



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

**ETİLEN GLİKOLÜN % 3.5 NaCl ORTAMINDA KOROZYON
İNHİBİTÖRÜ OLARAK KULLANILABİLME POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ**

FATİMA ERMAN BAĞCI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HÜSNÜ GERENGİ**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİLEN GLİKOLÜN % 3.5 NaCl ORTAMINDA KOROZYON
İNHİBİTÖRÜ OLARAK KULLANILABİLME POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ

Fatima Erman Bağcı tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hüsnü GERENGİ
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Hüsnü GERENGİ
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Orhan Murat KALFA
Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Haydar GÖKSU
Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 25 Mayıs 2018

BEYAN

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

25 Mayıs 2018

Fatima Erman Bağcı

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabrından dolayı değerli hocam, Doç. Dr. Hüsni Gerengi'ye.

Değerli katkılarından dolayı Dr. Moses Monday Solomon ve Ekaette J. Abai'ye. Korozyon cihaz yazılımı için Polonya Gdansk Teknik Üniversitesinden Dr. Pawel Slepiski'ye.

Çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan çok değerli arkadaşlarım Ertuğrul Kaya, Mine Kurtay ve Öğr. Gör. Mesut Yıldız'a.

Çalışmalarım sırasında benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Nusret Bağcı'ya ve motivasyon kaynağım, kızım Beyza Bağcı'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP: 2017.06.05.565 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiş ve Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Korozyon Araştırma Laboratuvarı'nda yürütülmüştür.

25 Mayıs 2018

Fatima Erman Bağcı

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	IX
KISALTMALAR.....	X
SİMGELER	XI
ÖZET	XII
ABSTRACT	XIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. ÇELİK.....	2
1.2. ALÜMİNYUM	3
1.3. KOROZYON.....	7
1.4. İNHİBİTÖRLER	8
1.4.1. Anodik İnhibitörler	10
1.4.2. Katodik İnhibitörler.....	10
1.4.3. Karma İnhibitörler	10
1.5. ETİLEN GLİKOL	11
1.6. ADSORPSİYON VE ADSORPSİYON İZOTERMLERİ.....	12
1.7. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	13
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
2. 1. METOT.....	18
2.1.1. Kullanılan Korozyon Belirleme Yöntemleri.....	18
2.1.1.1. Tafel Ekstra Polarizasyon Yöntemi (TP).....	18
2.1.1.2. Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)	19
2.1.1.3. Kütle Kaybı Yöntemi.....	21
2.1.2. Yüzey Analizi.....	21

2.1.2.1. SEM /EDS Analizi.....	21
2.1.2.2.AFM Analizi.....	22
2. 2. MATERYAL	22
2.1.2. Çalışma Elektrotlarının Hazırlanması.....	22
2.1.3. Deneylerin Yapılışı.....	24
2.1.3.1. Elektrokimyasal yöntemlerle deneylerin yapılışı.....	24
2.1.3.2. Kütle kaybı yönteminin yapılışı	25
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	27
3.1. ETİLEN GLİKOLÜN İNHİBİTÖR ETKİSİNİN ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ	27
3.1.1. Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)	27
3.1.2. Tafel Ekstra Polarizasyon (TP).....	34
3.2. ETİLEN GLİKOLÜN İNHİBİTÖR ETKİSİNİN KÜTLE KAYBI YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ.....	36
3.3. YÜZEY ANALİZİ	37
3.3.1. SEM EDS Analizi	37
3.3.1. AFM Analizi	40
3.4. ADSORPSİYON İZOTERMİ VE TERMODİNAMİK PARAMETRELER ..	42
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45
5. KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	53

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çelik alaşımında bulunan elementler.	2
Şekil 1.2. Karbon çeliğinin kullanım alanları.	2
Şekil 1.3. Alüminyum ve alaşımları üzerinde oluşan oksit film.	5
Şekil 1.4. 25 °C’de Al-H ₂ O Pourbaix diyagramı	5
Şekil 1.5. Metalleri korozyona karşı koruma yöntemleri.	8
Şekil 1.6. İnhibitörlerin metal yüzeyine adsorpsiyonu.	9
Şekil 1.7. Etki ettiği tepkimeye göre inhibitör çeşitleri.	10
Şekil 1.8. Etilen glikolün yapısı.....	11
Şekil 1.9. Adsorpsiyon türleri.	12
Şekil 2.1. Kullanılan korozyon ölçme yöntemleri.	18
Şekil 2.2. Tafel ekstra polarizasyon yönteminde anodik ve katodik polarizasyon eğrileri.	19
Şekil 2.3. DEIS çalışma sistemi.....	20
Şekil 2.4. SEM /EDS analiz cihazı.	21
Şekil 2.5. AFM analiz cihazı.	22
Şekil 2.6. Deneyde kullanılan AA7075-T6 elektrotların hazırlanış şekli.	23
Şekil 2.7. Kütle kaybı için kullanılan St37 kuponu.	23
Şekil 2.8. Elektrokimyasal deneylerin yapıldığı ortamlar.	24
Şekil 2.9. DEIS deney düzeneği.	25
Şekil 2.10. %3.5 NaCl çözeltisi içerisindeki St-37 kuponlarının kütle kaybı yöntemi. .	26
Şekil 2.11. %3.5 NaCl + %50 Etilen glikol çözeltisi içerisindeki St-37 kuponlarının kütle kaybı yöntemi	26
Şekil 3.1. AA7075- T6 metalinin DEIS sonucu elde edilen 3D grafikleri (a) % 3.5 NaCl, (b) % 3.5 NaCl + %10 EG, (c) % 3.5 NaCl + %20 EG, (d) % 3.5 NaCl + %30 EG, (e) % 3.5 NaCl + %40 EG, (f) % 3.5 NaCl + %50 EG.	27
Şekil 3.2. DEIS yöntemi ile elde edilen R_{ct} değerinin zamana bağlı değişimi.....	31
Şekil 3.3. $R(QR)$ devre modeli.....	32
Şekil 3.4. Etilen glikol içeren ve içermeyen %3.5 NaCl çözeltisi içerisindeki AA775-T6 alaşımının Tafel eğrileri.....	34

Şekil 3.5. Alüminyum ile etilen glikolün reaksiyon mekanizması.....	36
Şekil 3.6. DEIS yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a) deney öncesi, (b) % 3.5 NaCl, (c) % 3.5 NaCl + %10 EG, (d) % 3.5 NaCl + %20 EG, (e) % 3.5 NaCl + %30 EG, (f) % 3.5 NaCl + %40 EG, (g) % 3.5 NaCl + %50 EG. ...	38
Şekil 3.7. AA7075-T6 metalinin AFM analizi (a); deney öncesi, (b); 6 saat boyunca %3.5 NaCl, (c); 6 saat boyunca %3.5 NaCl + %50 EG.....	41
Şekil 3.8. Etilen glikol ilaveli %3.5 NaCl çözeltisinde AA7075-T6 metali için elde edilen Langmuir adsorpsiyon izotermi grafiği.....	43



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Alüminyum metalinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	3
Çizelge 1.2. Alüminyum alaşımlarının bileşimleri.....	4
Çizelge 2.1. Alüminyum AA7075-T6 alaşımının kimyasal içeriği (Kütlece %).	22
Çizelge 2.2. Düşük karbon çeliğinin kimyasal bileşimi (Kütlece %).	23
Çizelge 3.1. AA7075-T6 alaşımı için %3.5 NaCl solüsyonunda 25 °C'de Dinamik Elektrokimyasal Empedans Parametreleri.	33
Çizelge 3.2. AA7075-T6 alaşımı için %3.5 NaCl solüsyonunda 25 °C'de Tafel Ekstra Polarizasyon parametreleri	35
Çizelge 3.3. Kütle kaybı yöntemi ile St-37 metal kuponları üzerinde etilen glikolün inhibitör etkisi.	37

KISALTMALAR

AC	Alternatif Akım
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
DC	Doğru Akım
DEIS	Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
EDS	Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi
EG	Etilen Glikol
EIS	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TP	Tafel Ekstra Polarizasyon
XRD	X-Işını Difraktometresi

SİMGELER

Ω	Ohm
β_a	Anodik Tafel Sabiti (mv/dec)
β_c	Katodik Tafel Sabiti (mv/dec)
μA	Mikroamper
μm	Mikrometre
mV	Milivolt
nm	Nanometre
E_{corr}	Korozyon Potansiyeli
I_{corr}	Korozyon Akım Yoğunluğu ($\mu A/cm^2$)
R_{ct}	Yük Transfer Direnci ($\Omega.cm^2$)
R_p	Polarizasyon Direnci ($\Omega.cm^2$)
R_s	Çözelti Direnci ($\Omega.cm^2$)
Z	Empedans (Ω)
Z_{im}	Hayali Empedans
Z_{re}	Gerçek Empedans
X^2	Ki-Kare
ml	Mililitre
Q	Sabit Faz Elemanı
MPa	Megapaskal
θ	Yüzey Kaplanma Derecesi
K_{ads}	Adsorpsiyon Katsayısı
ΔG^0_{ads}	Gibbs Serbest Enerjisi
T	Mutlak Sıcaklık
R	Molar Gaz Sabiti

ÖZET

ETİLEN GLİKOLÜN % 3.5 NaCl ORTAMINDA KOROZYON İNHİBİTÖRÜ OLARAK KULLANILABİLME POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Fatima Erman BAĞCI
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Hüsnü GERENGİ
Mayıs 2018, 52 Sayfa

Endüstride kullanılan metallerin büyük çoğunluğu sulu ortama maruz kalmaktadır. Metal ve alaşımları üzerinde sulu ortamda oluşan ince sıvı filim tabakası, metallerin metalik halden metal iyonları ve metal bileşikleri (metal oksitleri, hidroksitleri, tuzları) oluşturarak yükseltgenmesine neden olmaktadır. Bu istenmeyen sürece korozyon denir. Korozyon nedeniyle, metal ve alaşımlarından beklenen fiziko-mekaniksel özellikler zayıflamakta ya da tamamen yok olmaktadır. Bu durum ciddi ekonomik kayıplara ve teknik problemlere sebebiyet vermektedir. Bu problemlerin çözümü ve ekonomik kayıpların azaltılması için korozif ortama ilave edildiğinde korozyon hızını azaltan ya da önleyen kimyasallara yani korozyon inhibitörlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada; endüstride hafiflik, düşük maliyet, yüksek elektriksel ve termal iletkenlik özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılan AA7075 alaşımının % 3.5 NaCl çözeltisi içerisindeki korozyon mekanizması aydınlatılmış ve korozyon inhibitörü olarak etilen glikolün etkisi araştırılmıştır. Etilen glikol, araçların motorlarını soğutmak ya da sabit sıcaklıkta tutmak için radyatörlere antifriz olarak; havalanmadan önce uçakların yıkandığı suya ilave edilerek uçağın gövdesinin donması veya buzlanmasını engelleyen bir kimyasal olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Havacılık sektöründe ve radyatör yapımında kullanılan AA7075 alaşımının etilen glikol ile hacimsel olarak % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50 oranında % 3.5 NaCl çözeltisi ile etkileşimi Tafel Ekstrapolarizasyon (TP) ve Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen elektrokimyasal ölçüm verileri; etilen glikol moleküllerinin, AA7075 yüzeyine Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun bir şekilde, fiziksel olarak adsorplandığını göstermektedir. İnhibitör miktarındaki artışa bağlı olarak AA7075 alaşımının daha az korozyona uğradığı elektrokimyasal deneylerle ve sonrasında yapılan SEM, EDAX ve AFM analizleri ile kanıtlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Alüminyum, Düşük karbon çeliği, Etilen glikol, Korozyon,

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE POTENTIAL USE OF ETHYLENE GLYCOL AS A CORROSION INHIBITOR IN 3.5 % NaCl

Fatima Erman BAGCI

Düzce University

Institute of Science, Department of Chemistry

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Hüsnü GERENGI

May 2018, 52 Pages

The majority of the metals used in industry are exposed to aqueous media. The thin liquid film layer developed on metals and their alloys in an aqueous environment causes oxidation by forming metal ions and metal compounds (metal oxides, hydroxides, salts) from their metallic states. This unwanted process is called corrosion. Due to corrosion, the physico-mechanical properties expected from metals and their alloys are weakened or disappear completely. This situation leads to serious technical problems and economic loss. In order to solve these problems and reduce economic losses when metal is subjected to a corrosive environment, there is a need for chemicals that reduce or prevent the rate of corrosion, i.e., corrosion inhibitors. This study investigated the corrosion mechanism of the AA7075 alloy in a 3.5 % NaCl solution and the effect of ethylene glycol as a corrosion inhibitor. Ethylene glycol was selected due to its light weight, low cost and properties of high electrical and thermal conductivity. Ethylene glycol is used as antifreeze in radiators to cool or keep vehicle engines at a constant temperature. It is widely employed as a preventative chemical added to water with which a plane is washed before take-off in order to keep the body of the aircraft from freezing and icing over. Tafel extrapolation (TP) and dynamic electrochemical impedance spectroscopy (DEIS) were used to investigate the interaction of the AA7075 alloy, which is used in the aerospace sector and in radiator production, with ethylene glycol (10, 20, 30, 40 and 50 % by volume) in a 3.5 % NaCl solution. The electrochemical measurement data showed that the ethylene glycol molecules were physically adsorbed onto the AA7075 surface in accordance with the Langmuir adsorption isotherm. The SEM, EDAX and AFM analyses conducted after the electrochemical experiments demonstrated that the AA7075 alloy showed less corrosion as the amount of the inhibitor was increased.

Keywords: Aluminum, Corrosion, Ethylene glycol, Low carbon steel

1. GİRİŞ

Metallerin kullanımı teknolojinin gelişmesiyle birlikte endüstrinin her alanında yaygınlaşmıştır. Metallerin bu yaygın kullanımı malzemenin ömrü gibi birçok özelliğini etkilemektedir. Çoğu malzeme işlenmeden önce yeryüzünde oksit ya da sülfid cevherleri olarak bulunmaktadır. Malzemeler işlenip kullanım haline getirildiğinde malzeme bulunduğu ortamla etkileşime geçerek termodinamik yasaları takip eden kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu değişikliklere uğramaktadır. En basit tanımıyla korozyon olayı malzemenin termodinamik açıdan ilk haline geri dönme işlemini ifade etmektedir. Korozyon olayı ekonomik açıdan pahalı olduğu gibi aynı zamanda tehlikeli bir olaydır. Metal çatı kaplamalar, boru hatları, köprü ayakları, makine parçaları, ısıtma ve soğutma sistemleri gibi diğer birçok sistemler ve öğeler içeren korozyona uğramış yapıların, makinelerin ve bileşenlerinin değiştirilmesi ekonomik olarak maliyeti arttırmaktadır.

Düşük karbon çeliği düşük maliyeti ve yüksek üretimi nedeniyle metaller içerisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Bunun yanı sıra alüminyum alaşımları ise yüksek korozyon direnci ve düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle inşaat sektörü, boru hatları, otomotiv yedek parça ve gövdeleri gibi geniş kullanım alanına sahiptir [2].

Bu çalışmada, % 3.5 NaCl çözeltisi içinde % 10, % 20, % 30, % 40, % 50 etilen glikolün farklı konsantrasyonlarda alüminyum alaşımı olan 7075 metali üzerindeki korozyon inhibitörü etkinliğinin elektrokimyasal yöntemler ile aydınlatılmasıdır. Ayrıca bu çalışmada pek çok sektörde kullanılan düşük karbon çeliğinde % 3.5 NaCl çözeltisi içinde etilen glikolün korozyon mekanizması kütle kaybı yöntemi ile araştırılmıştır. Korozyon mekanizmasının aydınlatılması için elektrokimyasal yöntemler olan Tafel Ekstrapolarizasyon (TP), Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemleri kullanılmıştır. Elektrokimyasal ölçümler sonrası kullanılan metal numunelerin yüzey morfolojisindeki değişim Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi (EDS) ve Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile incelenmiştir.

1.1. ÇELİK

Çelik, demirin mekanik ve korozyon özelliğini geliştirmek için karbon, mangan, silisyum, krom, kükürt ve alüminyum gibi elementlerin alaşıma katılması sonucu elde edilen bir metal alaşımıdır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çelik alaşımında bulunan elementler.

Kullanılan alaşım elementlerine göre çeliğin mikro yapısı ve özellikleri değişmektedir. Genellikle karbon miktarı çeliklerde % 0,2-2,1 oranındadır ve karbon miktarı arttığında çeliğin sertliği artarken esnekliği azaldığı bilinmektedir. Endüstride düşük maliyeti ve güçlü özelliği ile en yaygın kullanılan çelik karbon çeliğidir [3]. Köprüler, kuleler, makine yedek parçaları, ısıtma ve soğutma sistemlerinde, petrol ve doğalgaz taşıma boruları gibi pek çok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Karbon çeliğinin kullanım alanları.

Mekanik özellikleri nedeniyle yumuşak çelik olarak da adlandırılan düşük karbon çelikleri % 0,2 oranında karbon içerirler. Bu yüzden çekme mukavemeti ve sertleştirilme yeteneği düşüktür. Dünya çelik üretiminin büyük bir bölümünü düşük karbon çeliği oluşturmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe yassı mamuller ve çelik çubuk profilleri düşük karbon çeliğinden üretilmektedir [4].

1.2. ALÜMİNYUM

Alüminyum, yer kabuğunun katı kısmında genellikle boksit cevheri olarak görülen metal elementlerden biridir ve yer kabuğunun yaklaşık % 8'ini oluşturmaktadır [5]. Alüminyum mükemmel şekillendirilebilirliğe, yüksek elektriksel ve termal iletkenliğe, düşük yoğunluğa (2.7 g / cm^3 yoğunluğa) ve yüksek yansıtma özelliğine sahiptir [6]. Alüminyumun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1.1'de gösterilmektedir. Alüminyum nispeten düşük maliyetlidir ve yeryüzünde neredeyse demirin iki katı kadar fazla bulunmaktadır.

