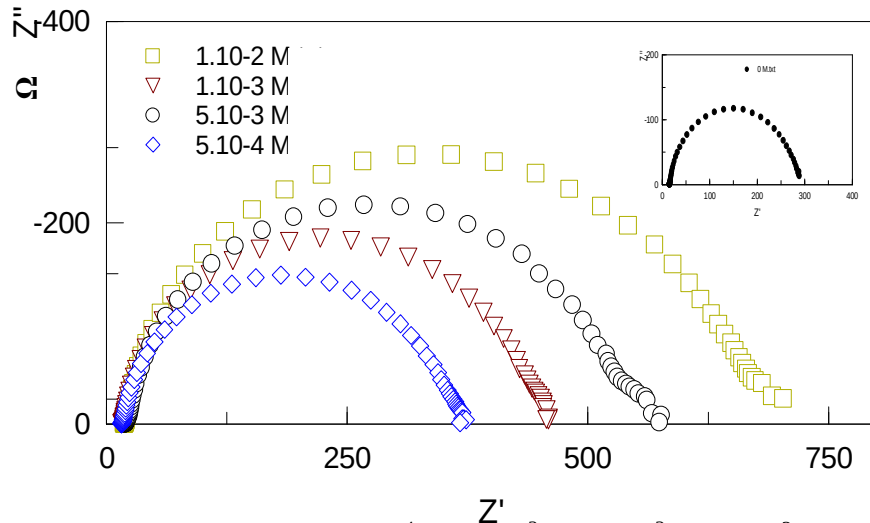
1×10^{-3} M 5A3M içeren 0,1 M HCl içerisinde, yumuşak çelik elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisine bakıldığında yüksek frekans bölgesinden başlayan ve orta frekans bölgesinde kapanan eliptik bir eğri görülmektedir. Eğriden elde edilen direnç değeri $409,1 \Omega$ 'dur. Buna göre, elde edilen lupun çapı inhibitörsüz ortamdaki lupun çapından $188,2 \Omega$ daha fazla olmaktadır.

5×10^{-3} M 5A3M içeren 0,1M HCl içeren çözeltinin direncine bakıldığında $455,2 \Omega$ olduğu görülmektedir. inhibitörsüz değerden $234,3 \Omega$ daha fazla olması yumuşak çeliğin biraz daha iyi korunduğunu gösterir. En yüksek derişim olan 1×10^{-2} M 5A3M içeren çözeltinin ise direnci $548,2 \Omega$ dur. İnhibitörsüz ortamın direncinden $327,3 \Omega$ daha fazladır. Genel olarak 1 saatlik daldırma sonundaki dirençlere bakıldığında inhibitörün derişiminin çözeltiye oranla artmasından dolayı yüzeyin kapanması daha fazla olmaktadır.



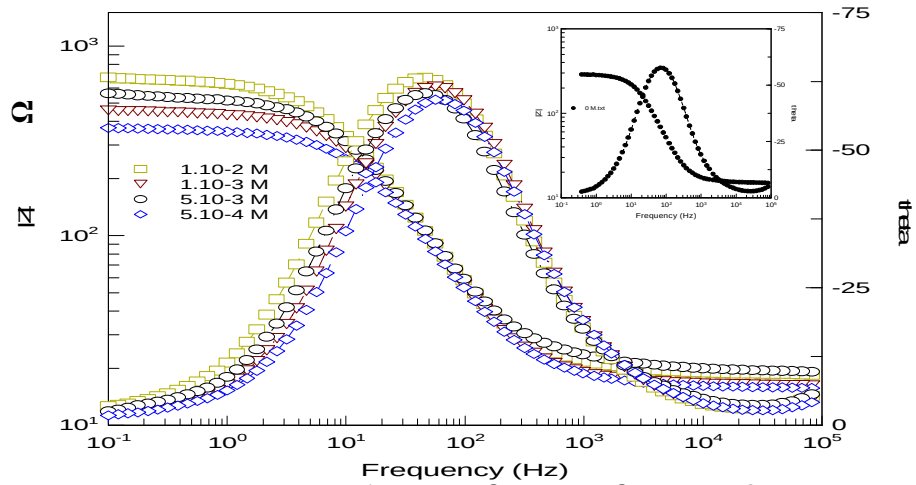
Şekil 4.9.b. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 1saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi

Şekil 4.9.b.' deki Bode eğrisinde inhibitörsüz ortamdaki faz açısı 53 derece iken inhibitörlü ortamdaki θ değeri ise 60 dereceye kadar yükselmiştir.



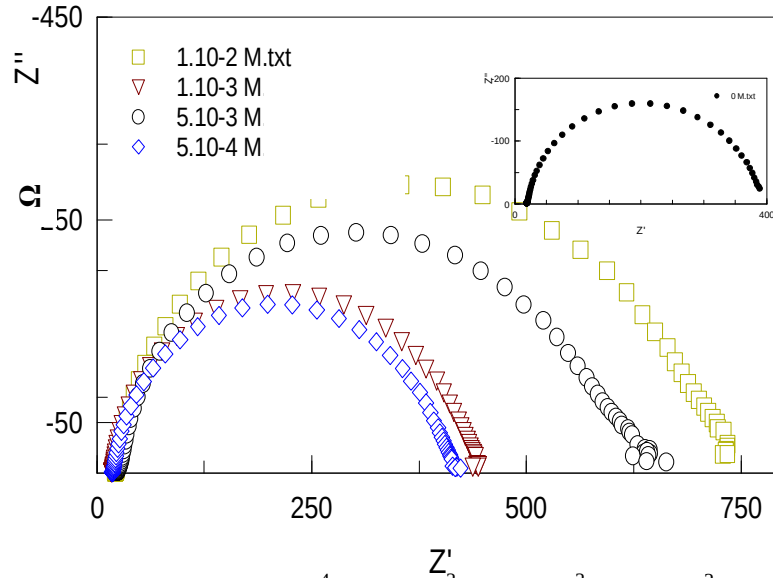
Şekil 4.10.a. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 2 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi

Şekil 4.10.a’ da 5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M 5A3M içeren 0,1 M HCl içerisinde, yumuşak çeliğin 2 saatlik daldırma sonucu açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisi verilmektedir. Açık devre potansiyeline ulaşıldıktan sonra bu potansiyelde elde edilen eğrilere bakıldığında, yüksek frekans bölgesinden başlayan ve orta frekans bölgesinde kapanan eliptik bir eğrinin olduğu görülmektedir. Eğrilerden 5×10^{-4} M 5A3M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç değeri $349,6 \Omega$ ’ dur. Elde edilen lupun çapı, 0,1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $76,7 \Omega$ daha fazla olduğu görülmektedir. 1×10^{-3} M 5A3M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç değeri $433,6 \Omega$ ‘ dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $160,7 \Omega$ daha fazladır. 5×10^{-3} M 5A3M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direncin değeri $530,2 \Omega$ ‘ dur. Bu değer, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $257,3 \Omega$ daha fazladır. En yüksek derişim olan 1×10^{-2} M 5A3M içeren HCl çözeltisindeki direnç değeri $652,5 \Omega$ ‘ dur. Elde edilen lupun çapı, 0,1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $379,6 \Omega$ daha fazla olduğu görülmektedir. Artan derişim değeri yumuşak çeliğin korozyona karşı daha iyi korunduğunu gösterir.