Çizelge 1.1. Alüminyum metalinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Sembol	Al
Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26.97 g/mol
Kristal Yapısı	Yüzey Merkezli Kübik (YMK)
Kaynama Noktası	1800 °C
Yoğunluk (20 °C)	2.7 g/cm^3
Yükseltgenme Seviyesi	+3
Ergime Sıcaklığı (°C)	660 °C
Özgül Isısı	0.211 cal/ g °C

Alüminyum, atmosfere ve birçok sulu ortama maruz bırakıldığında yüzeyinde dirençli oksit bir tabaka oluşmaktadır ve bu tabakanın iyi korozyon direnci gösterdiği bilinmektedir (Şekil 1.3). Ayrıca, alüminyum ve alaşımlarının korozyona uğraması sonucu oluşan korozyon ürünleri renksizdir ve zehirli değildir [7],[8]. Bu özelliklerin kombinasyonu ve diğer özellikler, alüminyumı gıda, içecek ve eczacılık ürünleri,

kurban anotlar, otomotiv, denizcilik ve havacılık parçaları gibi birçok uygulamada en çekici malzemelerden biri yapmıştır [9].

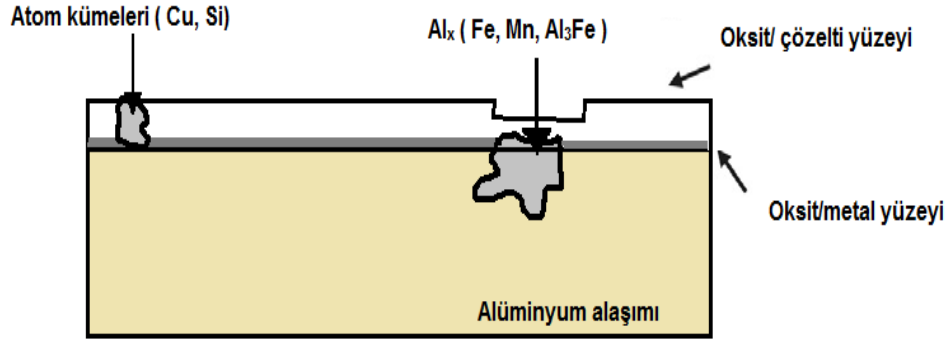
Saf alüminyum metali yumuşak bir yapıda olması nedeniyle dış ortamlara karşı zayıflık gösterdiği için kullanım alanlarının sınırlı olduğu bilinmektedir. Kullanım alanlarını genişletmek ve alüminyum metalinin zayıflığı gidermek için alaşımlama yapılmaktadır (Çizelge 1.2). Alaşımlamanın temel nedeni alüminyum metalinin akışkanlığını arttırmak ve korozyon direncini geliştirmektir. Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri mikroyapıya ve alaşım elementlerine göre değişmektedir. Alüminyum alaşımlandırılırken çinko, magnezyum, silisyum, mangan, bakır, lityum gibi metaller kullanılmaktadır.

Çizelge 1.2. Alüminyum alaşımlarının bileşimleri.

Alüminyum serileri	Alaşım bileşimi içeriği
Isıl işlem Görmemiş Alaşımlar	
1xxx	Al
3xxx	Al- Mn- Mg
4xxx	Al- Si
5xxx	Al- Mg (1-2.5 % Cu)
5xxx	Al- Mg- Mn (3-6 % Mg)
Isıl İşlem Görmüş Alaşımlar	
2xxx	Al- Cu- Mg (1-2.5 % Cu)
2xxx	Al- Cu- Mg- Si (3-6 % Cu)
6xxx	Al- Mg- Si
7xxx	Al- Zn- Mg
7xxx	Al- Zn- Mg- Cu
8xxx	Al- Li- Cu- Mg

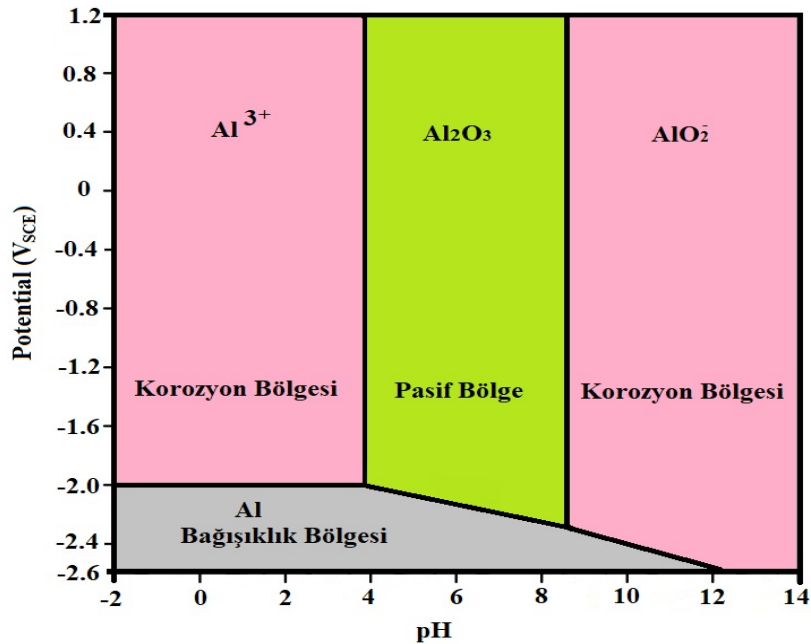
Metalik alüminyum doğal yollarla oksitlenerek doğada bulunduğu cevher haline dönmeyi hedeflemektedir. Alüminyum malzemesinin üstün korozyon direnci doğada kendiliğinden oluşan oksit tabakasından kaynaklanmaktadır. Alüminyumun yüzeyindeki bu oksit tabaka korozyonu sınırlayan ince, kompakt ve yapışkan bir oksit filmidir. Bu oksit tabaka, metali belirli ortamlarda korurken, birçok asidik ve alkali çözeltiye ve özellikle klorür içeren çözeltilere maruz bırakıldığında tahrip olarak metal korozyona uğramaktadır [10]. Havadaki atmosferik sıcaklıklarda oluştuğunda, yaklaşık 5 mm

kalınlığındadır. Yüksek sıcaklıklarda, su veya su buharı varlığında oluşursa bu tabaka daha kalın olur. Bu oksit film homojen değildir ve zayıf noktalar içerir. Zayıf noktalardaki film artan alaşım içeriğiyle lokal yerlerde korozyona neden olur.



Şekil 1.3. Alüminyum ve alaşımları üzerinde oluşan oksit film.

Alüminyum termodinamik açıdan reaktif bir metaldir ve standart elektrot potansiyelinde magnezyumdan sonra ikinci sırada gelmektedir [8]. Bununla birlikte, alüminyumun Pourbaix diyagramında, 5-8.5 pH aralığında alüminyumun termodinamik olarak kararlı olduğunu göstermektedir (Şekil 1.4). Bu kararlılık alüminyum metalinin yüzeyi üzerinde yaklaşık 2-10 nm kalınlıkta amorf bir oksit tabakasının oluşmasından kaynaklanmaktadır [8]. Oluşan oksit tabakası alüminyum metalini pasif hale getirerek korozif ortamdan korumaktadır. Bu pasif durum pH, sıcaklık ve klorür gibi çeşitli faktörlerle değişebilmektedir.

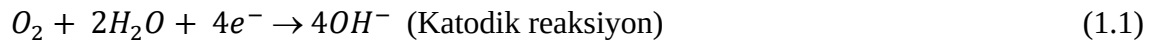


Şekil 1.4. 25 °C'de Al-H₂O Pourbaix diyagramı.

Klorür ortamında alüminyum alaşımlarının genel olarak yüksek korozyon direncine rağmen lokalize korozyon [11],[12] ve stres korozyonu [13] görülür. Sulu sistemlerden gelen, Cl^- , Cu^{2+} ve Fe^{3+} iyonları boru ve çelik pompa, güneş enerjisiyle çalışan termal enerji sistemlerinde, otomobil radyatörlerinde korozyona neden olmaktadır [14]. Okside mikro çatlaklar, hızlı sıcaklık dalgalanmalarından ya da metale gelen darbelerden kaynaklanmaktadır. Bu, yerel film bozulmaları çukurlaşma korozyonuna neden olmaktadır. Bakır içeren alaşımlar, çukur korozyonuna karşı en az dayanıklı alaşımlar olarak bilinmektedir. Çukurlaşma korozyonu tüm ortamlarda ve tüm alaşımlarda gözlemlenmektedir. Saf alüminyum çukurlaşma korozyonuna en dayanıklı metaldir ve onu 5XXX ve ardından 3XXX alüminyum alaşım serileri takip etmektedir [15].

Çözeltideki bir iyonun metalin korozyon davranışı üzerindeki etkisi, metal türüne ve metal yüzeyinin etkileşimine bağlıdır [16]. İyonun metal yüzeyi ile olan etkileşimi, metallerin korozyon sürecindeki elektrokimyasal davranışı etkilemektedir [17]. Alüminyum alaşımlarında oluşan oksit film, klorür içeren ortamda alüminyum alaşımları içinde bulunan bakır iyonlarının çökmesi ile oksit tabakanın aktivasyonunu azaltır veya ortadan kaldırmaktadır. Bakır iyonunun çökme nedeni alüminyumun galvanik seride bakırdan daha aktif yani anodik olmasından kaynaklanmaktadır [18]. Bu yüzden alüminyum alaşımları yüzeyinde lokal anot ve katot bölgelerinin oluşumu ile korozyon meydana gelmektedir.

Genel olarak, oksijen varlığında alüminyum alaşımının nötr bir solüsyon içindeki elektrokimyasal korozyonu Eşitlik 1.1, 1.2, 1.3 ve 1.4' te gösterilmiştir [19],[20].



Daha sonra bu alüminyum hidroksit tabakası, alüminyum oksite dönüşebilmektedir.



AA7075, alaşım olarak Zn, Mg ve Cu içeren bir alüminyum alaşımıdır. Bu alaşımın en dikkat çekici özelliği yüksek mukavemet, mükemmel süneklik, tokluk ve yüksek yorgunluk özelliğidir. Bu özelliklerin daha da iyileştirilmesi için alüminyum alaşımlarına ısıtıl işlem uygulanmaktadır. Bu işlemler AA7075 için 7075-0, 7075-T6, 7075-T651, 7075-T7, 7075-T73 ve 7075-RRA gibi ısıtıl işlemlerdir. İşlemler arasında karşılaştırma yapıldığında AA7075-T6 daha yüksek mukavemet ve daha iyi

işlenebilirliğe sahiptir. Bu özelliklere sahip olduğu için havacılık, otomobil, uzay ve inşaat gibi sektörlerde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [21]. Fakat, AA7075 alaşımı lokalize [22], çukurcuk [23],[24] ve taneler arası [25],[26] korozyon gibi farklı şekillerde hassasiyet göstermektedir. Farklı ortamlarda alüminyum ve alaşımlarının korozyonunu azaltmak için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bunların başında eloksal kaplama [27], organik veya inorganik kaplamalar [28] ve inhibitörler [29] literatürdeki en yaygın koruma yöntemleridir.

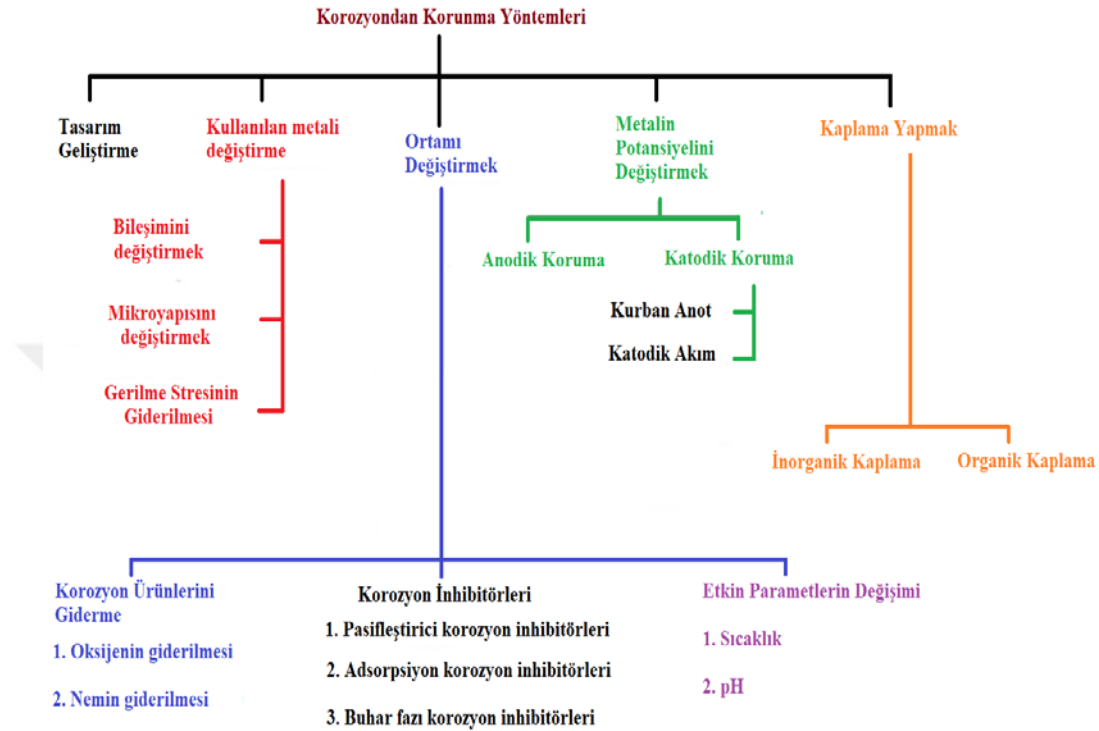
1.3. KOROZYON

Korozyon olayı doğal bir süreçtir ve malzemenin çevresi ile reaksiyona girmesiyle yapısında istenmeyen bozulmalar görülmektedir [30]. Metaller ve alaşımlarının iletkenliklerinin yüksek olması nedeniyle korozyon olayı elektrokimyasal yollarla yürümektedir. Seramik, plastik ve beton gibi iletken olmayan malzemelerde bu reaksiyon kimyasal bozulma olarak görülebilmektedir. Metallerin korozyonuna neden olan itici güç, var olduğu metalik formun geçici olmasından kaynaklanmaktadır. Metaller doğada çeşitli bileşikler halinde bulunmaktadır, işlendikten sonra doğadaki haline geri dönmeleri için enerji kazanıp depolarlar ve bu enerji miktarı metallere göre değişmektedir. Alüminyum, magnezyum ve demir gibi aktif metaller için korozyon oranı yüksek iken bakır, gümüş ve altın gibi soy metallerde düşüktür. Çoğu metal su, nem, asitler, bazlar, tuzlar, yağlar gibi katı veya sıvı ortamla temas ettiğinde korozyona uğramaktadır. Korozyon genellikle sistemli bir olaydır ve malzeme kullanılamayacak hale gelene kadar gizlice ilerleyebilmektedir [31],[32].

Korozyon, otomobil, ev aletleri, köprüler, içme suyu sistemlerinden boru hatlarına ve binalara kadar her şeye hasar vererek tehlikeye ve ekonomik maliyete neden olmaktadır. Boru hatlarının, tankların, gemilerin, teknelerin, deniz yapılarının ve benzerlerinin boşa gitmesi veya arızalanmasından kaynaklanan maddi kayıplar oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. ABD'de 1988 yılında korozyon maliyetlerini belirleyen NACE Korozyon Maliyetleri Araştırması'nda rapor edilen korozyon maliyeti 276 milyar dolardır. 2012 yılında yapılan son çalışmada korozyon maliyetinin 1 trilyon dolardan fazla olduğu bildirilmektedir. Korozyon maliyetleri arasına, metal üretimine eşlik eden enerji ve su rezervlerinin kayıpları ve korozyona uğramış olan malzemelerin yerine yeni yapıların imalatı da dahil edilmektedir. Korozyon sonucu oluşan toksik metalik iyonlar toprak ve su kaynaklarına karışarak çevresel kirliliğe neden olmaktadır. Korozyonun

önlenmesinin öneminin artması ve araştırılmasının nedenlerinden biri de dünyanın talebi karşısında maden ve metal kaynaklarının azalmasıdır [33].

Metalik yapıları korozyona karşı korumak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Şekil 1.5) [30]. Bunların içinde en iyi yöntemlerden biri korozyon inhibitörleri kullanmaktır.

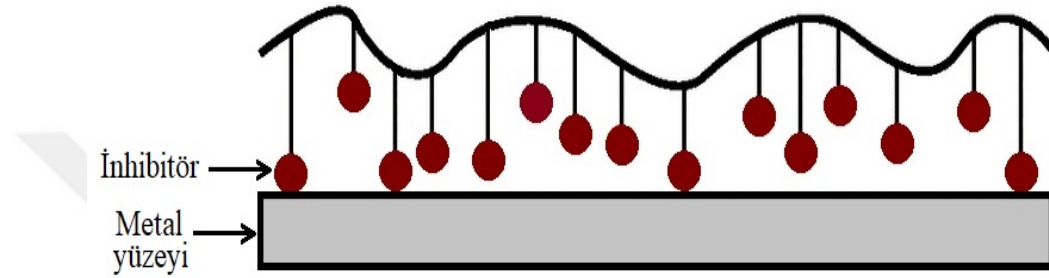


Şekil 1.5. Metalleri korozyona karşı koruma yöntemleri.

1.4. İNHİBİTÖRLER

Bir korozyon inhibitörü çevreye küçük konsantrasyonda eklendiğinde, çevre bileşenleri ile belirgin bir reaksiyona girmeden korozyonu önleyen veya azaltan organik ya da inorganik bir kimyasal madde veya bileşim kombinasyonudur [34]. İnhibitörler korozyona maruz kalmış metallerin veya alaşımların çevre ile metal ara yüzündeki gerçekleşen reaksiyonları azaltmaktadır. İnhibitörler soğutucular, yakıtlar, hidrolik sıvılar, motor ve metal yağları, kazan suları gibi birçok sistemde kaçınılmaz olarak kullanılmaktadır [35]. Korozyon inhibitörleri hakkında çok sayıda bilimsel çalışma yapılmaktadır. Ayrıca, literatürde inhibitör olarak sayısız kimyasal bileşiğin tanımı ve listeleri bulunmaktadır. Fakat bunlardan sadece birkaçı pratikte kullanılmaktadır. İnhibitörlerin maliyeti, toksisite ve çevre dostu olması gibi hususlar arzu edilen şekilde kullanımını kısıtlamaktadır [36]-[39].

İnhibitörler bulundukları ortamda genellikle değişmeden kalmaktadır. Metal yüzeyini kapatarak metalin bulunduğu ortamla ara yüzeyinin direncini arttırmaktadır. İnhibitör etkinliği yalnızca bulunduğu ortama ve özelliklerine bağlı değil aynı zamanda metal yüzeyinin doğasına, ara yüzeyine, elektrokimyasal potansiyeline ve inhibitörlerin yapısına bağlıdır [40]-[42]. Bu durum molekül içindeki adsorpsiyon aktif merkezlerinin sayısını, yük yoğunluğunu molekül büyüklüğünü, adsorpsiyonu modunu, metalik komplekslerin oluşumunu ve inhibitörün metal yüzeyi üzerindeki etki alanını içermektedir. Şekil 1.6’da inhibitörlerin metal yüzeyine adsorpsiyonu gösterilmektedir.



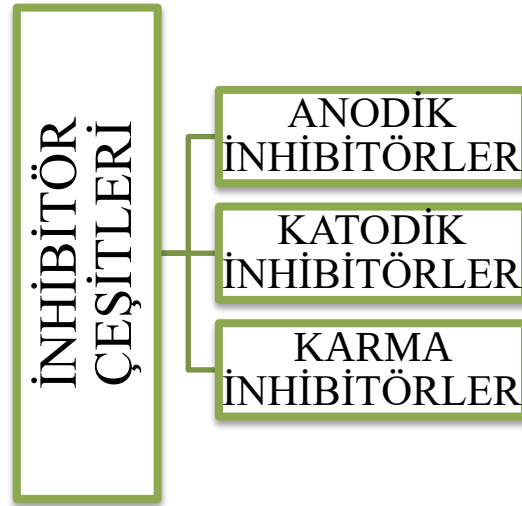
Şekil 1.6. İnhibitörlerin metal yüzeyine adsorpsiyonu.

İnhibitörlerin metal yüzeyinde gerçekleşen korozyon olayını engelleme modu üç etki ile açıklanmaktadır.

- i. Adsorbe olan inhibitörün metal yüzeyi üzerinde geometrik bloke edici etkisi
- ii. Metal yüzeyleri üzerindeki metal bloklar adsorbe edilmiş inhibitör türleri tarafından bloke edilme etkisi
- iii. İnhibitörün veya reaksiyon ürünlerinin elektrokatalitik etkisi.

(i). modda inhibisyon etkisi korozyona uğramış metal yüzeyindeki reaksiyon alanının azalmasından kaynaklanmaktadır. Diğer iki modda ise anodik ve katodik reaksiyonlardaki korozyon sürecinde inhibisyon etkileri ortalama aktivasyon enerji bariyerlerindeki değişikliklerden kaynaklanmaktadır [43].

İnhibitörler metal yüzeyinde yavaşlattıkları tepkime türlerine göre gruplanmaktadır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Etki ettiği tepkimeye göre inhibitör çeşitleri.

1.4.1. Anodik İnhibitörler

Anodik inhibitörler, anodik reaksiyonu pasifleştirerek korozyon potansiyelinin anota kaymasına neden olurlar. Anodik inhibitörler metal yüzeyinde korozyonu önleyebilmek için sistemin iç yüzeylerine kat ederler ve sistemi pasifleşmeye zorlamaktadırlar. Tüm anot bölgelerin pasifleştirilmemesi durumunda, katodik reaksiyonun pasifleşmeyen anodik bölgeleri destekleyeceği ve çukur korozyonunun oluşması beklenir. Bu nedenle, anodik inhibitörler, güvensiz ve tehlikeli inhibitörler olarak bilinmektedir [44],[45].

1.4.2. Katodik İnhibitörler

Katodik inhibitörler yüzey direncini arttırmak ve indirgenen ürünlerin bu alanlara difüzyonunu sınırlamak için katodik reaksiyonların azalmasını sağlayarak katodik alanlara selektif bir şekilde adsorbe olan inhibitörlerdir. Örneğin, çinko oksitin katodik reaksiyonu inhibe ederek korozyonu geciktirdiği bilinmektedir. Genel olarak katodik inhibitörler anodik inhibitörlere göre daha az bulunmaktadır ve daha çok etki göstermektedirler. Katodik inhibitörler metal yüzeyinde katot boyunca bir film oluşturarak çözünmüş oksijenin metalin alt tabakalarına geçmesini sınırlandırarak metali polarize etmektedir. Bu film ayrıca hidrojen indirgeme bölgelerini bloke ederek metalde ortaya çıkan depolarizasyon etkisini önlemektedir [46].

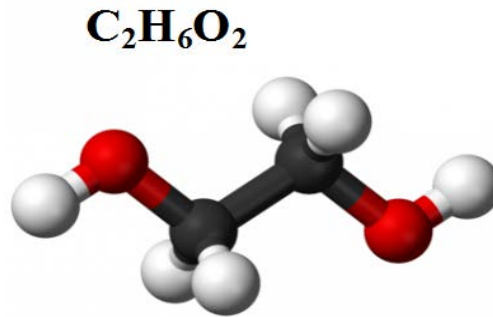
1.4.3. Karma İnhibitörler

Karma inhibitörler, hem anodik hem de katodik etki göstererek metal yüzeyindeki reaksiyonların hızını yavaşlatmaktadırlar. Yeterli miktarda kullanıldıklarında tüm metal

yüzeyini örten bir film oluşturarak çukurcuk korozyonunun oluşmasını önlemektedirler. Karma inhibitörler genellikle organik moleküllerden oluşmaktadır ve bu organik moleküllerinin kimyasal yapıları metal yüzeyine adsorplanma ve korozyona karşı korumada büyük önem taşımaktadır [47].

1.5. ETİLEN GLİKOL

Glikoller, düşük uçuculuk ve vizkozitesi, iyi elektrik iletkenliği ve ısı aktarım kapasitesi, hidrofobik olması ve düşük maliyeti nedeniyle dikkat çeken organik bileşiklerdir [48]. Antrifriz, dehidrasyon ve soğutma maddeleri ile kimyasal ara madde olarak kullanılmaktadır [49]. Ayrıca, ısı transfer sıvısı ve çözücüsü olarak da kullanıldığı bilinmektedir. Glikol ailesinin ikinci üyesi olan etilen glikol (Şekil 1.8), renksiz, kokusuz, tatlı ve diğer glikol türlerine göre toksisitesi daha azdır [50]. Etilen glikolün pH değeri 8 ila 9 arasında değişmektedir [51]. Etilen glikolün kullanıldığı alanlardan birisi motor soğutucularıdır. Motor soğutucuları genellikle klorür içerdiğinden soğutma sıvısı sisteminde kullanılan metallerin korozyonunu arttırdığı bilinmektedir [52].

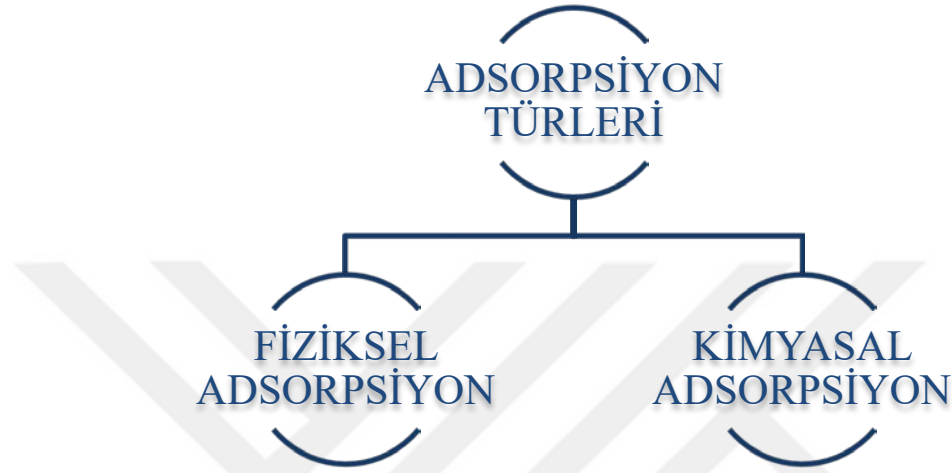


Şekil 1.8. Etilen glikolün yapısı.

Araba radyatörlerinde en çok demir ve alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Etilen glikol araba radyatörlerinde kaynama sıcaklığını düşürmek için soğutma sıvısı olarak kullanılmaktadır. Motor soğutucusunun en yaygın kullanımı, normal ortamda 50:50 etilen glikol ve su karışımıdır [53].

1.6. ADSORPSİYON VE ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

Çözelti içinde çözünen maddelerin bir ara yüzey üzerine tutunmasına adsorpsiyon denir. Adsorpsiyon gaz-katı, sıvı-katı, katı-katı fazlarda ara yüzeyde meydana gelmektedir. Çözelti içinde çözünen organik inhibitör moleküllerinin metal yüzeyinde adsorbe olmasının iki yolu bulunmaktadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Adsorpsiyon türleri.

Bu yollardan ilki fiziksel adsorpsiyon olup yüklü inhibitör moleküllerinin metal yüzeyi üzerinde elektrostatik kuvvetle tutunmasından oluşmaktadır [54]. Bu elektrostatik kuvvet Van der Waals kuvvetleri ile meydana gelen çok tabakalı bir yapı oluşturmaktadır ve düşük sıcaklıklarda oluşarak zayıf bağlar içermektedir [55]. Kimyasal adsorpsiyon, inhibitör molekülleri ve metal yüzeyi arasında elektron alış veriş gerçekleşmesi ile oluşan kovalent bağlar gibi koordine bağların oluşması sonucu meydana gelmektedir. Kimyasal adsorpsiyonu tek tabakalı olup fiziksel adsorpsiyonu ile kıyaslandığında daha özel bir adsorpsiyonu modudur [56]. Bu iki adsorpsiyon modu aynı metal yüzeyinde de oluşabilmektedir.

Adsorpsiyon izotermi, bir metal yüzeyindeki baskın adsorpsiyon modu hakkında bilgi sağlamaktadır. Deneysel veriler genellikle bir substrat yüzeyinde inhibitörün adsorpsiyonunu en iyi tanımlayan izotermi seçmede kolaylık göstermektedir. Adsorpsiyon izotermi inhibitörlerin korozyon önleme mekanizmasının açıklanmasında kullanılmaktadır. Çözeltide adsorplanan bileşiğin konsantrasyonu (C), inhibitörün metal yüzeyini kaplama derecesi (θ) arasında oluşturulan bağıntılarla adsorpsiyonu izotermi belirlenmektedir. Gibbs sabit enerjisi (ΔG_{ads}^0) -20 kJ/mol'den

daha düşük değerde ise; metal yüzeyi ve kullanılan inhibitör türü arasında elektrostatik bir etkileşim olur. Bu durumda fiziksel adsorpsiyon meydana gelmektedir. -40 kJ/mol civarında ise; elektron paylaşımı veya inhibitör molekülünün metalin boş yörüngesine geçişini gösteren kimyasal adsorpsiyonu ifade etmektedir [37],[57]. Literatürde birçok adsorpsiyon izotermi mevcuttur. Bu izotermi açıklamak için farklı denklemler kullanılmaktadır [58].

a) Frumkin Adsorpsiyon İzotermi: $K_{ads} = \theta / (1 - \theta) \exp^{-f\theta}$

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

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

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

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

1.7. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Alüminyum alaşımlarında ve düşük karbon çeliğinde etilen glikolün korozyon davranışı ile ilgili son yıllarda literatürde çalışmalar artmıştır.

Etilen glikolün alüminyum 3003 alaşımında korozyon davranışı üzerinde sıcaklığın etkisi Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve TP yöntemleri ile belirlenmiştir. Elektrokimyasal deneyler ardından metalin yüzey karakterizasyonu SEM, AFM ve EDS ile incelenmiştir. Etilen glikolün sıcaklık arttıkça alüminyum 3003 alaşımını korozyona karşı koruduğu araştırma sonunda rapor edilmiştir [19].

Düşük karbon çeliğinden yapılmış su banyosu ısıtıcısı bobinlerinde ve ateşleme tüplerinde, sıcaklığa bağlı korozyon oluşumunda etilen glikol konsantrasyonlarının etkisi araştırılmıştır. Yapılan araştırmada, % 10, % 20, % 30 ve % 40 oranlarında etilen glikol laboratuvar ortamında su banyosu ısıtıcılarının içine koyulmuştur. Etilen glikol kullanılan su banyosu ısıtıcılarının bobin ve ateşleme tüplerinde korozyon oranının etilen glikol kullanılmayan sisteme göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle % 40 oranında kullanılan etilen glikol düşük karbon çeliğinden yapılmış su banyosu ısıtıcısını korozyona karşı diğer konsantrasyonlara göre daha iyi bir şekilde koruduğu bildirilmiştir [59].

Farklı konsantrasyonlarda etilen glikol-su-molibdat karışımının AISI 4130 çelik alaşımının üzerindeki korozyon önleyici etkisi TP ve EIS yöntemleriyle araştırılmıştır. Metalin yüzey morfolojisine Optik Mikroskop ve AFM analizi ile bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar, etilen glikolün konsantrasyonunun artmasıyla birlikte metalde korozyon oranının düştüğünü göstermiştir. Daha sonra sisteme etilen glikol ile farklı konsantrasyonlarda molibdat ilave edilerek sistemin inhibitör verimliliği arttırılmıştır. Molibdat metalde yüzey pasivasyonunu sağlayarak agresif Cl^- iyonlarını metal yüzeyinden uzaklaştırmıştır. Molibdatın inhibe edici özelliği adsorpsiyon izotermelerinden Langmuir adsorpsiyon izotermi ile açıklanmıştır. AISI 4130 çelik alaşımına etilen glikol ve molibdatın etkisinin termodinamik parametreleri ve adsorpsiyon prosesleri belirlenmiştir. Sonuçlar metal yüzeyinde etilen glikol ve molibdatın hem fiziksel hem de kimyasal adsorpsiyona neden olduğunu göstermiştir [60].

Akışkan sıvı ve kum parçacıkları otomobil motorlarındaki disklerde erozyon korozyonunu tetiklemektedir. Otomotiv motor soğutma sıvısının simüle edildiği etilen glikol-su çözeltisinin alüminyum 3003 alaşımından yapılmış dönen bir disk elektrot üzerindeki erozyon korozyonuna etkisi elektrokimyasal ölçümlerle incelenmiştir. Kum parçacıklarının yokluğunda motor soğutma sıvısı alüminyum diski koruyarak diskin dönem hızını arttırmıştır. Fakat kum tanelerinin boyutu arttığında, tanelerin diske artan darbesiyle disk hasar alır ve korozyona uğrar. Alüminyumun korozyonu üzerine etilen glikolün ve kum tanecik boyutunun arasında bir korelasyon olduğu araştırmada bildirilmiştir [61].

Su kirleticileri olarak bilinen klorür (Cl^-), bakır (Cu^{2+}) ve ferrik (Fe^{3+}) iyonlarını içeren $\text{Fe}^{3+} + \text{Cu}^{2+}$, $\text{Cl}^- + \text{Fe}^{3+}$, $\text{Cl}^- + \text{Cu}^{2+}$, $\text{Fe}^{3+} + \text{Cl}^- + \text{Cu}^{2+}$ dört farklı karışım, etilen glikol-su çözeltisinde alüminyum alaşımlarının korozyon davranışı üzerindeki etkileri kütle kaybı yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Kütle kaybı sonuçlarına göre alüminyum alaşımlarındaki en yüksek malzeme kaybı, klorür ve iki ağır metal iyonunu içeren etilen glikol-su karışımında kaydedilmiştir. Karışımlara kendi içerisinde bakıldığında karışımların korozyona neden olma dereceleri $\text{Fe}^{3+} + \text{Cl}^- + \text{Cu}^{2+} > \text{Cl}^- + \text{Cu}^{2+} > \text{Cl}^- + \text{Fe}^{3+} > \text{Fe}^{3+} + \text{Cu}^{2+}$ sıralanmıştır. Sonuçlara göre alüminyum alaşımları ile etilen glikol-su-iyon karışımı arasında kimyasal bir kinetik mevcuttur. Çözeltilerdeki üç iyonla kirlenen alüminyum alaşımlarının korozyon oranlarına bakıldığında etilen glikol olmadan alaşımların korozyon kaybının çok daha yüksek olduğu gösterilmiştir [62].

Jetlerin akışkan sistemlerini simüle eden alüminyum alaşımlı mikroeletrodlar tasarlanmıştır. Akışkan sistemdeki alüminyum alaşımlarının içerisinde etilen glikol-su çözeltisi geçirilerek oluşacak korozyonun sıvının dinamik ve hidrodinamik etkisi elektrokimyasal ölçümlerle hesaplanmıştır. Tasarlanan nuunenin merkezinde bulunan mikroeletrot en dengeli durumla ilişkiliyken, kenarlardaki mikroeletrotlar en aktif duruma sahip olarak gözlemlenmiştir. Sonuçlar, akışkan etilen glikol- su çözeltisinin hidrodinamiğinin özellikle sıvı akış hızı ve kayma gerilimlerinin alüminyum alaşımlarının korozyonunda önemli rol aldığını göstermiştir [63].

Farklı çözeltelerde ve dönüş hızlarında 30% etilen glikol-su çözeltisinde çelik alaışımının elektrokimyasal davranışı TP ve EIS ölçümleri ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar korozyon hızının farklı dönüş hızlarında belirgin bir şekilde değişmediğini ortaya koymuştur. Sisteme daha sonra ilave edilen kromatın inhibitör etkinliği araştırılmıştır. Yüzeyin pasivasyonunun kromat varlığında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Kromatın inhibisyon etkisi, inorganik anyonlar ve agresif Cl^- iyonlarını engellediği görülmüş ve adsorpsiyon izotermi ile termodinamik parametreler açıklanmıştır. İnhibitör adsorpsiyonu Langmuir temelli adsorpsiyon izotermine uymakla beraber adsorpsiyonun çelik yüzeyinde doğal olarak geliştiği bildirilmiştir [64].