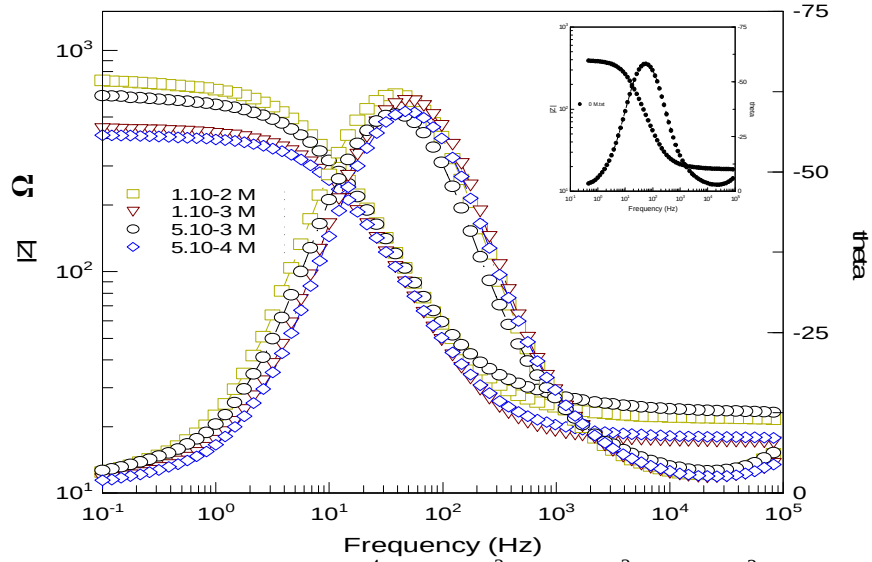
Şekil 4.10.b. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 2 saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi

Şekil 4.10.b deki Bode eğrisinde inhibitörsüz ortamdaki faz açısı 57 derece iken inhibitörlü ortamdaki θ değeri ise 63 dereceye kadar yükselmiştir.



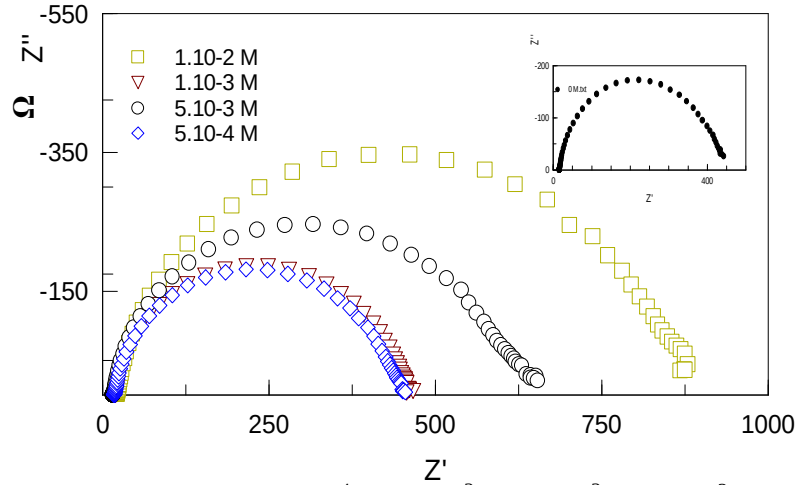
Şekil 4.11.a. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 3saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi

Şekil 4.11.a' da değişik derişimlerde 5A3M içeren 0,1 M HCl içerisinde, yumuşak çeliğin 3 saatlik daldırma süresindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisi verilmektedir. 3 saatlik daldırma süresi sonunda açık devre potansiyeline ulaşıldıktan sonra bu potansiyelde elde edilen eğrilere bakıldığında, en düşük derişim olan 5×10^{-4} M 5A3M içeren HCl çözeltisindeki elde edilen direnç $393,6 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $51,2 \Omega$ daha fazladır. 1×10^{-3} M 5A3M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç değeri $419,1 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $76,7 \Omega$ daha fazladır. 5×10^{-3} M 5A3M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direncin değeri $598,4 \Omega$ ' dur. Bu değer, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından 256Ω daha fazladır. En yüksek derişim olan 1×10^{-2} M 5A3M içeren HCl çözeltisindeki direnç değeri $697,2 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, 0,1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $354,8 \Omega$ daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar artan derişimlerde korozyonun önlemek için yüzeyde oluşan filmin yumuşak çeliği daha iyi koruduğunu gösterir.



Şekil 4.11.b. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 3saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi

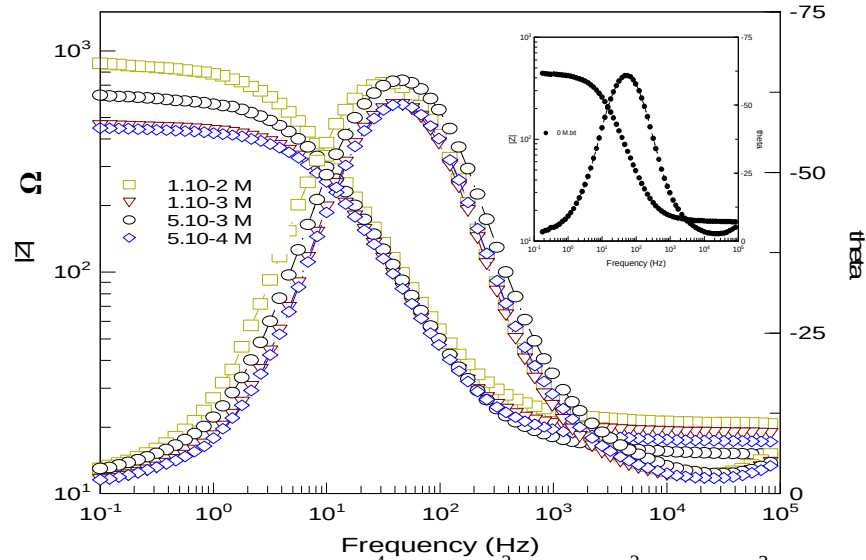
Şekil 4.11.b deki Bode eğrisinde inhibitörsüz faz açısının değeri 58 iken inbitörlü ortamdaki θ değeri 62 dereceye kadar yükselmiştir.



Şekil 4.12.a. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 4 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi

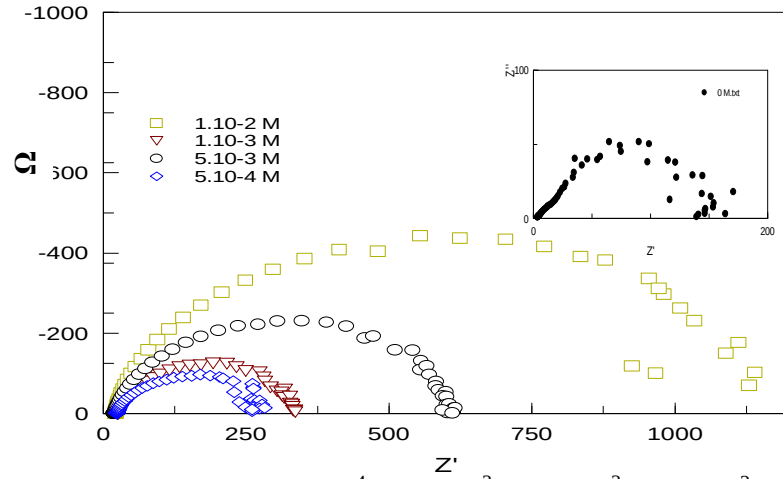
4 saatlik daldırma süresi sonunda 5×10^{-4} M 5A3M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç $427,6 \Omega$ 'dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $82,6 \Omega$ daha fazladır. 1×10^{-3} M 5A3M içeren HCl

çözeltisinden elde edilen direnç değeri $435,4 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $90,4 \Omega$ daha fazladır. $5 \times 10^{-3} \text{M}$ 5A3M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direncin değeri $608,5 \Omega$ ' dur. Bu değer, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $263,5 \Omega$ daha fazladır. En yüksek derişim olan $1 \times 10^{-2} \text{M}$ 5A3M içeren HCl çözeltisindeki direnç değeri $842,9 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, $0,1 \text{M}$ HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $497,9 \Omega$ daha fazla olduğu görülmektedir. Çözeltideki artan inhibitör derişiminin 4 saatlik daldırma sonunda diğer daldırma sürelerine oranla yüzeyde oluşturduğu film sayesinde yumuşak çeliği daha iyi koruduğunu gösterir.



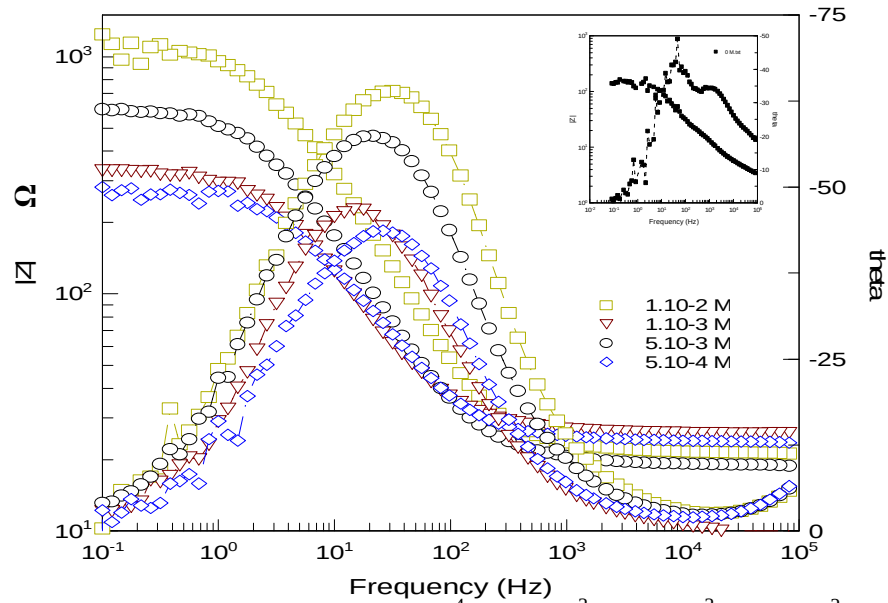
Şekil 4.12.b. 0,1 HCl + 5A3M ($5 \times 10^{-4} \text{M}$, $1 \times 10^{-3} \text{M}$, $5 \times 10^{-3} \text{M}$, $1 \times 10^{-2} \text{M}$) içerisinde yumuşak çeliğin 4 saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi

4 saatlik daldırma sonunda inhibitörsüz ortamdaki faz açısı 60 derece iken inhibitörlü ortamda faz açısı 64 derece olarak belirlenmiştir.

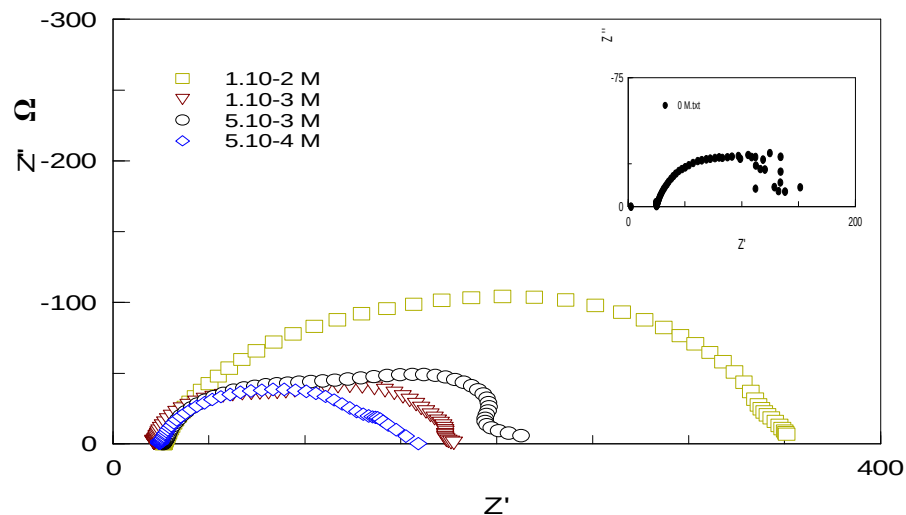


Şekil 4.13.a. 0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 72 saatlik daldırma süresi sonundaki Nyquist eğrisi

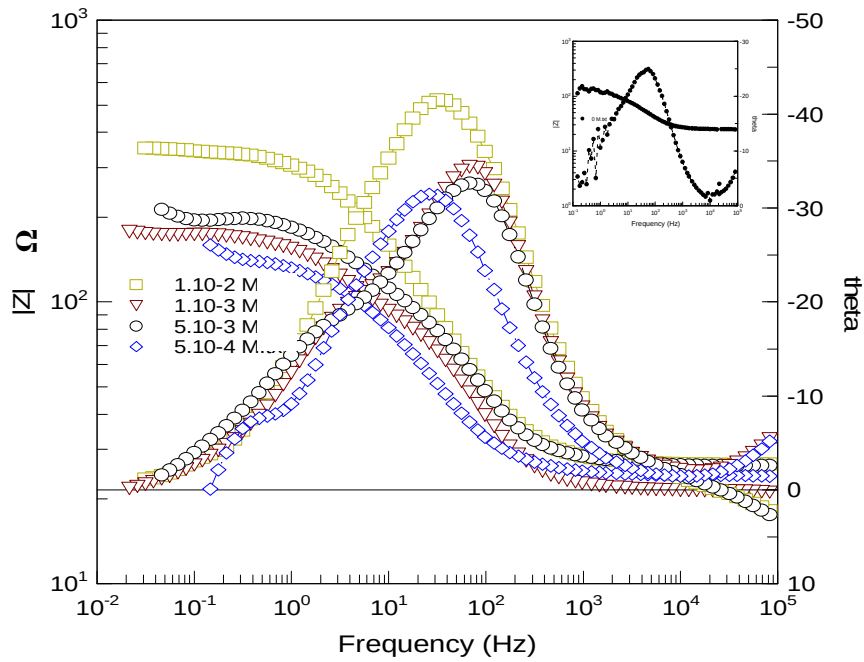
72 saatin sonunda 5×10^{-4} M 5A3M içeren HCl çözeltisindeki elde edilen direnç $255,4 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $83,7 \Omega$ daha fazladır. 1×10^{-3} M 5A3M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç değeri $313,8 \Omega$ ' dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $142,1 \Omega$ daha fazladır. 5×10^{-3} M 5A3M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direncin değeri $594,2 \Omega$ ' dur. Bu değer, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $422,5 \Omega$ daha fazladır. En yüksek derişim olan 1×10^{-2} M 5A3M içeren HCl çözeltisindeki direnç değeri 1099Ω ' dur. Elde edilen lupun çapı, 0,1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $927,3 \Omega$ daha fazla olduğu görülmektedir.



72 saatlik daldırma sonunda Bode eğrisinden elde edilen θ değeri inhibitörsüz ortamda 49 iken 5A3M ilavesiyle 63 dereceye kadar yükselmiştir. Bu yükselen değer yumuşak çeliğin 5A3M inhibitörüyle korunduğunu gösterir.