Günümüzde otomobillerin çoğu motor soğutma sisteminin bileşenlerinde magnezyum ve alüminyum alaşımlar kullanılmaktadır. Bu sistemleri korozyona karşı korumak ve sistemin performansını arttırmak için bazı inhibitörlerle birlikte etilen glikol-su çözeltileri kullanılmaktadır. Genel olarak soğutma sıvıları sistemde kullanılan alaşımları çevre anyonlardan özellikle Cl^- anyonundan koruyarak korozyon hızını azaltmaktadır. Yapılan çalışmada, nötr pH değerinde farklı sıcaklıklarda klorür anyonları içeren 30% sulu etilen glikol içindeki Mg-Al-Zn-Mn alaışımının korozyon davranışı TP ve EIS yöntemleri ile araştırılmıştır. Elektrokimyasal araştırmalar sonucunda klorür anyonu içeren konsantrasyonun sıcaklık artışına bağlı olarak metaldeki korozyon hızını arttırdığı belirlenmiştir [65].

Etilen glikol-su çözeltilerinde 3003 alüminyum alaışımının elektrokimyasal korozyon davranışı, bir çarpma jet sistemi ile elektrokimyasal ölçümler ve yüzey analizi teknikleri ile incelenmiştir. İçine hava katılmış sabit çözeltideki alüminyum korozyonu, kontrolü karışık bir işlemdir, yani hem aktivasyon hem de kütle transfer basamakları korozyon reaksiyonunu kontrol etmektedir. Alüminyum oksit filmine ilaveten, etilen glikol-su çözeltisinde elektrot yüzeyinde bir alüminyum-alkol film tabakası oluşarak alüminyum

alaşımının anodik çözünmesinin önlenmesine katkıda bulunmuştur. Oksijenin yokluğunda, alüminyum alaşımı üzerinde kararlı bir pasif film oluşumu gözlemlenmiştir. Ana katodik reaksiyon ya suyun indirgenmesi ya da etilen glikolün indirgenmesinden oluştuğu rapor edilmiştir. Bununla birlikte, su ve etilen glikolün azalması, oksijen kadar önemli olmadığını göstermiştir. Sonuç olarak, oluşan film polarizasyon ölçümlerinde oksijen varlığında oluşan kadar kararlı olmadığı bildirilmiştir [66].

AA5052 alüminyum hava pilleri için alkali etilen glikol çözeltisinde elektrolit katkı maddeleri olarak dikarboksilik asit bileşikleri yani süksinik asit (SUA), adipik asit (ADA) ve sebasik asit (SEA) kullanılmaktadır. Dikarboksilik asitlerin eklenmesinin, AA5052 alüminyum alaşımlı pillerin anotunda hidrojen gazı oluşum hızını düşürdüğü gözlemlenmiştir. AA5052 alüminyum alaşımı, dikarboksilik asit katkı maddeleri içeren alkali etilen glikol solüsyonunda elektrokimyasal aktivite ve daha iyi deşarj performansı gibi geniş bir potansiyele sahip olduğu rapor edilmiştir. ADA, diğer üç dikarboksilik asit katkısı arasında AA5052 anodunun kendiliğinden aşınması için en iyi önleme etkisine sahip olduğu bulunmuştur. Kuantum kimyasal hesaplamaları, ADA'nın alüminyum iyonlarıyla en güçlü etkileşime sahip olduğunu gösteren daha küçük bir enerji aralığına (en düşük boş orbital ile en yüksek dolu orbital yörünge arasındaki enerji farkı) sahip olduğunu göstermiştir [67].

Saf alüminyum ve D16AT alüminyum alaşımı numuneleri etilen glikol-su karışımında) 150 kPa ve 130 °C'de 172 saat boyunca bırakılmıştır. Metallerin korozyonu, alüminyum parçalarının çözeltide çökmesi, numunelerin yüzey morfolojisindeki değişiklikler ve elektrokimyasal davranışları incelenmiştir. Çözeltinin sıcaklığı 130 °C'ye gelene kadar çözeltide beyaz bir alüminyum organikçökelti oluştuğu belirlenmiştir. Etilen glikol-su karışımına glikolik asit, sitrik ve sebasik asidin eklenmesi ile saf alüminyum ve D16AT alüminyum alaşımının korozyon davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Etilen glikole eklenen glikolik asidin korozyon, sebasik asidin korozyona karşı koruyucu etkiye sahip olduğu bulunmuştur [68].

AISI 4130 çelik alaşımının farklı dönme hızları ve farklı konsantrasyonlardaki etilen glikol-su karışımındaki elektrokimyasal davranışları TP ve EIS yöntemleri ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, korozyon hızının farklı devir hızlarında önemli ölçüde değişmediğini ve artan etilen glikol konsantrasyonu ile azaldığını göstermiştir. Etilen glikol-su konsantrasyonuna bir inhibitör olarak eklenen nitritin etkisi

araştırılmıştır. Yüzeyin pasivasyonunun nitrit varlığında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Nitritin inhibisyon etksi, inorganik anyonlar ve agresif Cl⁻ iyonlarını engellediği görölmüş ve adsorpsiyon izotermi ile termodinamik parametreler açıklanmıştır. İnhibitör adsorpsiyonu Flory- Huggins adsorpsiyon izotermine uymakla beraber adsorpsiyonun çelik yüzeyinde doğal olarak geliştiği bildirilmiştir [69].

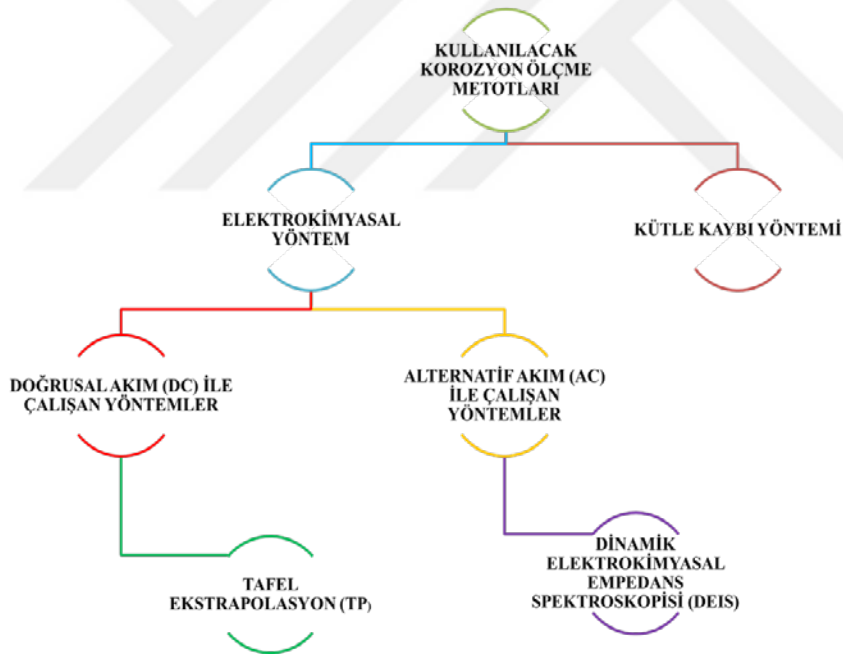


2. MATERYAL VE YÖNTEM

2. 1. METOT

2.1.1. Kullanılan Korozyon Belirleme Yöntemleri

Korozyon hızını belirlemek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Farklı konsantrasyonlardaki etilen glikol-su çözeltisi % 3.5 NaCl içinde AA7075-T6 alüminyum alaşımı ve St-37 düşük karbon çeliği metalinin korozyon mekanizması, literatürde Kütle Kaybı yöntemi, Doğru Akım (DC) yöntemi olarak adlandırılan Tafel Ekstra Polarizasyon (TP) yöntemi ve Alternatif Akım (AC) yöntemi olarak bilinen Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemleri kullanılarak (Şekil 2.1) araştırılmıştır.

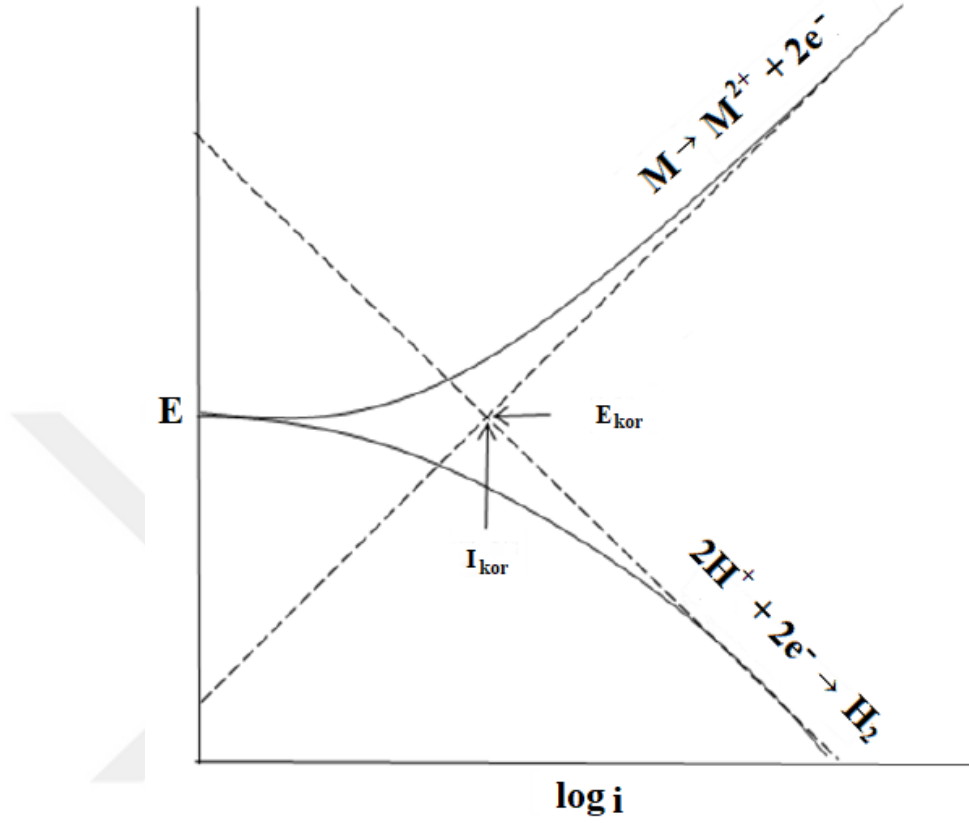


Şekil 2.1. Kullanılan korozyon ölçme yöntemleri.

2.1.1.1. Tafel Ekstra Polarizasyon Yöntemi (TP)

Korozyon reaksiyonları, metalin çözünmesiyle oluşan anodik reaksiyon ve oksijen veya hidrojen iyonlarının indirgenmesiyle oluşan katodik reaksiyondan oluşmaktadır. Anodik reaksiyonunda açığa çıkan elektronlar katodik reaksiyonu takip ederek indirgenmede kullanılmaktadır. Tafel ekstra polarizasyon yönteminde korozyona uğrayan metal için

anodik ve katodik Tafel eğrileri elde edilmektedir. Bu eğrilerin kesişim noktası ile o sistem için korozyon hızı olan I_{cor} ve korozyon potansiyeli olan E_{cor} bulunmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Tafel ekstra polarizasyon yönteminde anodik ve katodik polarizasyon eğrileri.

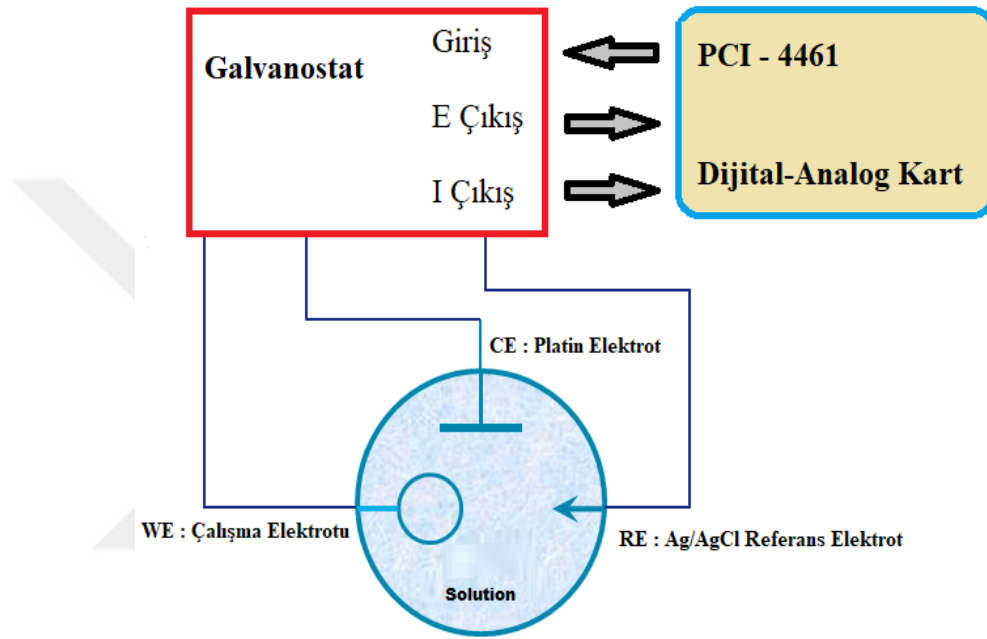
Tafel ekstra polarizasyon yönteminde korozyon hızını belirlemek için korozyon potansiyelinden başlayarak potansiyostat ve galvanostatik yöntemle anodik ve katodik yönde yarı logaritmik akım yoğunluğu potansiyel eğrileri çizilmektedir. Böylece korozyon hızı yani korozyon akımı hesaplanmaktadır. Bu yöntemle çizilen Tafel eğrileri Stern ve Geary'nin elde ettikleri formülle korozyon akımı hesaplanmaktadır. Eşitlik 2.1'de sırasıyla anodik ve katodik sabitini β_a ve β_c , korozyon akımını I_{corr} , polarizasyon direncini R_p ifade etmektedir [70].

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

2.1.1.2. Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)

Galvanostatik ve potansiyostatik şartlar altında DEIS yöntemi başarıyla kullanılabilen elektrokimyasal yöntemdir [71,72]. DEIS yönteminin çalışma mekanizması pertürbasyon sinyali üreten bir PCI-4461 National Instruments ölçüm kartı ve bir

Potansiyostat/Galvanostat'tan oluşmaktadır (Şekil 2.3). Pertürbasyon sinyali; 20 sinüsoidden oluşan bir paket halinde 4,5 kHz ile 700 mHz aralığında değişen frekanslarda kullanılmaktadır. 2 mV genliğe sahip, 2500 ölçüm noktası içeren bir analiz penceresi ile birlikte, 12,8 kHz'lik örneklem frekansının uygulanması temel sinüs sinyallerinin tamamı ile 60 saniyede bir empedans ölçümü kaydetmektedir [73]. Sinyaller STFT (Short-Time Fourier Transform) matematik dönüşüm bağıntıları kullanılarak analiz edilmektedir.



Şekil 2.3. DEIS çalışma sistemi.

DEIS Yönteminin Avantajları;

1. Sistemlerin stabil olmayan koşullarda incelenmesi durumunda ortak bir zaman-frekans analizi sağlayarak kullanışlı bir korozyon ölçümü sağlamaktadır.
2. Zaman içerisinde sistemin anlık olarak değişimi hakkında bilgi verdiği için sisteme tam olarak ne zaman müdahale edilmesi gerektiği belirlenebilir. Bu özelliği sayesinde özellikle inhibitörlü sistemlerde önemli bir avantaj sağlamaktadır [74].
3. DEIS yöntemi, inhibitörle çalışma elektrotu arasındaki etkileşim hakkında diğer elektrokimyasal yöntemlere nazaran anlık olarak daha kapsamlı bilgi vermektedir [75],[76].

2.1.1.3. KütLe Kaybı Yöntemi

Korozyon ölçme yöntemlerinden en eski ve en basit yolu kütLe kaybı yöntemidir. Bu yöntemde metal kuponlar atmosfer ortamı ya da çözelti içerisinde sisteme bırakılır ve belirli bir süre sonunda sistemden çıkartılır. Sisteme konulmadan önce ve sistemden alındıktan sonra metal kuponları tartılarak kütleleri alınır. Metal kuponlarının tartımı sırasında gerçekleşebilecek hataların yanı sıra korozyon hızının küçük olduğu ortamlarda, tartılabilir bir kütLe kaybı olabilmesi için metal kuponlarının uzun süre korozif ortamda kalması kütLe kaybının dezavantajları olarak bilinmektedir. KütLe kaybından korozyon hızı belirlenirken çözünmenin homojen olması ve korozyon ürünlerinin ya tamamen çözünür ya da uygun bir çözeltide çözünerek metal yüzeyinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Eşitlik 2.2’de kütLe kaybının hesaplanması gösterilmiştir [77].

$$\text{KütLe Kaybı} = ((\text{İlk kütLe} - \text{Son kütLe}) \div \text{İlk KütLe}) \times 100 \quad (2.2)$$

2.1.2. Yüzey Analizi

2.1.2.1. SEM /EDS Analizi

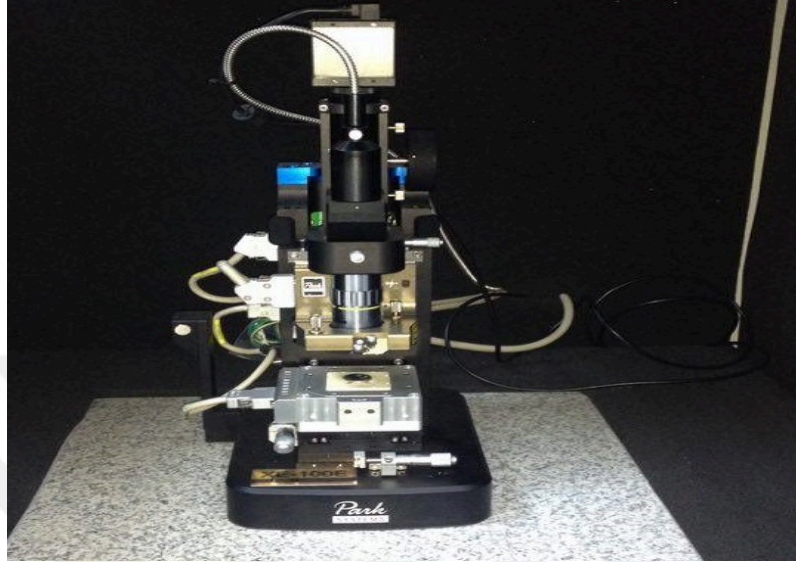
AA7075-T6 alüminyum alaşım metalinin % 3.5 NaCl ortamında DEIS deneyleri sonrası metal yüzeyinde meydana gelen değişimleri incelemek için Şekil 2.4’te gösterilen J. Quanta FEG 250 (FEI, Holand) modellenli cihaz ile SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.