168 saatin sonunda 5×10^{-4} M 5A3M içeren HCl çözeltisindeki elde edilen direnç $123,9 \Omega$ 'dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $6,1 \Omega$ daha fazladır. 1×10^{-3} M 5A3M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direnç değeri $153,9 \Omega$ 'dur. Elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $36,1 \Omega$ daha fazladır. 5×10^{-3} M 5A3M içeren HCl çözeltisinden elde edilen direncin değeri $180,9 \Omega$ 'dur. Bu değer, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $63,1 \Omega$ daha fazladır. En yüksek derişim olan 1×10^{-2} M 5A3M içeren HCl çözeltisindeki direnç değeri $324,3 \Omega$ 'dur. Elde edilen lupun çapı, $0,1$ M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından $206,5 \Omega$ daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.14.b. $0,1$ HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonundaki Bode eğrisi

168 saatlik daldırma sonunda inhibitörsüz ortamdaki faz açısı 24 derece iken inhibitörlü ortamda faz açısı 41 derece olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. 0,1 M HCl ‘ nin inhibitörsüz ortamdaki 1-168 saatleri arasındaki R_s/Ω , $R_p/\Omega\text{cm}^2$ ve $CPE/\mu\text{F cm}^2$ değerleri

Inhibitör	t/h	EIS		
0,0 M		R_s/Ω	$R_p/\Omega\text{cm}^2$	$CPE/\mu\text{F cm}^2$
	1	16,57	220,9	$7,24.10^{-5}$
	2	15,28	272,9	$6,184.10^{-5}$
	3	12,35	342,4	$6,462.10^{-5}$
	4	12,71	345,0	$7,148.10^{-5}$
	72	2,89	171,7	$77,94.10^{-5}$
	168	23,67	117,8	$816,3.10^{-5}$

Çizelge 4.2. 0,1 M HCl + (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içeren ortamdaki 1-168 saatleri arasındaki R_s/Ω , $R_p/\Omega \text{cm}^2$ ve $CPE/\mu\text{F cm}^2$ değerleri

Inhibitör	t/h	EIS			
5A3M		R_s/Ω	$R_p/\Omega \text{cm}^2$	$CPE/\mu\text{F cm}^2$	$\eta\%$
5.10^{-4} M	1	16,23	298,3	$6,1938.10^{-5}$	25,93
	2	16,14	349,6	$6,4344.10^{-5}$	21,93
	3	18,18	393,6	$6,8485.10^{-5}$	13,00
	4	17,57	427,6	$7,3271.10^{-5}$	19,31
	72	23,83	255,4	$24,07.10^{-5}$	32,77
	168	23,90	123,9	$52,44.10^{-5}$	4,92
1.10^{-3} M	1	16,16	409,1	$5,5108.10^{-5}$	46,00
	2	16,62	433,6	$5,8803.10^{-5}$	37,06
	3	17,22	419,1	$6,5913.10^{-5}$	18,30
	4	18,97	435,4	$7,0818.10^{-5}$	20,76
	72	26,05	313,8	$24,93.10^{-5}$	45,28
	168	20,40	153,9	$48,71.10^{-5}$	23,45
5.10^{-3} M	1	23,23	455,2	$5,5108.10^{-5}$	51,47
	2	20,09	530,2	$6,5113.10^{-5}$	48,53
	3	24,25	598,4	$1,6849.10^{-5}$	42,78
	4	15,47	608,5	$7,1645.10^{-5}$	43,30
	72	19,16	594,2	$16,34.10^{-5}$	71,10
	168	25,29	180,9	4254.10^{-5}	34,38
1.10^{-2} M	1	38,11	548,2	$5,927.10^{-5}$	59,70
	2	18,90	652,5	$6,191.10^{-5}$	58,18
	3	22,00	697,0	$6,4622.10^{-5}$	50,88
	4	21,60	842,9	$6,7424.10^{-5}$	59,07
	72	21,37	1099,0	$8,08.10^{-5}$	84,00
	168	25,97	324,3	$24,16.10^{-5}$	63,68

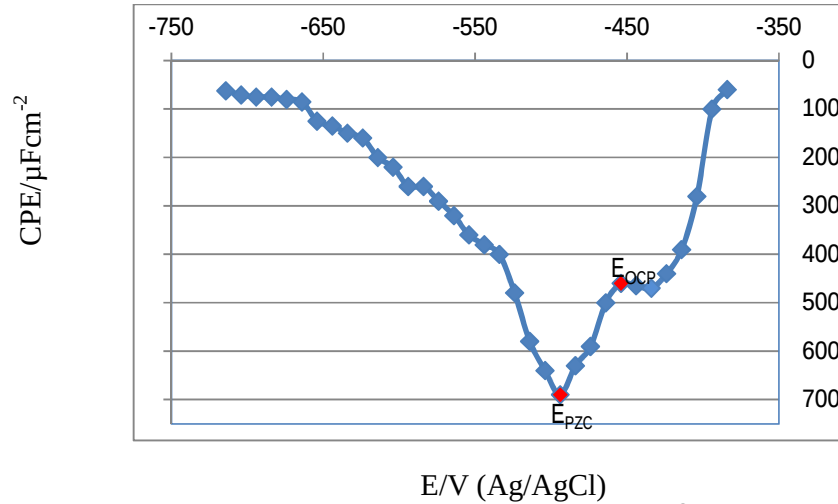
Çizelge 4.3. 0,1 M HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içeren ortamdaki 1-168 saatleri arasındaki R_s/Ω , $R_p/\Omega \text{cm}^2$ ve $\text{CPE}/\mu\text{F cm}^2$ değerleri

Inhibitör	t/h	EIS			
3A5M		R_s/Ω	$R_p/\Omega \text{cm}^2$	$\text{CPE}/\mu\text{F cm}^2$	$\eta\%$
$5 \cdot 10^{-4}\text{M}$	1	15,34	522,3	$5,09 \cdot 10^{-5}$	57,71
	2	12,89	697,8	$4,8 \cdot 10^{-5}$	60,89
	3	14,28	833,2	$4,85 \cdot 10^{-5}$	58,91
	4	14,02	755	$5,20 \cdot 10^{-5}$	54,30
	72	15,64	262,4	$13,74 \cdot 10^{-5}$	34,57
	168	19,94	127,6	$72,68 \cdot 10^{-5}$	7,68
$1 \cdot 10^{-3}\text{M}$	1	13,63	577,3	$4,811 \cdot 10^{-5}$	61,74
	2	12,09	840,1	$3,439 \cdot 10^{-5}$	67,52
	3	16,78	876,5	$4,027 \cdot 10^{-5}$	60,94
	4	15,47	879	$4,111 \cdot 10^{-5}$	60,75
	72	19,25	295,4	$14,08 \cdot 10^{-5}$	41,88
	168	25,76	128	$74,86 \cdot 10^{-5}$	7,97
$5 \cdot 10^{-3}\text{M}$	1	16,25	700,6	$3,8014 \cdot 10^{-5}$	68,47
	2	12,54	898	$4,3069 \cdot 10^{-5}$	69,61
	3	10,77	922,8	$4,4549 \cdot 10^{-5}$	62,90
	4	15,27	1061	$3,8549 \cdot 10^{-5}$	67,48
	72	15,42	338,5	$11,65 \cdot 10^{-5}$	49,28
	168	16,16	310,6	$60,53 \cdot 10^{-5}$	62,07
$1 \cdot 10^{-2}\text{M}$	1	13,08	746,5	$3,864 \cdot 10^{-5}$	70,41
	2	14,17	935,3	$4,013 \cdot 10^{-5}$	70,82
	3	13,8	971,4	$4,130 \cdot 10^{-5}$	64,75
	4	14,04	1182	$3,48 \cdot 10^{-5}$	70,81
	72	14,46	541,3	$16,6 \cdot 10^{-5}$	68,28
	168	20,42	318,40	$91,30 \cdot 10^{-5}$	63,00

4.2. Sıfır Yük Potansiyeli (PZC)

Organik inhibitörler metal yüzeyine adsorplanarak tutunurlar. Onların adsorpsiyonu metalin yüzey yüküne, inhibitörün yüküne ve ortamda bulunan diğer yüklenmiş türlerin adsorpsiyonuna bağlıdır (Mave ark., 2003). Adsorpsiyon mekanizması metal/çözelti ara yüzeyinde organik moleküllerin adsorplanmış su molekülleri ile yer değiştirmesi ile gerçekleşmektedir. Metalin yüzey yükü, metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan elektrik alandan kaynaklanmaktadır ve sıfır yük potansiyeli ile açık devre potansiyelinin karşılaştırılmasıyla belirlenebilir. Bağlı korozyon potansiyeli olarak tanımlanan E_r , $E_r = E_{ocp} - E_{pzc}$ şeklinde hesaplanabilir. Eğer E_r negatif ise elektrot yüzeyi negatif yüklüdür ve katyonların adsorpsiyonu tercihlidir. Ters durumda yani E_r pozitif ise anyonların adsorpsiyonu söz konusudur (Fuchs-Godec ve ark., 2006).

Yumuşak çelik elektrotun yüzey yükünü belirlemek amacıyla değişik potansiyellerde EIS ölçümleri yapılmış ve elde edilen sabit faz elementi (CPE) değerleri potansiyele karşı grafiğe geçirilmiştir.

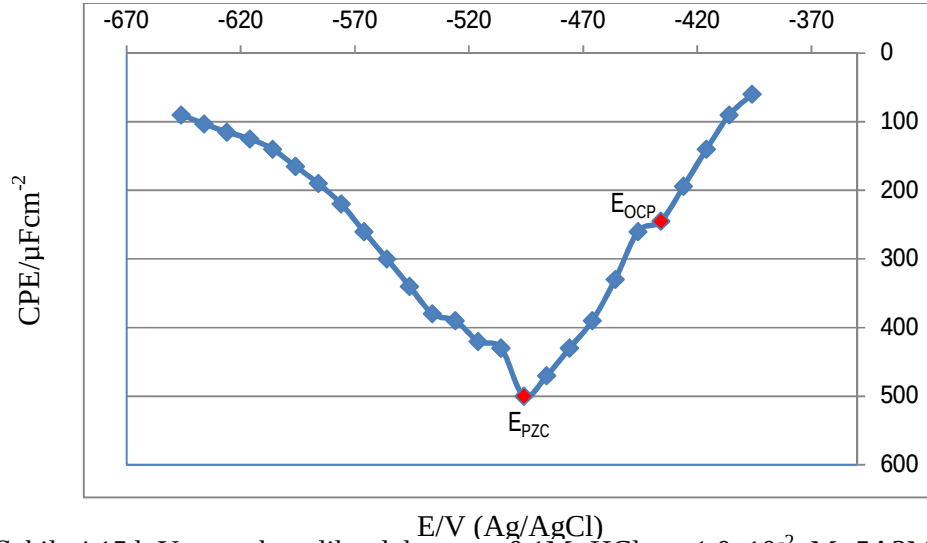


Şekil 4.15.a.Yumuşak çelik elektrotun 0,1M HCl + $1,0 \times 10^{-2}$ M 3A5M içeren çözeltide elde edilen potansiyel (E) – sabit faz elementi (CPE) eğrisi.

(Şekil 4.15.a.). Elde edilen eğrinin en alt noktasındaki CPE değerine karşılık gelen potansiyel sıfır yük potansiyeli olarak kabul edilmektedir (-0,494 V) (Lebrini

ve ark., 2005; Solmaz ve ark., 2008). Yumuşak çelik elektrotun bu koşullardaki açık devre potansiyeli (-0,454 V) sıfır yük potansiyeline göre daha pozitif olmaktadır. Bu durumda 0,1M HCl içerisindeki 3A5M inhibitörü E_r değerini artı çıkmaktadır; yani yumuşak çeliğin yüzeyi pozitifdir ve metal yüzeyinde anyonlar bulunmaktadır.

0,1 M HCl çözeltisi içinde sırasıyla 5A3M içeren çözeltide de değişik potansiyellerdeki EIS ölçümleri yapılmış ve elde edilen sabit faz elementi (CPE) değerleri potansiyele karşı grafiğe geçirilmiştir (Şekil 4.15.b.). Elde edilen eğride CPE değerine karşılık gelen potansiyel sıfır yük potansiyeli -0,496 V, yumuşak çelik elektrotun bu koşullardaki açık devre potansiyeli ise -0,446 olarak belirlenmiştir. Bu durumda 0,1M HCl içerisindeki 5A3M inhibitörü E_r değerini artı çıkmaktadır.

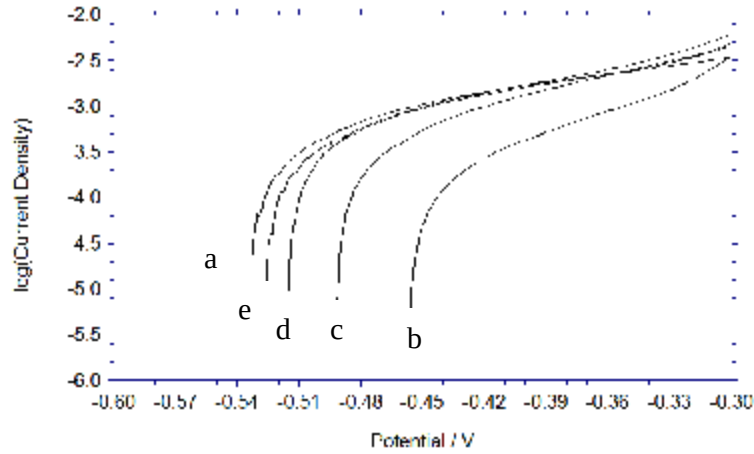


Şekil 4.15.b. Yumuşak çelik elektrotun 0,1M HCl + $1,0 \times 10^{-2}$ M 5A3M içeren çözeltide elde edilen potansiyel (E) – sabit faz elementi (CPE) eğrisi

Inhibitör içeren ortamlara ait korozyon potansiyelleri aynı ortamlardaki sıfır yük potansiyelleri göre daha pozitif tarafta kalmıştır. $E_r = E_{kor} - E_{pzc}$ bağıntısına göre, E_r değeri pozitif olmaktadır. Bu durumda yumuşak çelik yüzeyinin, inhibitör içeren ortamlarda da pozitif yüklü olduğu görülmektedir.