Şekil 2.4. SEM /EDS analiz cihazı.

2.1.2.2.AFM Analizi

AA7075-T6 alüminyum alaşım metalinin % 3.5 NaCl ortamında DEIS deneyleri sonrası metal yüzeyinde meydana gelen değişimleri incelemek için Şekil 2.5'te gösterilen Park system XE-100E modelli cihaz ile AFM analizleri yapılmıştır.



Şekil 2.5. AFM analiz cihazı.

2. 2. MATERYAL

2.1.2. Çalışma Elektrotlarının Hazırlanması

Düşük yoğunluk, yüksek dayanım, süneklik, tokluk ve yorulmaya karşı direncinden dolayı yapısal uygulamalarda, uzay ve havacılık, otomotiv, denizcilik ve inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanılan AA7075-T6 alaşımının kimyasal içeriği Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Elektrotlar 0,75 cm² silindirik olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Yalnızca silindirin taban alanlarından bir tanesi açıkta kalacak şekilde yalıtkan boru içerisine konulan numunenin üzerinde ve etrafında kalın bir polyester tabakanın oluşması sağlanmıştır (Şekil 2.6). Deneylerde kullanılan AA7075-T6 alaşımı Erdemir Çelik Şirketi'nden temin edilmiştir.

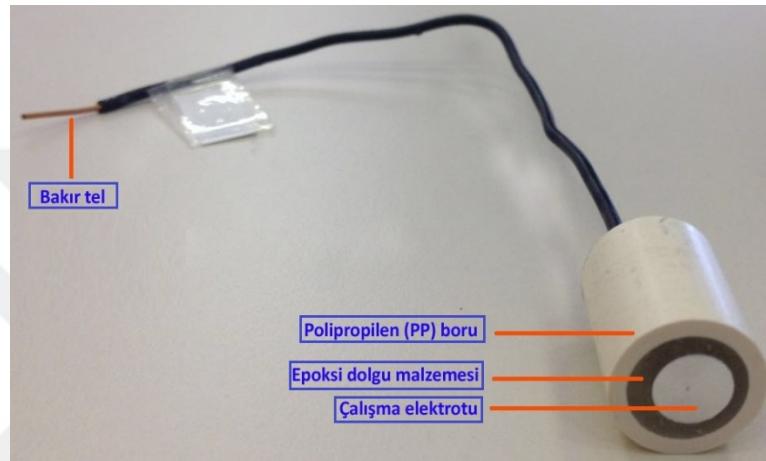
Çizelge 2.1. Alüminyum AA7075-T6 alaşımının kimyasal içeriği (Kütlece %).

Numene	Zn	Mg	Fe	Si	Cu	Al
AA7075-T6	5.81	2.55	0.21	0.008	1.67	89.752

Düşük maliyeti ve mükemmel mekanik özellikleri nedeniyle birçok sektörde yaygın bir şekilde kullanılan düşük karbon çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 2.2’de gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan düşük karbon çeliği kuponları Erdemir Çelik Şirketi’nden temin edilmiştir (Şekil 2.7).

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

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



Şekil 2.6. Deneyde kullanılan AA7075-T6 elektrotların hazırlanış şekli.

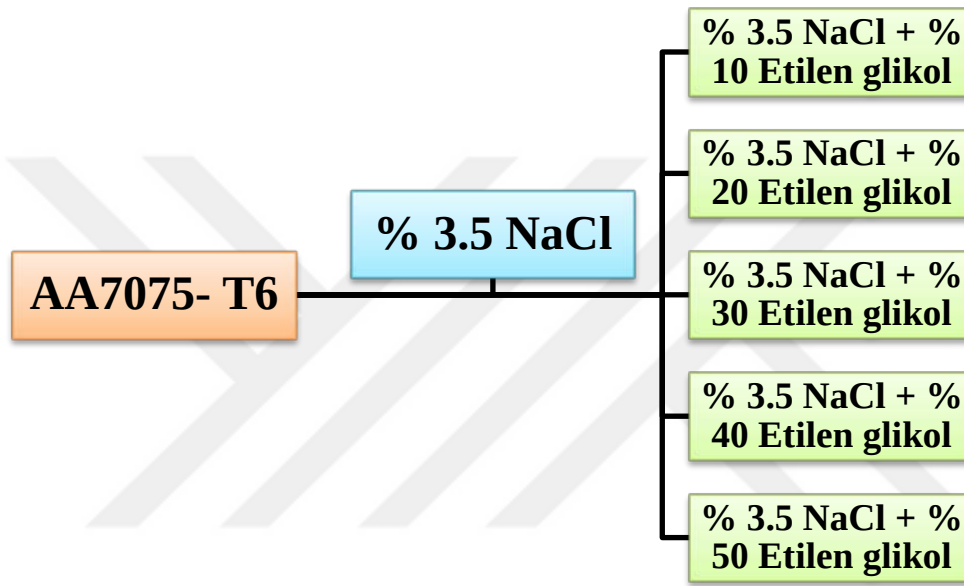


Şekil 2.7. Kütle kaybı için kullanılan St37 kuponu.

2.1.3. Deneylerin Yapılışı

2.1.3.1. Elektrokimyasal yöntemlerle deneylerin yapılışı

Deneylere başlamadan önce çalışma elektrotunun yüzeyi 600-2000 numaralı zımpara kâğıtları kullanılarak temizlenmiştir. Bu işlemlerden sonra, numunenin yüzeyi saf suyla yıkanıp kurutularak deney hücresine yerleştirilmiştir. Kullanılan AA7075-T6 alaşımının korozyon davranışı oda sıcaklığında Şekil 2.8’de gösterilen ortamda 2 farklı elektrokimyasal yöntem kullanılarak incelenmiştir.



Şekil 2.8. Elektrokimyasal deneylerin yapıldığı ortamlar.

Çalışma elektrotu (AA7075-T6), karşı elektrot (Platin elektrot) ve referans elektrot (Ag/AgCl referans elektrot), içerisinde çözelti bulunan korozyon hücresine konularak deney düzeneği oluşturulmuştur. Deney başlatılmadan önce korozyon hücresi, elektrot ile ortam arasında meydana gelen reaksiyonların durağan hale gelmesi amacıyla 1 saat süre ile bekletilmiştir.

Şekil 2.9’da gösterilen düzenek ile metalin korozyon direncini hesaplamak için DEIS yöntemi kullanılmıştır [78]. DEIS deneyleri % 3.5 NaCl çözeltisi içerisinde metallerin korozyon mekanizmaları araştırılmaya başlandıktan 2 saat sonra korozyon hücresine büretten damla damla farklı konsantrasyonlarda hazırladığımız etilen glikol ilave edilerek 6 saatlik deneyler yapılmıştır. AA7075- T6 alaşımında oluşan anlık potansiyel ve empedans değişimi kayıt altına alınmıştır.

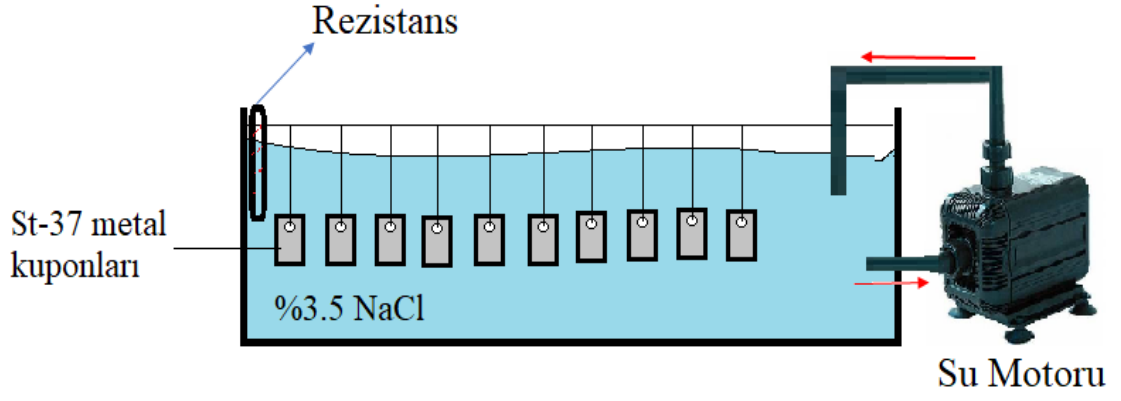


Şekil 2.9. DEIS deney düzeneği.

Farklı çözeltiler içerisinde konulan AA7075-T6 metalinin korozyon mekanizması 2 saat boyunca TP yöntemiyle GAMRY PC3/600 potansiyostat/galvanostat/ZRA sisteminde araştırılmıştır. Çalışma elektrotunun referans elektroda karşı denge potansiyeli 100 saniye boyunca ölçüldükten sonra katodik ve anodik yöne doğru ± 250 mV aralığında 1 mV/s hızla tarama yapılmıştır. Elde edilen veriler Gamry CMS-5.30 yazılımı ile analiz edilmiştir.

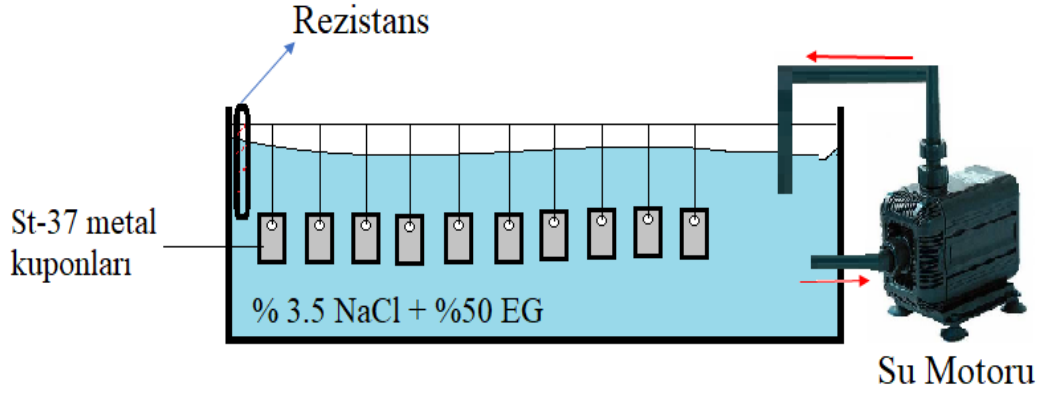
2.1.3.2. Kütle kaybı yönteminin yapılışı

9×6 cm boyutunda St-37 düşük karbon çeliğinden yapılmış metal kuponları % 3.5 NaCl çözeltisi içerisinde Şekil 2.10'daki düzenekte 42 gün bekletilmiştir. 7 günde bir deney düzeneğinden 4 tane metal çıkartılarak kütle kayıpları kayıt altına alınmıştır.



Şekil 2.10. % 3.5 NaCl çözeltisi içerisindeki St-37 kuponlarının kütle kaybı yöntemi.

% 3.5 NaCl çözeltisine % 50 Etilen glikol çözeltisi eklenerek St-37 düşük karbon çeliği kuponları Şekil 2.11'deki düzenekte 42 gün bekletilmiştir. Her hafta 4 tane kupon düzenekten çıkarılarak 6 hafta boyunca kütle kaybı yöntemi sonuçları kayıt altına alınmıştır.



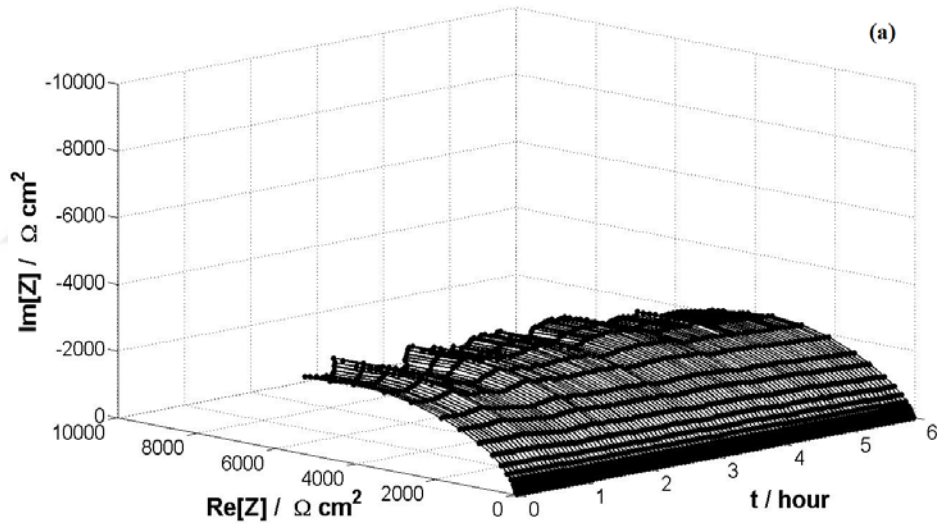
Şekil 2.11. % 3.5 NaCl + % 50 Etilen glikol çözeltisi içerisindeki St-37 kuponlarının kütle kaybı yöntemi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

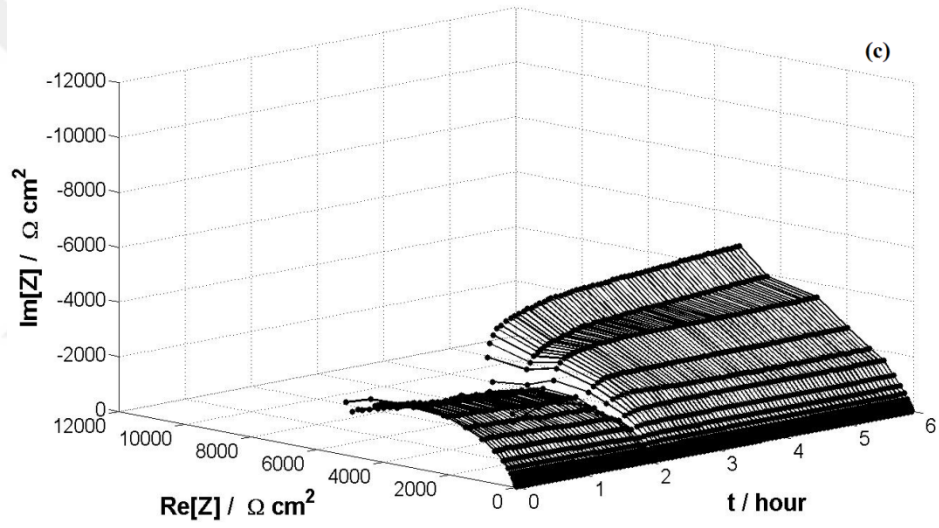
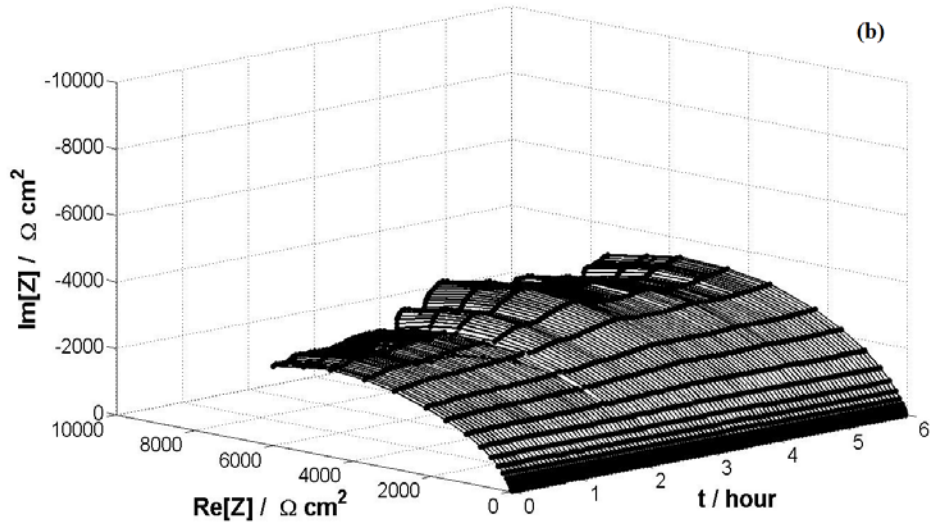
3.1. ETİLEN GLİKOLÜN İNHİBİTÖR ETKİSİNİN ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ

3.1.1. Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)

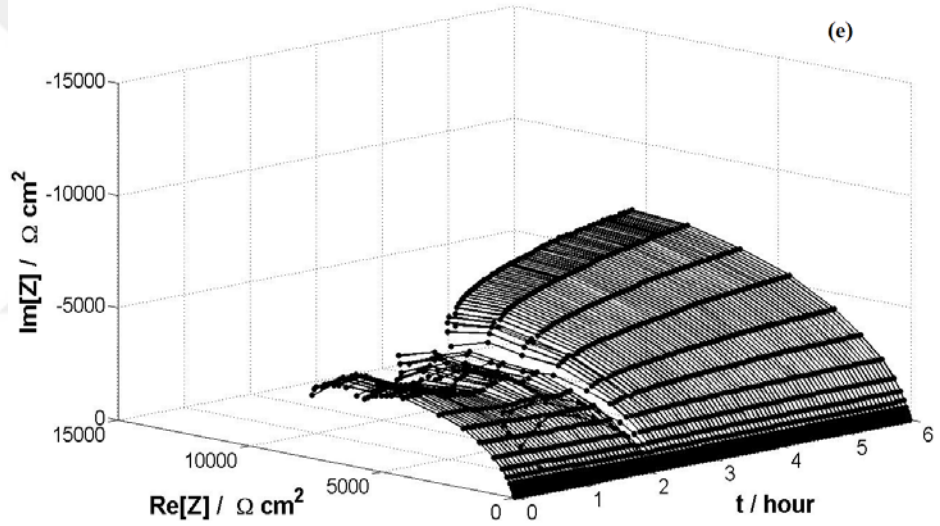
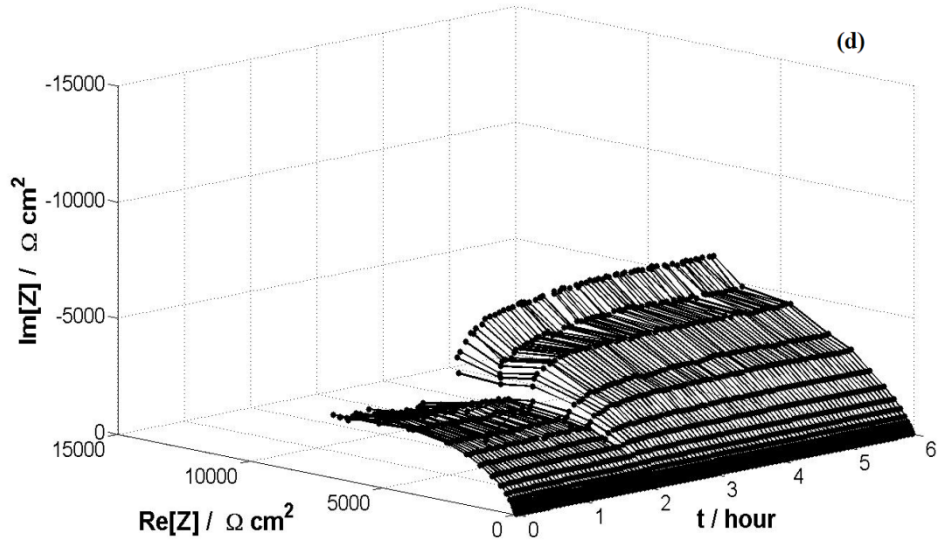
DEIS yöntemi kullanılarak, değişen ortamlarda metal yüzeyi üzerinde ani korozyon ilerlemesi doğru bir şekilde izlenebilmektedir. Şekil 3.1’de oda sıcaklığında 6 saat süreyle farklı etilen glikol konsantrasyonlarında % 3.5 NaCl çözeltisine daldırılmış AA7075-T6 alaşımı için kaydedilen DEIS spektrumları görülmektedir.