4.3. Akım Potansiyel Eğrileri

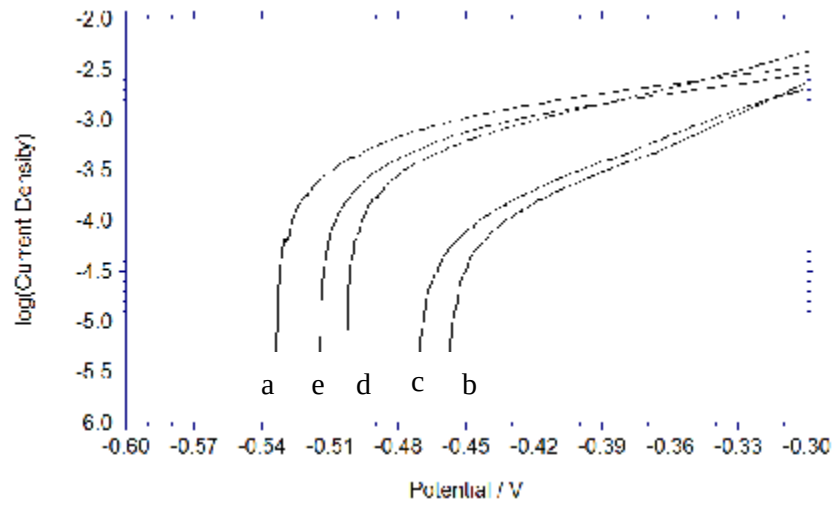
0,1 HCl + 3A5M (5×10^{-4} , 1×10^{-3} , 5×10^{-3} , 1×10^{-2}) içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonunda elde edilen yarı logaritmik anodik akım potansiyel eğrileri Şekil 4.16.a.' da verilmektedir. Yumşak çelik elektrotun -0,75 V - +0,75 V potansiyele kadar taramanın yapıldığı anodik akım potansiyel eğrilerinde açık devre potansiyelinden daha pozitif potansiyellere doğru ilerledikçe, tüm çözeltilerde akım yoğunluğu değerlerinin azaldığı görülmektedir. 3A5M derişimi arttıkça bu azalma daha belirgin hale gelmektedir. Bu nedenle inhibitör moleküllerinin çözeltiye eklenmesi sonucu metal yüzeyi ile etkileşen inhibitör molekülleri arasındaki etkileşim arttığından, kapanan yüzey büyümekte, akım yoğunluğu azalmakta ve korozif ortama maruz kalan metal yüzeyi küçülmektedir.



Şekil 4.16.a. 0,1 HCl + 3A5M [(e) 5×10^{-4} M, (d) 1×10^{-3} M, (c) 5×10^{-3} M, (b) 1×10^{-2} M, (a)0 M] içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonunda elde edilen yarı logaritmik anodik akım potansiyel eğrileri

$1,0 \times 10^{-2}$ M 3A5M içeren ortamlarda metal yüzeyinde tutunan moleküllerin sayısı daha düşük derişimdeki ortamlara oranla arttığından, metal yüzeyinde oluşan örtücü film de artmıştır. Bu durum artan inhibitör derişimi miktarına göre anodik yöndeki reaksiyonların yavaşlamasına ve akım yoğunluklarının daha belirgin bir şekilde azalmasına neden olmuştur.

0,1 HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonunda elde edilen yarı logaritmik anodik akım potansiyel eğrileri Şekil 4.16.b.' de verilmektedir. Yumşak çelik elektrotun -0,75 V- +0,75 V potansiyele kadar taramanın yapıldığı anodik akım potansiyel eğrilerinde açık devre potansiyelinden daha büyük potansiyellere doğru ilerledikçe, -0,458 V potansiyel değerine kadar akım yoğunluğu değerlerinin azaldığı görülmektedir.



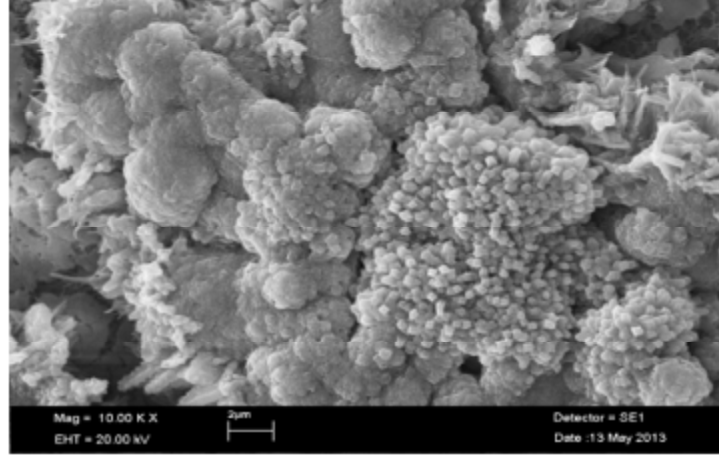
Şekil 4.16.b. 0,1 HCl + 5A3M [(e) 5×10^{-4} M, (d) 1×10^{-3} M, (c) 5×10^{-3} M, (b) 1×10^{-2} M, (a)0 M] içerisinde yumuşak çeliğin 168 saatlik daldırma süresi sonunda elde edilen yarı logaritmik anodik akım potansiyel eğrileri

0,1 M HCl içerisinde, inhibitör derişiminin artmasıyla metal yüzeyi ile etkileşen inhibitör molekölü sayısı arttığından metal yüzeyi daha fazla kapanmaktadır. Bu nedenle yumuşak çelik elektrota ait korozyon akım yoğunlukları azalmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi korozyon potansiyelleri 5A3M içeren ortamlarda derişim arttıkça daha pozitif değerlere doğru kaymaktadır.

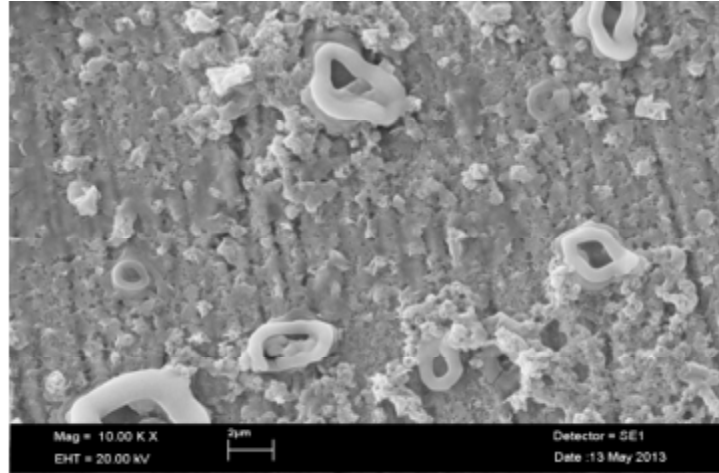
4.4. Yüzey Morfolojisi

Elektrotların yüzeyinde oluşan morfolojik değişimler, taramalı elektron mikroskopu (SEM) cihazı kullanılarak görüntölennmiştir.

(a)



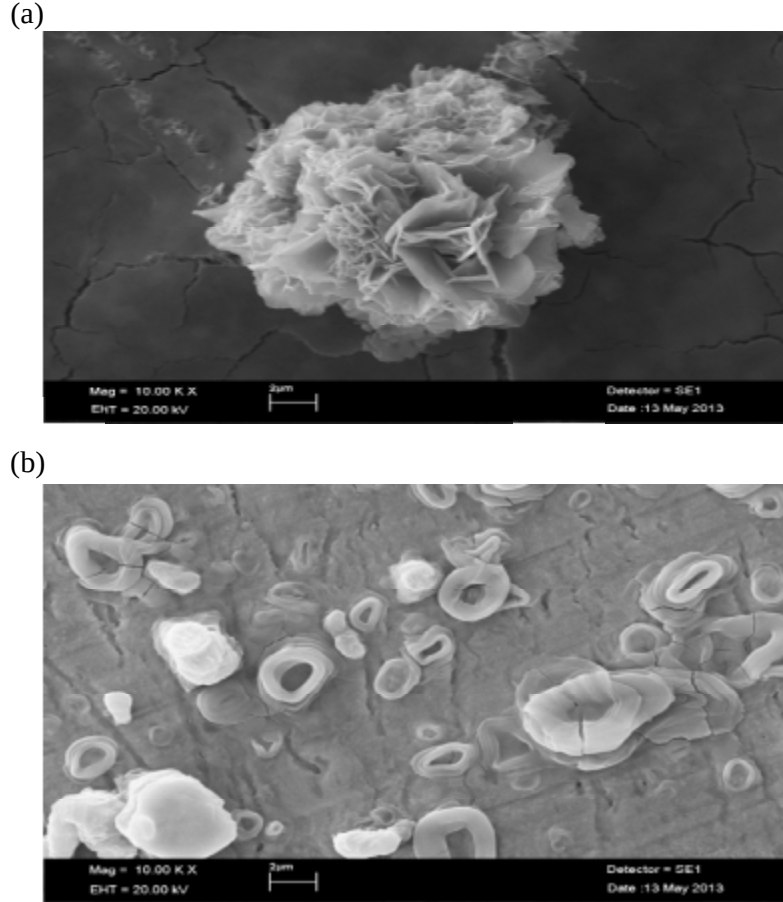
(b)



Şekil 4.17 0,1 HCl (a) + 3A5M [1×10^{-2} M(b)] içerisinde 4 saat bekletilen yumuşak çelik elektrotun SEM görüntüleri.

Şekil 4.19.a.' da 0,1 M HCl çözeltisi içerisinde 4 saat bekletilen yumuşak çeliğin, Şekil 4.19.b' de ise 0,1 HCl + 3A5M (1×10^{-2} M) yumuşak çelik elektrotun SEM görüntüleri verilmiştir. Korozif çözelti içerisindeki iyonlar, yumuşak çelik elektrottaki demir ile etkileşime girerek korozyon ürünlerini yüzeyde oluşturmaktadır. Şekil 4.19.a.' da görüldüğü gibi yüzeyde oluşan Fe^{+2} (Fe^{+3}) iyonları 4 saatlik daldırma sonucunda elektrot yüzeyinin tamamen bozulmasına neden olmaktadır. Şekil 4.19.b.' de ise çözeltideki 3A5M inhibitöründeki etkin madde

yüzeye ulaşarak koruyucu bir film oluşturduğu görünmektedir. Oluşan filmin morfolojik yapısı homojen olmayan halkalı yapıdadır. Oluşan bu film sıkı istiflenmiş ve yüzeyi tamamen kapatmıştır. Bu nedenle, inhibitör korozif maddelerin yumuşak çelik elektrotu ulaşmasını ve korozyona uğramasını engellemiştir.



Şekil 4.18. İnhibitörsüz (a) ve 10^{-2} M 3A5M içeren (b) 0,5 M HCl çözeltisi içerisinde 4 saat bekletilen yumuşak çelik elektrotun SEM görüntüleri.

Şekil 4.20.' de inhibitörsüz (a) ve 10^{-2} M 3A5M içeren (b) 0,5 M HCl çözeltisi içerisinde 4 saat bekletilen yumuşak çelik elektrotun SEM görüntüleri verilmiştir. Daha korozif ortam olan 0,5 M HCl çözeltisi Şekil 4.20.' de görüldüğü gibi yumuşak çeliği daha fazla korozyona uğratmıştır. Korozyon sonucu oluşan Fe^{+2}/Fe^{+3} iyonları, inhibitörün yüzeye daha fazla yaklaşmasına ve daha sık

istiflenmesini sağlamaktadır. İnhibitörün morfolojik yapısı daha belirgin hale gelmiştir.

10^{-2} M 3A5M' nin farklı iki derişimde HCl (0,1 M ve 0,5 M) çözeltisi içerisindeki koruyucu etkisini karşılaştırdığımızda 0,5 M HCl çözelti içerisinde 3A5M' nin daha iyi koruma sağladığı görülmüştür. Daha yüksek derişimdeki HCl çözeltisi, yumuşak çelik yüzeyini daha fazla korozyona uğratmaktadır. Böylece metal yüzeyinde daha fazla Fe^{+2}/Fe^{+3} iyonları oluşmaktadır. Bu iyonlar inhibitör ile kompleks oluşturmakta ve bunun sonucunda inhibitör bu yüzeye daha iyi tutunmaktadır. Böylece daha sık istiflenmiş bir film oluşturmaktadır. SEM görüntüleri HCl' nin derişimi arttıkça inhibitörün yumuşak çelik elektrot yüzeyinde daha koruyucu etkisinin olduğunu göstermektedir. İnhibitörün etkinliği metal iyonlarının oluşmasına bağlıdır. Bu iyonlar inhibitör ile fiziksel bir adsorpsiyon oluşturmaktadır.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuç ve önerilere ulaşılmıştır.

0,1 M HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içeren çözeltilerde yumuşak çeliğin atmosfere açık ortamlarda elde edilen polarizasyon dirençleri, AC impedans tekniği ile açık devre potansiyelinde Nyquist eğrilerinden elde edilen sonuçlar;

1. İnhibitör derişiminin en yüksek olduğu çözeltide, 4 saatlik daldırma sonunda alınan impedans ölçümlerine göre elde edilen lupun çapı, inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından 837 Ω daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle inhibitör derişiminin artmasıyla, bu inhibitörün elektrot yüzeyinde oluşturduğu film tabakasının dayanıklılığı artmaktadır. Korozyon potansiyeli de daha pozitif potansiyellere kaymaktadır.

0,1 M HCl + 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içeren çözeltilerde yumuşak çeliğin atmosfere açık ortamlarda elde edilen akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen sonuçlar;

2. İnhibitör moleküllerinin çözeltiliye eklenmesi sonucu metal yüzeyi ile etkileşen inhibitör molekülleri arasındaki etkileşim arttığından, kapanan yüzey büyümekte, inhibitör derişiminin artmasıyla akım yoğunluğu azalmakta ve koroziyon ortamına maruz kalan metal yüzeyi küçülmektedir.

0,1 M HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içeren çözeltilerde yumuşak çeliğin atmosfere açık ortamlarda elde edilen polarizasyon dirençleri, AC impedans tekniği ile açık devre potansiyelinde Nyquist eğrilerinden elde edilen sonuçlar;

3. İnhibitör derişiminin artmasıyla inhibitörün elektrot yüzeyinde oluşturduğu film tabakası arttığından korozyon potansiyelleri derişimin artmasına bağılı olarak daha pozitif potansiyellere kaymaktadır. İnhibitör derişiminin en yüksek olduğu çözeltide 4 saatlik daldırma sonunda alınan ölçümlere göre elde edilen lupun çapı, 0,1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ortamda elde edilen lupun çapından 497,9 Ω daha fazla olduğu görülmektedir

0,1 M HCl + 5A3M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içeren çözeltelerde yumuşak çeliğin atmosfere açık ortamlarda elde edilen akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen sonuçlar;

4. İnhibitör derişiminin artmasıyla inhibitörün elektrot yüzeyinde oluşturduğu film korozyon potansiyellerini daha pozitif potansiyellere kaydırmıştır. İnhibitör derişiminin en yüksek olduğu çözeltide korozyon potansiyeli ile inhibitörsüz ortamda belirlenen korozyon potansiyeli arasında 0,77 V potansiyel fark oluşmuştur.

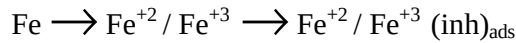
0,1 M HCl + 5A3M ve 3A5M (5×10^{-4} M, 1×10^{-3} M, 5×10^{-3} M, 1×10^{-2} M) içeren çözeltelerde yumuşak çeliğin atmosfere açık ortamlarda elde edilen sıfır yük potansiyel eğrilerinden elde edilen sonuçlar;

5. 0,1 M HCl çözeltisinde ve inhibitör içeren çözeltelerde yumuşak çelik yüzeyinin $E_r = E_{kor} - E_{pzc}$ bağıntısına göre, E_r değeri, 3A5M ve 5A3M içeren çözeltelerde sırasıyla +0,04 V ve +0,05 V olan pozitif yüklü değerler bulunmuştur. Bu durumda yumuşak çelik yüzeyinin, inhibitör içeren ortamlarda da pozitif yüklü olduğu görülmektedir. Adsorpsiyon mekanizması metal/çözelti ara yüzeyinde organik moleküllerin adsorplanmış su molekülleri ile yer değıştirmesi ile gerçekleşmektedir.