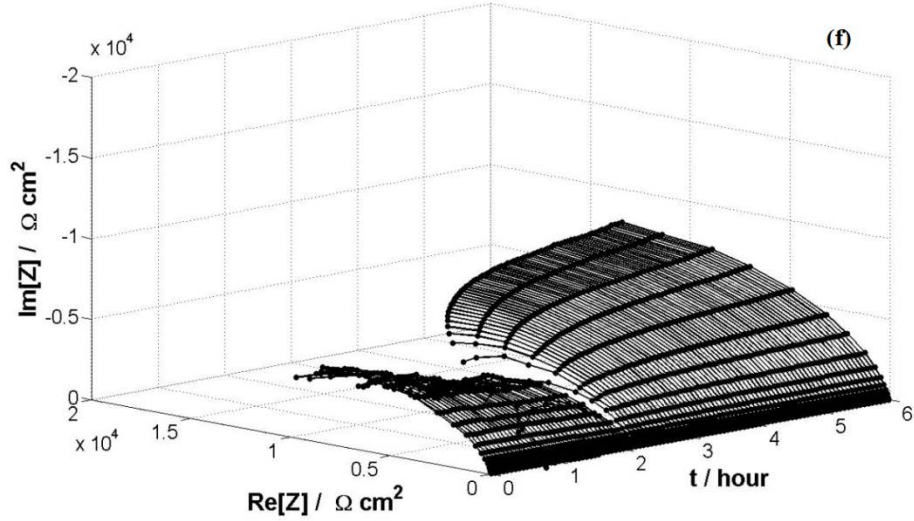
Şekil 3.1. AA7075- T6 metalinin DEIS sonucu elde edilen 3D grafikleri (a) % 3.5 NaCl, (b) % 3.5 NaCl + %10 EG, (c) % 3.5 NaCl + %20 EG, (d) % 3.5 NaCl + %30 EG, (e) % 3.5 NaCl + %40 EG, (f) % 3.5 NaCl + %50 EG.



Şekil 3.1.(devam). AA7075- T6 metalinin DEIS sonucu elde edilen 3D grafikleri (a) % 3.5 NaCl, (b) % 3.5 NaCl + %10 EG, (c) % 3.5 NaCl + %20 EG, (d) % 3.5 NaCl + %30 EG, (e) % 3.5 NaCl + %40 EG, (f) % 3.5 NaCl + %50 EG.



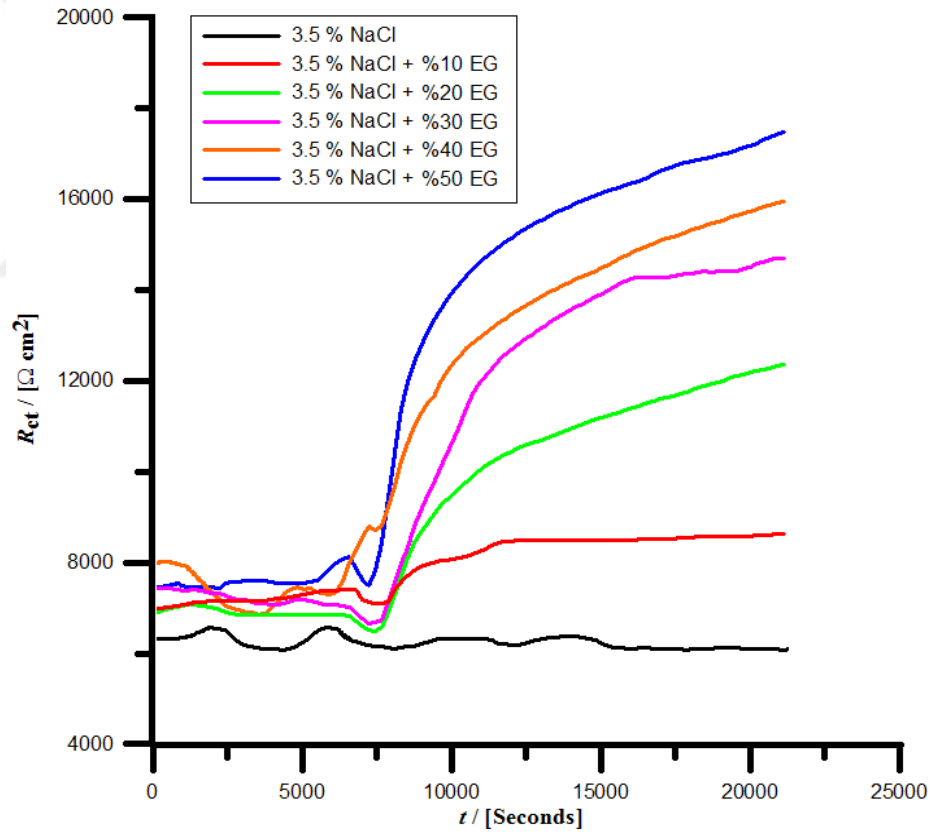
Şekil 3.1.(devam). AA7075- T6 metalinin DEIS sonucu elde edilen 3D grafikleri (a) % 3.5 NaCl, (b) % 3.5 NaCl + %10 EG, (c) % 3.5 NaCl + %20 EG, (d) % 3.5 NaCl + %30 EG, (e) % 3.5 NaCl + %40 EG, (f) % 3.5 NaCl + %50 EG.



Şekil 3.1.(devam). AA7075- T6 metalinin DEIS sonucu elde edilen 3D grafikleri (a) % 3.5 NaCl, (b) % 3.5 NaCl + %10 EG, (c) % 3.5 NaCl + %20 EG, (d) % 3.5 NaCl + %30 EG, (e) % 3.5 NaCl + %40 EG, (f) % 3.5 NaCl + %50 EG.

Spektrumların dikkate değer özellikleri şunlardır: (i) incelenen spektrumlar yarı dairesel şekildedir, ortamdaki metal alt tabakasında korozyonun yük transferi ile kontrol edildiği görülmektedir [79]. (ii) Yarı dairesel sürekli olarak artmasının nedeni, metal numunenin bulunduğu ortamda kaldığı sürece korozyona uğrayacağı anlamına gelmektedir. (iii) Yarım daireler ölçüm boyunca kusurludur, sürekli aynı boyutta değildir. Korozyon literatüründe, bu durum frekans dağılım olgusundan gelmektedir ve çalışma elektronu yüzeyinin heterojenliğinden kaynaklanmaktadır [80],[81]. (iv) % 3.5 NaCl çözeltisine 2 saat sonra etilen glikolün ilave edilmesi spektrumlarda bir kopukluk yaratmıştır ve yarı dairenin boyutu büyümüştür (Şekil 3.1 (f)). Bu durum etilen glikol moleküllerinin yüzeye adsorbe olmasıyla birlikte numune yüzeyi üzerindeki elektron akışına karşı sert bir direnç gösterdiği anlamına gelmektedir. (v) Yarım daire çapındaki artış, etilen glikol konsantrasyonuna bağlıdır; metal yüzeyinde etilen glikol tarafından oluşturulan hidrofobik katmanın kalınlığında bir artışa neden olduğunu işaret etmektedir. (vi) Şekil 3.1(f)'deki spektrumun boyutunun doğrudan daldırma süresi ile orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Zamanla birlikte daha fazla etilen glikol molekülü AA7075-T6 yüzeyinde adsorbe edilirse, adsorbe edilen filmin daha uzun süre kararlı yapıda kalabilmesi mümkün olabilir.

AA7075- T6 metalinin çözeltiye daldırma zamanı ilerledikçe metal yüzeyindeki yük transfer direncinde (R_{ct}) değişiklikleri daha iyi anlamak için daldırma süresine (t) karşı bir R_{ct} çizimi yapılmıştır (Şekil 3.2). Şekilden görüleceği üzere, etilen glikol içermeyen NaCl çözeltisi içindeki metal için R_{ct} - t grafiği ilk olarak artar ve yaklaşık 2500 saniyede zirveye ulaşır. Yaklaşık 7200 saniyede R_{ct} - t grafiği istikrarlı bir yapıya ulaşmaktadır. Bunun nedeni, alüminyum alaşımı yüzeyindeki oksit tabakanın koruyucu etkisidir. Bu oksit tabaka alüminyum alaşımına direnç sağlamaktadır [82]-[84]. Fakat oksit tabaka ortamdaki agresif iyonların saldırısına maruz kalarak parçalanabilmektedir, bu da grafikte 2 saat boyunca spektrumun istikrarsız bir görüntü sergilediğini göstermektedir. NaCl-Etilen glikol sistemlerini temsil eden diğer grafiklerle karşılaştırıldığında, etilen glikolün varlığında metal yüzeyindeki yük transfer direncinin gözle görülür bir şekilde arttığı görülmektedir.



Şekil 3.2. DEIS yöntemi ile elde edilen R_{ct} değerinin zamana bağlı değişimi.

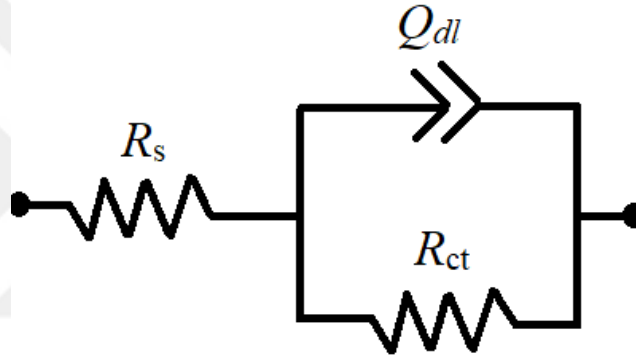
Şekil 3.2'de görülebileceği gibi, etilen glikol konsantrasyonunun ve daldırma süresinin sisteme doğrudan bir etkisi olduğu görülmektedir. NaCl çözeltisinde etilen glikolün etkisi, özellikle yüksek konsantrasyonlarda alaşım yüzeyindeki yük transferine direnç gösterdiği anlaşılmaktadır.

Alkali ortamda incelenen AA7075-T6'nın korozyonu ve etilen glikolün inhibisyon derecesi hakkında niceliksel bilgi sağlamak için, Şekil 3.3'te gösterilen bir $R(QR)$ eşdeğer devresi ile DEIS spektrumlarının analizi yapılmıştır.

$$Z_{CPE} = Y_0^{-1}(i\omega)^{-n} \quad (3.1)$$

R_s solüsyon direncini, R_{ct} yük transfer direncini, Q sabit faz elemanını temsil etmektedir. Eşitlik 3.1'de Y_0 , Q sabitidir, ω ise açısal frekansı (rad s^{-1}), $i^2 = -1$ hayali bir sayıdır ve n bir Q üssüdür [85]. Bu eşdeğer devrenin seçimi, analiz boyunca %5'i aşmayan düşük ki kare değerleri ve yüzde hatası ile gerçekleştirilmiştir. Analizden elde edilen nicel bilgiler, Çizelge 3.1'de verilen çift katmanlı (C_{dl}) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır [86] (Eşitlik 3.2).

$$C_{dl} = (Y_0 R_{ct}^{1-n})^{1/n} \quad (3.2)$$



Şekil 3.3. $R(QR)$ devre modeli.

Analizden elde edilen elektrokimyasal parametreler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Açıkça görüldüğü gibi, % 3.5 NaCl çözeltisi için çözelti direnci (R_s) ve R_{ct} değerleri, etilen glikol içeren sistemlerinkinden daha küçükken, kapasitans değeri sabit faz elemanı (Q) yüksektir. Etilen glikol miktarındaki artış, R_s ve R_{ct} değerlerinde artışa, Q değerinde ise düşüşe neden olmaktadır. Örneğin, etilen glikol içermeyen NaCl çözeltisi için R_s ve R_{ct} değerleri sırasıyla $8.78 \Omega \text{ cm}^2$ ve $5655 \Omega \text{ cm}^2$ iken, Q değeri $3.09\text{E-}05 \text{ Q/S s}^n\text{cm}^{-2}$ 'dir. Alkali solüsyona % 10 etilen glikol eklendiğinde, R_s ve R_{ct} değerleri sırasıyla $9.78 \Omega \text{ cm}^2$ ve $8664 \Omega \text{ cm}^2$ 'ye yükselirken Q değeri $2.53\text{E-}05 \text{ Q/S s}^n\text{cm}^{-2}$ 'ye düşmüştür. Etilen glikol konsantrasyonu % 50'ye çıkarıldığında, R_s ve R_{ct} değerleri sırasıyla $14.86 \Omega \text{ cm}^2$ ve $18540 \Omega \text{ cm}^2$ 'ye yükselirken, Q değeri $1.23\text{E-}05 \text{ Q/S s}^n\text{cm}^{-2}$ 'ye düşmüştür.

Çizelge 3.1. AA7075-T6 alaşımı için % 3.5 NaCl solüsyonunda 25 °C'de Dinamik Elektrokimyasal Empedans Parametreleri.

Konsantrasyon	R_s ($\Omega \text{ cm}^2$)	Q ($\text{Q/S s}^n \text{ cm}^{-2}$)	n $0 \leq n \leq 1$	R_{ct} ($\Omega \text{ cm}^2$)	% IE
% 3.5 NaCl	8.78	3.09E-05	0.81	5655	-
% 3.5 NaCl + 10% EG	9.78	2.53E-05	0.84	8664	35
% 3.5 NaCl + 20% EG	10.17	1.85E-05	0.85	12420	54
% 3.5 NaCl + 30% EG	10.98	1.61E-05	0.86	14600	61
% 3.5 NaCl + 40% EG	11.97	1.31E-05	0.88	16030	65
% 3.5 NaCl + 50% EG	14.86	1.23E-05	0.87	18540	70

Bu sonuçlar etilen glikolün klorür içeren ortamda inhibitör görevi görebileceğini açıkça göstermektedir. Etilen glikol konsantrasyonun artmasıyla birlikte Q değerinde meydana gelen azalma, etilen glikolün alaşım yüzeyinde oluşturduğu koruyucu tabakanın kalınlığındaki artıştan kaynaklanmaktadır ve bu durum Eşitlik 3.3'de verilen Helmholtz denklemi ile tam bir uyum içerisinde [87]-[89]:

$$\delta_{ads} = \frac{\epsilon \epsilon_0 A}{C_{dl}} \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte δ_{ads} = Etilen glikolün adsorbe tabaka kalınlığı, ϵ_0 = havanın geçirgenliği, ϵ = yerel dielektrik sabiti, A = AA7075- T6 alaşımının yüzey alanıdır.

Çalışılan ortamda etilen glikolün koruma kapasitesi yüzdesi (%IP), Eşitlik 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır [87]:

$$\%IP = (1 - R_{ct}^0 \div R_{ct}) \times 100 \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.3'te, R_{ct}^0 etilen glikol yokluğundaki yük transfer direncini ve R_{ct} etilen glikol varlığındaki yük transfer direncini göstermektedir. Çizelge 3.1'de verilen değerler etilen glikolün inhibe edici etkinliğinin kullanılan konsantrasyonla belirlendiğini gösteren kalitatif sonuçlar (Şekil 3.1 ve 3.2) ile tam bir uyum içindedir. En yüksek konsantrasyon (% 50) etilen glikol, % 3.5 NaCl çözeltisindeki AA7075-T6 yüzeyini % 70 oranında korumuştur.

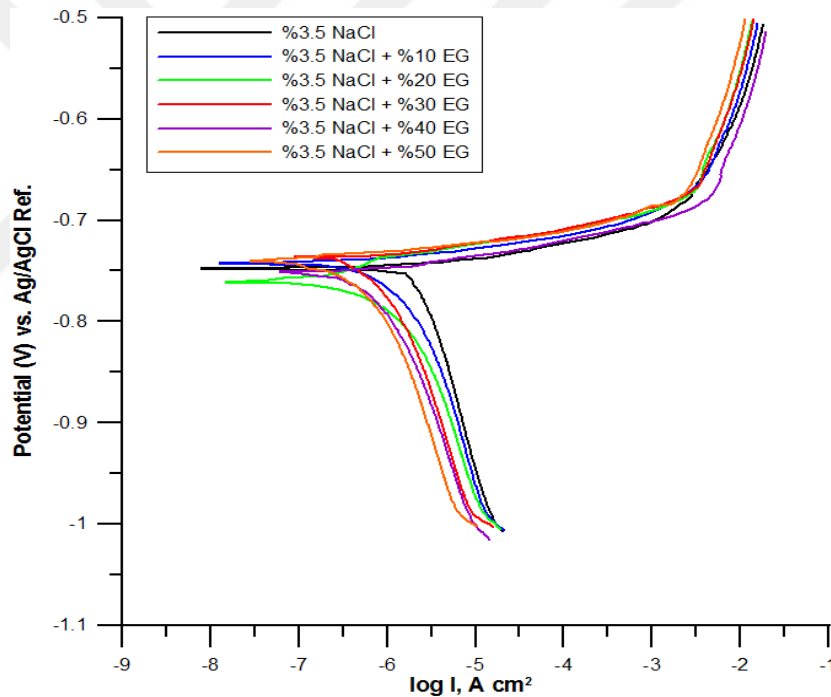
Ayrıca, Çizelge 3.1'de parametre n için değerler verilmiştir. n parametresi, çalışma elektrodunun pürüzlülüğünün derecesi [69] ve ayrıca ara yüzeyin niteliği [87] üzerinde bir gösterge olarak kullanılmaktadır. n değeri 0.81-0.87 aralığındadır. Bu değer aktif bir ara yüzü yansıtmaktadır [83],[87]. NaCl-Etilen glikol sistemlerinin n değerleri, sadece NaCl sistemini temsil eden değerden daha büyüktür, çünkü alaşım yüzeyinin NaCl-

Etilen glikol çözeltilerinde NaCl çözeltisinden daha pürüzlü olduğu anlamına gelmektedir [88]. Bu durum etilen glikol moleküllerinin metal yüzeyine adsorpsiyonundan kaynaklanmaktadır.

3.1.2. Tafel Ekstra Polarizasyon (TP)

Şekil 3.4'te, 25 °C'de % 3.5 NaCl ve %10-50 etilen glikol içeren % 3.5 NaCl çözeltisi içinde AA7075- T6 alüminyum alaşımı için elde edilen Tafel eğrileri gösterilmektedir. Korozyon potansiyeli (E_{corr}), anodik Tafel sabiti (β_a), katodik Tafel sabiti (β_c), korozyon akımı yoğunluğu (i_{corr}) olan elektrokimyasal parametreler anodik ve katodik dalların doğrusal kesimi yapılarak hesaplanmıştır. i_{corr} değerleri ile etilen glikolün koruma yüzdesini elde etmek için Eşitlik 3.5 kullanılmaktadır [83]:

$$\%IP = (1 - i_{corr(EG)} \div i_{corr(blank)}^0) \times 100 \quad (3.5)$$



Şekil 3.4. Etilen glikol içeren ve içermeyen % 3.5 NaCl çözeltisi içerisindeki AA775-T6 alaşımının Tafel eğrileri.

Hesaplanan elektrokimyasal polarizasyon parametrelerinin tümü Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Alkalın solüsyonunda AA7075-T6 için elde edilen Tafel eğrilerinin incelenmesi (Şekil 3.4) uzun anodik dalın pasif bölge sergilediğini ortaya koymaktadır. Alüminyum yüzeyindeki oksit filmin aşağıdaki denklemlerden oluştuğu kabul

edilmektedir. Eşitlik 3.6 ve 3.7'in metali korozyona karşı koruma sağladığı bilinmektedir [89]-[91].



Çizelge 3.2. AA7075-T6 alaşımı için % 3.5 NaCl solüsyonunda 25 °C'de Tafel Ekstra Polarizasyon parametreleri.

İnhibitör konsantrasyonu (% değeri)	β_a (mV/Dec)	β_c (mV/Dec)	E_{corr} (mV)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	% IE
0	22	315	-747	2.68	-
%10 EG	21	260	-742	1.56	42
%20 EG	19	246	-760	1.1	59
%30 EG	15	238	-736	0.85	70
%40 EG	17	206	-751	0.73	73
%50 EG	18	198	-740	0.63	76

Fakat, agresif ortamda aşındırıcı iyonlar metal yüzeyini aşındırarak oksit tabakaya saldırmaktadır. Şekil 3.4'te gösterilen Tafel diyagramında görüleceği gibi, kırılma noktası (çukurlaşma potansiyeli) AA5052 alaşımı için NaCl ortamında SCE (Standart Elektrot Potansiyeli) Ag/AgCl referans elektrotuna karşı -0.672V'tur, AA7075- T6 alaşımının potansiyeli -0.748V'tur ve literatüre uyumludur [89]. Eşitlik 3.8 ve 3.9'de NaCl ortamında çıplak alüminyum yüzeyinde bozulmalar neden olan aşağıdaki reaksiyonlara maruz kalmaktadır [90],[91].



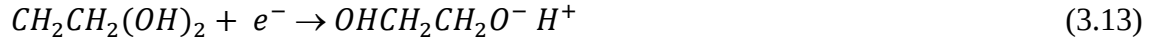
Buna paralel olarak, Eşitlik 3.10 ve 3.11'deki reaksiyonlar katodik yönde ilerleyecektir [90],[92]:



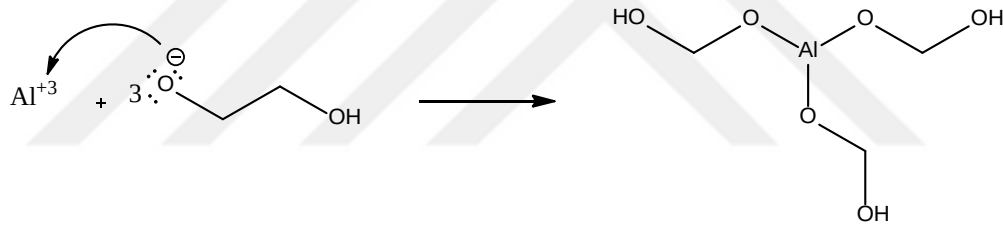
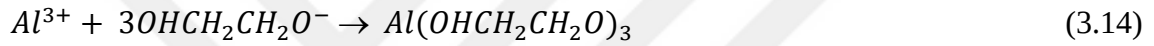
Eşitlik 3.12'da oksit klorid kompleksini oluşturan Cl^- iyonlarının Al^{3+} ile etkileşimi bildirilmiştir [88],[91].



Şekil 3.4'te NaCl solüsyonunda etilen glikolün varlığının hem anodik hem de katodik reaksiyonları engellediği açıkça görülmektedir. Şekil 5'ten ancak ana etki katodik reaksiyonlarda gözükmemektedir. Örneğin, alkalın solüsyonda %50 EG bulunması, % 3.5 NaCl'nin β_c değeri 315 mV/Dec'den, sisteme %50 etilen glikol eklenmesi ile 198 mV/Dec'e belirgin bir düşüşe neden olurken sadece anodik eğim değerini 4 puan kaydırmıştır (22 mV/Dec, 18 mV/Dec). Sistemde, Eşitlik 3.13'deki gibi etilen glikol böylece indirgenmektedir [19]:



Sonuçlara göre, Eşitlik 3.10 ve 3.11'de gerçekleşen reaksiyonlar sonucu Eşitlik 3.14'de gösterilen $OHCH_2CH_2O^-$ anyonlar oluşarak Eşitlik 3.4'te oluşan $Al(OH)_3$, *ads* oluşumunu engelleyebilir. Böylece alaşım yüzeyi korozif saldırılara karşı korunmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Alüminyum ile etilen glikolün reaksiyon mekanizması.

Kullanılan etilen glikol konsantrasyonuna bağlı olarak ortaya çıkan inhibisyon mekanizması, korozyon akımının azalması ve E_{corr} daha kararlı konuma kaydırılmasına yansımaktadır. Tafel ekstra polarizasyon yöntemine göre AA7075-T6 metalini % 3.5 NaCl ortamında en yüksek konsantrasyon olan % 50 etilen glikol ile elde edilen inhibisyon verimliliği % 76'dır.

3.2. ETİLEN GLİKOLÜN İNHİBİTÖR ETKİSİNİN KÜTLE KAYBI YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Etilen glikolün St-37 düşük karbon çeliği kuponları için korozyon önleyici özelliği % 3.5 NaCl çözeltisi içerisinde kütle kaybı yöntemi ile bakılmıştır. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de gösterildiği üzere, devir daim motoru ile sürekli metallerin bulunduğu

ortamdaki çözelti karıştırılarak homojen halde tutulmuş ve çözelti direnci de ayı şekilde kullanılan resistanslarla 25 °C de tutulmuştur. Etilen glikolün inhibisyon etkisi (%IE) en yüksek konsantrasyon olan %50 derişimde araştırılmış ve sonuçlar Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

$$\%IE = \left(1 - \frac{W_I}{W_0}\right) \times 100 \quad (3.15)$$

Eşitlik 3.15'te W_I ve W_0 aynı sıcaklıkta sırasıyla inhibitörlü ve inhibitörsüz ortamdaki metal kuponlarının kütle kaybını ifade etmektedir [92]. Çizelge 3.3'te görüldüğü gibi etilen glikol molekülleri zamana bağlı olarak St-37 metali kuponlarına etki ederek metal yüzeyinde koruma sağlamıştır. 6 hafta sonunda St-37 metali üzerinde etilen glikol moleküllerinin inhibisyon etkisi % 85.26 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. Kütle kaybı yöntemi ile St-37 metal kuponları üzerinde etilen glikolün inhibitör etkisi.

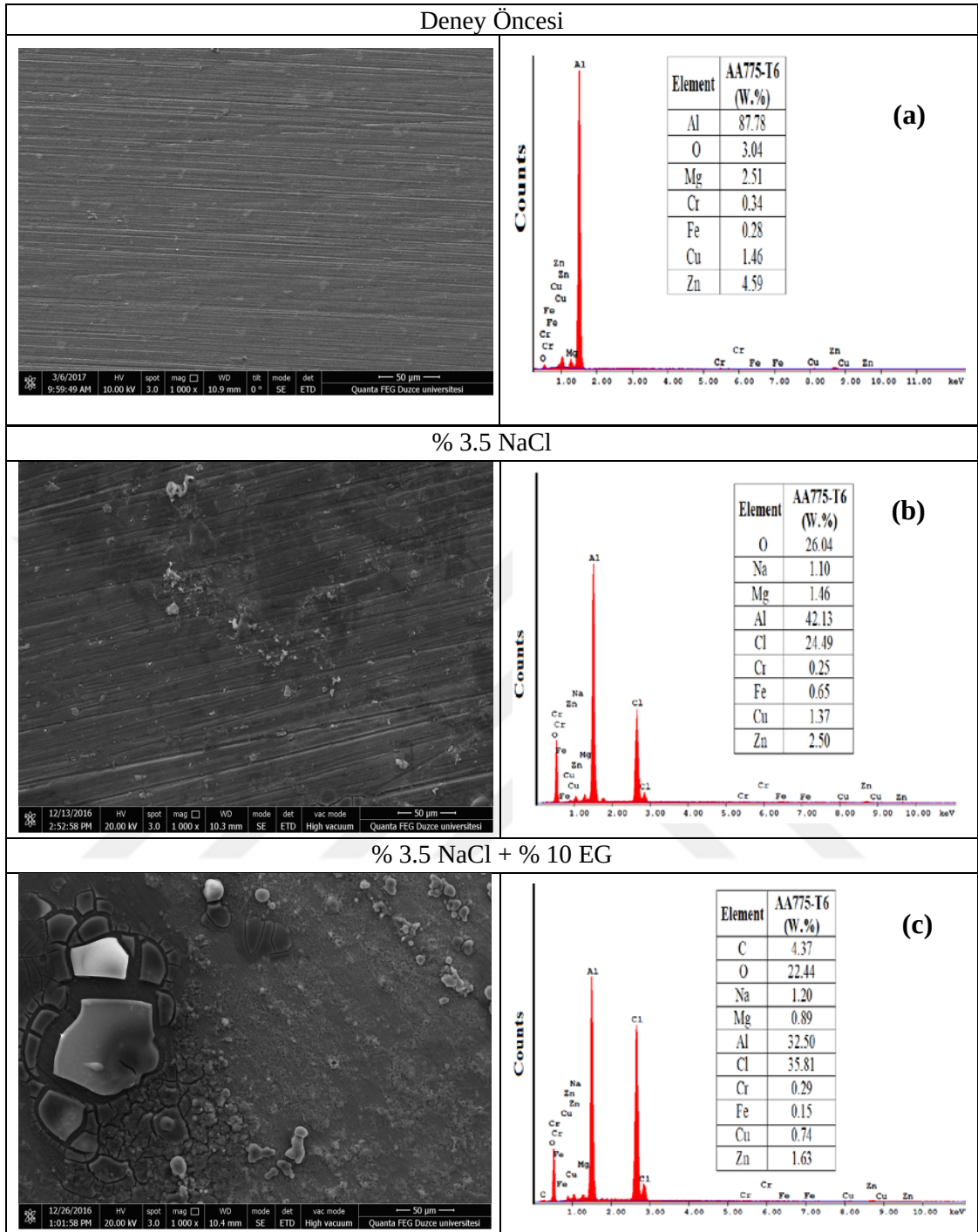
Zaman	% 3.5 NaCl	% 3.5 NaCl + % 50 EG	% IE
1. Hafta	0.7507	0.1328	82.31
2. Hafta	0.9662	0.1410	85.40
3. Hafta	1.1221	0.1620	85.57
4. Hafta	1.4228	0.1968	86.17
5. Hafta	1.6861	0.2401	85.57
6. Hafta	1.9640	0.2896	85.26

Her hafta çıkartılan 4 numenin ortalaması ile oluşturulan Çizelge 3.3'te görüleceği üzere 2.Haftadan sonra hesaplanan % IE değerlerinde kayda değer bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Bu bulgu, Şekil 3.5'te belirtildiği üzere korozyon sonucu oluşan katyonların EG ile reaksiyona girerek metal yüzeyinde bir bariyer oluşturarak metali korozyona karşı koruduğunu kanıtlamaktadır.

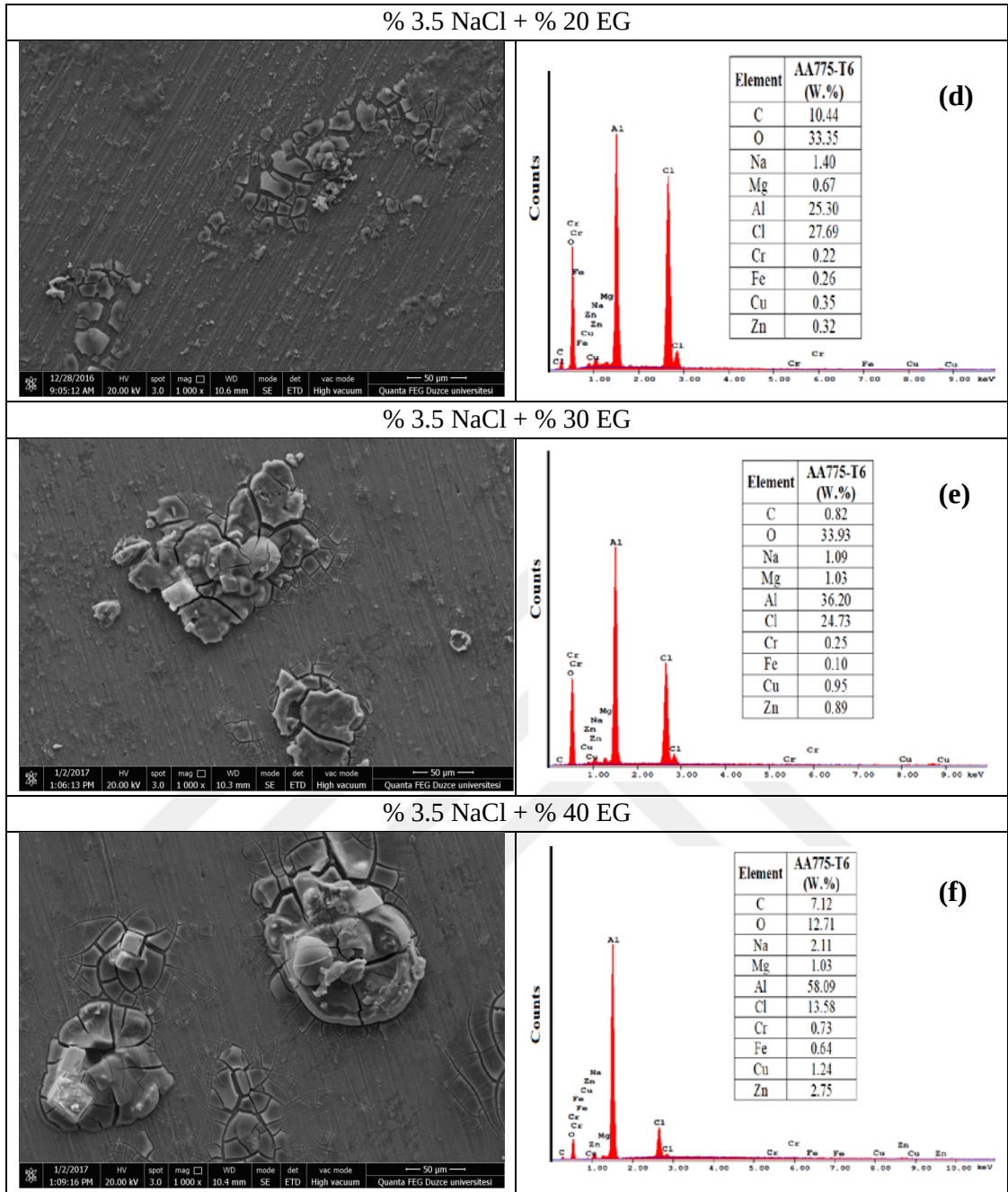
3.3. YÜZEY ANALİZİ

3.3.1. SEM EDS Analizi

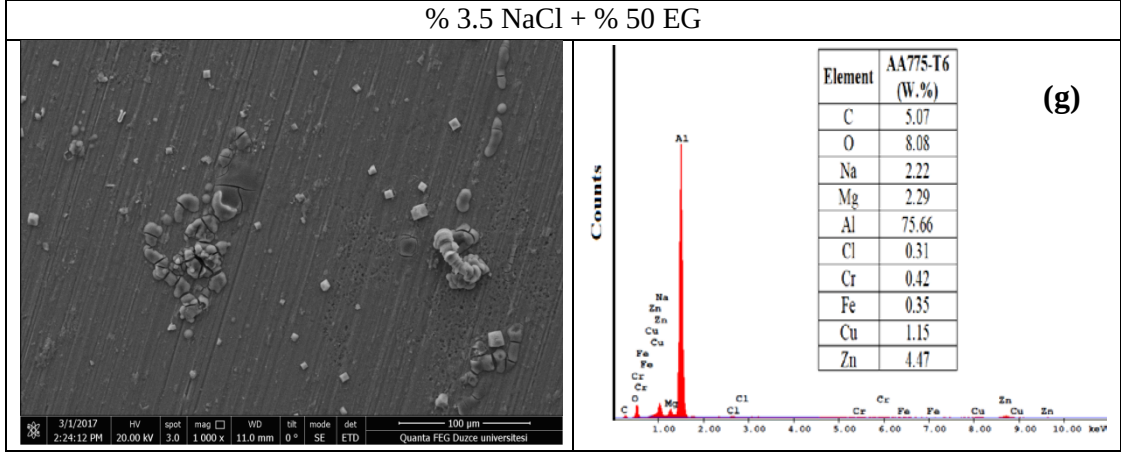
DEIS deneyleri sonrası inhibitörsüz ve farklı konsantrasyonlarda etilen glikol içeren % 3.5 NaCl ortamında AA7075-T6 metalinin yüzeyinde meydana gelen morfolojik değişimleri gözlemlemek için SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Elde edilen SEM ve EDS sonuçları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. DEIS yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a) deney öncesi, (b) % 3.5 NaCl, (c) % 3.5 NaCl + % 10 EG, (d) % 3.5 NaCl + % 20 EG, (e) % 3.5 NaCl + % 30 EG, (f) % 3.5 NaCl + % 40 EG, (g) % 3.5 NaCl + % 50 EG.