3A5M (1×10^{-2} M) içeren 0,1 M HCl ve 0,5 M HCl çözeltilerine 4 saat daldırılan yumuşak çelik elektrotun SEM görüntülerinin sonuçları;

6. 0,1M HCl + 3A5M (1×10^{-2} M) içeren ortamdaki yumuşak çelik yüzeyine SEM görüntüleri ile baktığımızda, yüzeyin korunduğu görülmektedir. Daha korozif ortam olan 0,5 M HCl içerisinde çalışılan yumuşak çelik yüzeyi ortam koşullarına bağlı olarak daha fazla korozyona uğramakta ve metal yüzeyinde daha yoğun Fe^{2+} iyonları oluşturmaktadır. Bunun sonucu Fe^{2+} iyonu ile organik maddenin etkileşimiyle inhibitörün metale daha iyi bağlandığı ve bu bağlanma ile daha iyi korunduğu SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Görüntüler sonucu ortamın daha korozif olması inhibitörün metale yaklaşmasını kolaylaştırmakta ve daha koruyucu bir ortam oluşturmaktadır.

Genel metal inhibitör tepkimesi aşağıdaki gibidir:



Tüm bu sonuçlar doğrultusunda 3A5M ve 5A3M inhibitörleri asidik ortamda yumuşak çelik elektrot yüzeyinde koruyucu bir film oluşturduğunu söyleyebiliriz. Ancak oluşan bu filmin kararlılığında zamanla azalma olmaktadır ve yüzeyi terk etmektedir. Dolayısıyla inhibitörün etkinliği azalmaktadır. Sahip olduğu bu özellik nedeniyle korozyona karşı koyma konusunda endüstriyel alanda kullanıma pek elverişli değildir.

KAYNAKLAR

- ALET, E., 2012. 4- Piperidin Karboksilikasitin Asidik Ortamda Bakırın Korozyon Davranışlarına Etkisinin Araştırılması.
- BENTISS, F., TRAISNEL, M., VEZIN, H., LAGRENEE, M., 2003. Linear Resistance Model of the Inhibition Mechanism of Steel in HCl by Triazole and Oxadiazole derivatives: Structure-Activity Correlations. Corrosion Science, 45: 371-380.
- ÇİNDİRLİ, T., 2010 Kükürt içeren Amino Asitlerin Bakır Yüzeyine Adsorpsiyon Karakteristiklerinin Elektrokimyasal ve Kuantum Kimyasal Olarak İncelenmesi.
- DOĞRU MERT B., MERT E., KARDAS G., YAZICI B., Experimental And Theoretical Investigation Of 3-Amino-1,2,4-Triazole-5-Thiol As A Corrosion Inhibitor For Carbon Steel In Hcl Medium. Corrosion Science 53:4265– 4272
- E. E. OGUZİE, G. N. ONUOHA, A. I. ONUCHUKWU, 2005. Inhibitory mechanism of Mild Steel Corrosion in 2 M Sulphuric Acid Solution By Methylene Blue Dye, Materials Chemistry And Physics 89, 305-311.
- EL AZHAR M., MERNARİ B., TRAISNEL M., 2001. Corrosion Inhibition of Mild Steel By The New Class of Inhibitors [2,5-Bis (N-Pyridil-1,3,4tiadiazoles] in Acidic Media, Corrosion Science 43, 2229-2238.
- EMREGÜL. C. KAN., ATAKOL. O ., 2003. Corrosion Inhibition of Mild Steel With Schiff Base Compounds In 1M HCl , Materials Chemistry And Physics 82 :188-193.
- FİNŞ GAR, M., 2013. 2-Mercaptobenzimidazole As A Copper Corrosion Inhibitor: Investigation of adsorption and inhibitive effect of 2-mercaptothiazoline on corrosion of mild steel in hydrochloric acid media. Electrochemical Acta, 53,5941-5952.
- KELEŞ, H., 2008.Yumuşak Çeliğin Asidik Ortamdaki Korozyonuna Bazı Organik Maddelerin İnhibitör Etkilerinin İncelenmesi.

- ONGUN YÜCE, A., 2005. Yumuşak Çeliğin Asidik Ortamdaki Korozyonuna Bazı Organik Maddelerin İnhibitör Etkilerinin İncelenmesi.
- ONGUN YÜCE, A., 2011. Kükürt İçeren Bazı Organik Maddelerin Asidik Ortamda Yumuşak Çeliğin Korozyonuna Etkilerinin İncelenmesi.
- ONGUN YÜCE, A., KARDAS G., 2011. Adsorption And İnhibition Effect Of 2-Thiohydantoin On Mild Steel Corrosion in 0.1 M HCl. Corrosion Science 58: 86– 94.
- ÖZCAN, M., 2005. Tiyoüre ve Türevlerinin Yumuşak Çeliğin Asidik Ortamda Korozyonuna Sistemik Etkilerinin Elektrokimyasal Olarak İncelenmesi.
- Part I. Long-Term İmmersion, 3D-Profilometry, And Electrochemistry. Corrosion Science 72:82– 89
- Physics 78 , 425-431.
- QIAN B., HOU B., ZHENG M., 2012. The İnhibition Effect Of Tannic Acid On Mild Steel Corrosion in Sea water Wet/Dry Cyclic Conditions. Corrosion Science 72:1– 9.
- QURAIŞİ. M. A., SARDAR. R., 2002. Corrosion İnhibition of Mild Steel in Acid Resistance Model of the İnhibition Mechanism of Steel in HCl by Triazole and Oxadiazole derivatives: Structure-Activity Correletions. Corrosion Science, 45: 371-380.
- SOLMAZ R., KARDAS G., YAZICI B.,, ERBİL M., 2008. Adsorption and corrosion inhibitive properties of 2-amino-5-mercapto-1,3,4-thiadiazole on mild steel in hydrochloric acid media Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 312 7– 17
- SOLMAZ, R., KARDAS, G., ÇULHA, M., YAZICI, B., ERBİL, M., 2008. Solutions By Some Aromatic Oxadiazoles , Materials Chemistry And Steel By The New Class of İnhibitors [2,5-Bis (N-Pyridil1,3,4tiadiazoles)]in Acidic Media, Corrosion Science 43, 2229-2238.

- SUDHEER, M.A. QURAİSHİ., 2012. Electrochemical And Theoretical Investigation Of Triazole Derivatives On Corrosion İnhibition Behavior Of Copper İn Hydrochloric Acid Medium. Corrosion Science 70:161– 169.
- TOPRAK DÖŞLÜ, S., 2013. Sol Jel Yöntemiyle Tio₂ Kaplanmış Paslanmaz Çelik Elektrotlar Üzerindeki Poli(Anilin-Ko-İndol) Filminin Elektrokimyasal Davranışları. With Schiff Base Compounds İn 1M HCl , Materials Chemistry And Physics 82 :188-193.
- XU B., LİU Y., YİN X., YANG W., CHEN Y., 2012. Experimental And Theoretical Study Of Corrosion İnhibition Of 3-Pyridinecarbozalde Thiosemicarbazone For Mild Steel in Hydrochloric Acid.
- YALÇINKAYA, S., 2008 Poli (Piröl-Ko-O-Toluidin)' in Elektrokimyasal Sentezi Karakterizasyonu ve Demirli Malzemeler Üzerinde Korozyon Performansının Belirlenmesi.

ÖZGEÇMİŞ

09/01/1987 yılında Adana’ da doğdu. İlköğretim ve lise öğrenimi Adana’ da tamamladı. 2005 yılında başladığı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü’ nden 2009 yılında mezun oldu. 2011 yılında Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim dalında yüksek lisansa başladı ve 2013 yılında tamamladı.