Şekil 3.6. (devam). DEIS yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a) deney öncesi, (b) % 3.5 NaCl, (c) % 3.5 NaCl + % 10 EG, (d) % 3.5 NaCl + % 20 EG, (e) % 3.5 NaCl + % 30 EG, (f) % 3.5 NaCl + % 40 EG, (g) % 3.5 NaCl + % 50 EG.

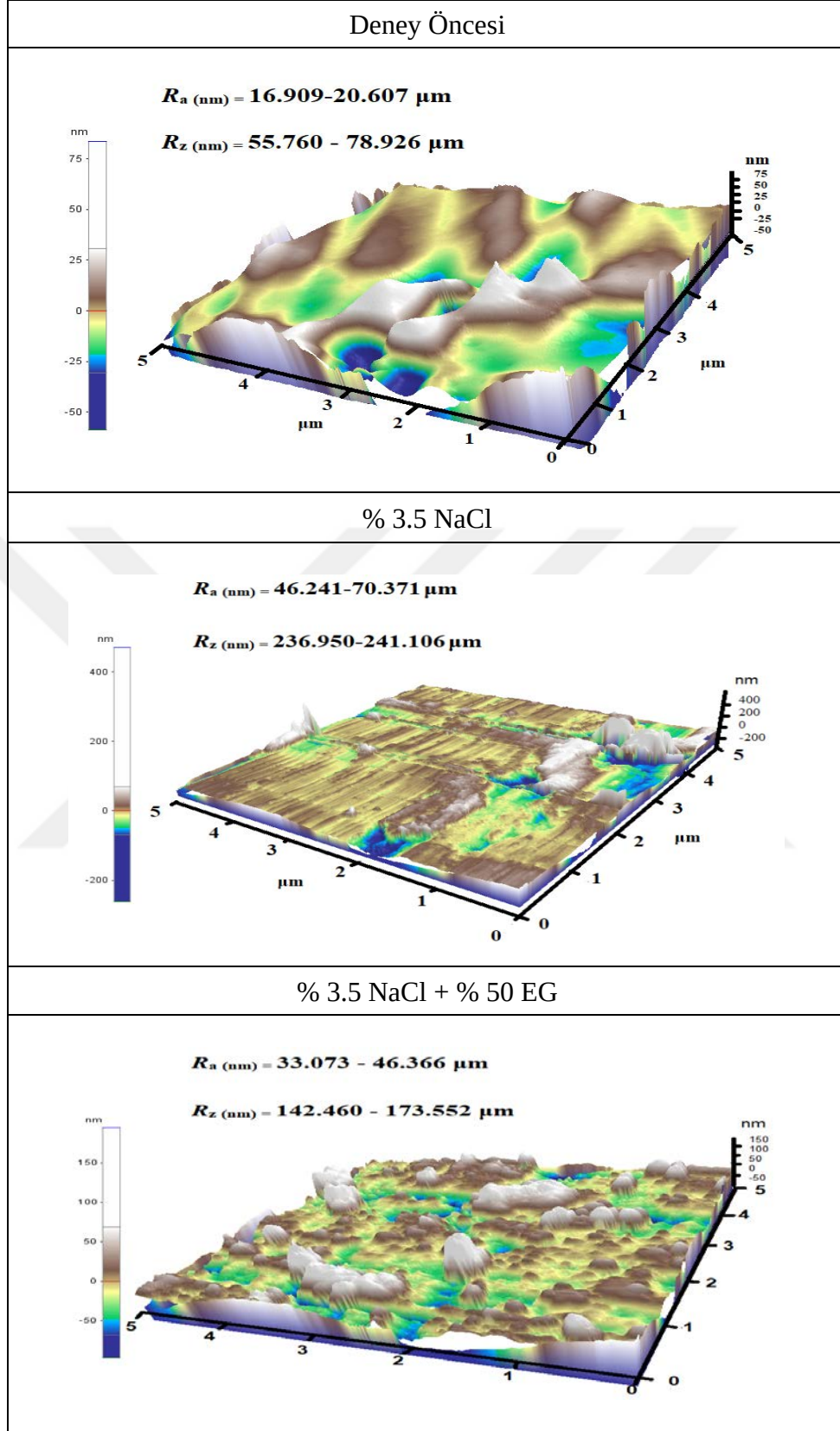


Şekil 3.6. (devam). DEIS yöntemi sonrası St37 metalinin SEM görüntüleri ve EDS analizi (a) deney öncesi, (b) % 3.5 NaCl, (c) % 3.5 NaCl + % 10 EG, (d) % 3.5 NaCl + % 20 EG, (e) % 3.5 NaCl + % 30 EG, (f) % 3.5 NaCl + % 40 EG, (g) % 3.5 NaCl + % 50 EG.

Şekil 3.6 (a)'da görüldüğü gibi deney öncesi metal yüzeyinde korozyonun olmadığı ancak zımparadan kaynaklı izler görülmektedir. Deney öncesi EDS analizi sonucu Al miktarı % 87.78 olarak belirlenmiştir. Numune % 3.5 NaCl solüsyonuna daldırıldığında solüsyonda bulunan korozif iyonların saldırısına bağlı olarak metal yüzeyi tahrip olmuştur. Şekil 3.6 (b)'de görüldüğü gibi, yüzey korozyon ürünleri ile kaplanmıştır. EDS analizine bakıldığında Şekil 3.6 (b)'de korozyon ürünlerinin çoğunlukla klorür iyonlarının bileşikler olduğu görülmektedir. Şekil 3.6 (c), (d), (e), (f) ve (g)'de NaCl + Etilen glikol solüsyonunda adsorbe edilmiş etilen glikol moleküllerinin klorid iyonlarını yüzeyden uzaklaştırdığını ve bu şekilde yüzeyin korozyondan korunduğunu açıklamaktadır. Şekil 3.6 (c)'de Cl miktarı % 35.81, Al miktarı % 32.50 iken konsantrasyondaki etilen glikol miktarının artması ile Şekil 3.6 (g)'de Cl miktarı % 0.31'e gerilemiş ve Al miktarı % 75.66'ya gelmiştir. Bu durum etilen glikolün AA7075-T6 alaşımı yüzeyine adsorbe olarak metali korozyona karşı koruduğunu göstermektedir.

3.3.1. AFM Analizi

Şekil 3.7'de, 6 saat boyunca % 3.5 NaCl çözeltisine maruz bırakılan AA7075-T6 alaşımı deney öncesi (a), % 3.5 NaCl (b) ve % 3.5 NaCl + % 50 etilen glikol (c) için 3D AFM görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7. AA7075-T6 metalinin AFM analizi (a); deney öncesi, (b); 6 saat boyunca % 3.5 NaCl, (c); 6 saat boyunca % 3.5 NaCl + % 50 EG.

Şekil 3.7 (a)'da görüldüğü gibi deney öncesi AFM analizi görüntüsünde AA7075-T6 metalinin zamana bağlı olarak yüzey şekillerinin değiştiği görülmektedir. Deney öncesinde metal yüzeyinde belirgin tepecikler görülmektedir bunun parlatma izlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 3.7 (b)'de AA7075-T6 metali 6 saat %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde kalmıştır. AFM analizinde tepeciklerin ovalleşmesiyle birlikte metalin korozyona maruz kaldığı görülmektedir. R_a , bağımsız yüzey bandları ve dalgalılar arasındaki çukurların bireysel ölçümlerinin ortalamasını verirken R_z , on hattan alınan yükseklik sapmalarının ortalamasını ifade etmektedir [93]. Şekil 3.7 (a)'da (R_a) bağımsız ölçüm setinin ortalaması 16.909-20.607 μm arasındayken (R_z) 55.760 - 78.926 μm 'de arasındadır. Bu değerler daha düz bir yüzeyin değerlerini ifade etmektedir. Şekil 3.7 (b)'ye bakıldığında %3.5 NaCl solüsyonuna maruz bırakılan metalin R_a ve R_z değerleri görece olarak 46.241-70.371 μm ve 236.950-241.106 μm 'ye değerine yükselmiştir. Bu değerler metal yüzeyinin % 3.5 NaCl çözeltisine maruz kalarak aşındığını göstermektedir. Bu durum AA7075-T6 metalinin % 3.5 NaCl çözeltisinde ciddi hasar gördüğü SEM ve elektrokimyasal deneylerin sonuçları ile benzer sonuçlar göstermektedirler. % 3.5 NaCl çözeltisine % 50 etilen glikol eklenince AA7075-T6 metalinin yüzeyinde R_a (33.073 - 46.366 μm) ve R_z (142.460 - 173.552 μm) değerleri azalmıştır. Bu durum etilen glikolün AA7075-T6 metalini korozyona karşı koruduğunu göstermektedir.

3.4. ADSORPSİYON İZOTERMİ VE TERMODİNAMİK PARAMETRELER

Metallerdeki korozyon mekanizmasını anlamak için adsorpsiyonu izotermi oldukça önemlidir. Adsorpsiyon izotermi belirlenirken öncelikle yüzey kaplanma dereceleri (θ) hesaplanmaktadır [94]. Yüzey kaplanma derecesi Eşitlik (3.16) kullanılarak hesaplanmıştır.

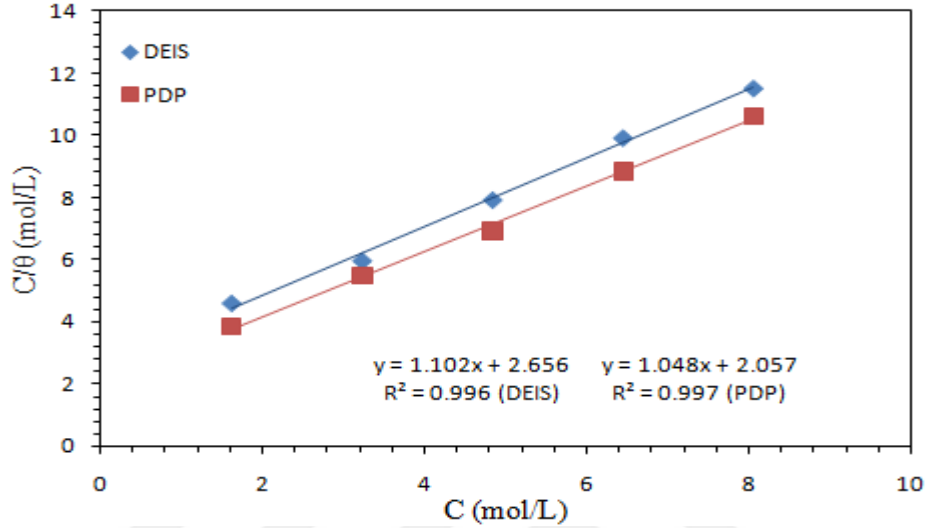
$$\theta = (i_0 - i_{inh})/i_0 \quad (3.16)$$

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

$$C_{inh} / \theta = 1/K_{ads} + C_{inh} \quad (3.17)$$

Eşitlik 3.16'te θ yüzey kaplanma derecesini, K_{ads} adsorpsiyon katsayısını, C_{inh} etilen glikolün konsantrasyonlarını göstermektedir. Çizilen grafikten Eşitlik (3.17) kullanılarak K_{ads} adsorpsiyon katsayıları hesaplanmıştır. Etilen glikol bileşiğinin

kullanılan yöntemler sonucu, Şekil 3.8’de gösterilen doğrularda uygunluk katsayıları (R^2) 0.009-1.00 aralığında olduğu için Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu belirlenmiştir [95]. Langmuir izotermi Eşitlik 3.18’deki denklem ile hesaplanmaktadır [89]. Langmuir adsorpsiyon modeli, inhibitör moleküllerin tek katmanlı adsorpsiyonunu ve adsorbe edilmiş inhibitör moleküllerinin birbirleriyle etkileşimini varsaymaktadır.



Şekil 3.8. Etilen glikol ilaveli % 3.5 NaCl çözeltisinde AA7075-T6 metali için elde edilen Langmuir adsorpsiyon izotermi grafiği.

Adsorbe edilen türler arasındaki karşılıklı etkileşimin, C_{inh}/θ 'nın C_{inh} eğimine karşı birlik göstermesi gerekmektedir. Şekil 3.8'de eğim bir diğer değerden biraz daha büyüktür ve bu nedenle Langmuir modelinin gereksinimini zayıflatmaktadır. Araştırmalar [96],[97] metal yüzeyine adsorbe olan hacimli moleküllerin birbirleriyle etkileşime girdiğini tespit etmiştir. Adsorbe olan etilen glikol molekülleri birbiriyle etkileşime girmiş olabileceği için eğimlerin birbirinden sapması bu durumla açıklanabilmektedir.

Şekil 3.8'deki DEIS ve TP doğrusal grafiklerinin kesişim noktaları K_{ads} değeri sırasıyla 0.061 mol^{-1} ve 0.078 mol^{-1} bulunmuştur. Elde edilen K_{ads} değeri düşüktür ve AA7075-T6 yüzeyinde etilen glikol moleküllerinin zayıf adsorpsiyonunu ifade etmektedir. Eşitlik 3.14'teki denklemde K_{ads} parametresi, adsorpsiyonun standart serbest enerjisine bağlanmaktadır.

$$\Delta G_{ads}^0 = -RT \ln(55.5 K_{ads}) \quad (3.18)$$

Eşitlik 3.8’de ΔG^0_{ads} Gibbs serbest enerjisi, R evrensel gaz sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. İncelenen sistem DEIS ve TP için ΔG^0_{ads} değerleri sırasıyla - 3.01 kJ / mol ve - 3.64 kJ / mol’dür. ΔG^0_{ads} değerlerinin negatif işaret olmasının nedeni, AA7075-T6 yüzeyinde etilen glikol moleküllerinin adsorpsiyonunun olasılığını yansıtmaktadır. ΔG^0_{ads} -20 kJ/mol’den daha düşük değerde ise; yüklü metal yüzeyi ile yüklü inhibitör türü arasındaki elektrostatik etkileşime bağlı fiziksel adsorpsiyon, -40 kJ/mol civarında ise; elektron paylaşımı veya inhibitör molekülünün metalin boş yörüngesine geçişini gösteren kimyasal adsorpsiyonu ifade etmektedir [98]. Elde edilen sonuçlara göre hesaplanan ΔG^0_{ads} değeri -20 kJ/mol’den daha düşük değerde olması, etilen glikol bileşiği ile metal arasında fiziksel adsorpsiyon olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kütle kaybı yöntemi, elektrokimyasal deneyler ve sonrasında yapılan yüzey morfolojisi incelemeleri sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. % 3.5 NaCl çözeltisine ilave edilen EG, AA7075-T6 alüminyum ve St37 çelik alaşımlarının korozyon mekanizmasını yavaşlatmıştır. Dolayısıyla EG, bu alaşımlar için % 3.5 NaCl ortamında korozyon inhibitörü olarak kullanılabilir.
2. EG miktarındaki artışa bağlı olarak, % 3.5 NaCl çözeltisinde AA7075-T6 alüminyum alaşımının korozyon mekanizmasının yavaşladığı hesaplanan %IE değerinden anlaşılmaktadır. En uygun inhibitör konsantrasyonun maliyet parametresi de göz önünde bulundurularak kütlece % 40 EG olduğu belirlenmiştir.
3. NaCl + Etilen glikol sisteminde, metal katyonlarının EG ile etkileşime girerek metal yüzeyinde oluşturdıkları tabaka, alaşım yüzeyindeki yük hareketini geciktirerek metali korozyona karşı korumaktadır.
4. TP yöntemi sonuçlarına göre metal yüzeyine adsorbe olan etilen glikol molekülleri hem anodik hem de katodik korozyon reaksiyonlarını etkilemektedir. Bu bulgu, EG'ün % 3.5 NaCl ortamında, AA7075-T6 alüminyum alaşımı için karma inhibitör özelliği gösterdiğini kanıtlamaktadır.
5. Etilen glikol moleküllerinin AA7075-T6 yüzeyine adsorpsiyonu, Langmuir adsorpsiyon izotermine uymaktadır ve adsorpsiyon modeli fiziksel adsorpsiyon olarak belirlenmiştir.
6. SEM, EDAX ve AFM sonuçları AA7075-T6 yüzeyinde adsorbe edilen etilen glikol moleküllerinin metali korozyona karşı koruduğunu kanıtlamaktadır.
7. Elektrokimyasal deneyler, kütle kaybı yöntemi deneyleri ve yüzey morfolojisi sonuçları birbirine paralellik göstermektedir.
8. Yapılan elektrokimyasal ölçümlerden elde edilen elektriksel parametrelerin (R_{ct} , n , I_{corr} , E_{corr}) birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] B. Bardes, *Metals Handbook: Properties and Selection: Irons and Steels*, 9th ed., vol. 1, American Society For Metals, 1978, pp. 185- 407.
- [2] D. Klobčar, L. Kosec, A. Pietras and A. Smolej, "Friction-stir welding of aluminium alloy," *Materials Technology*, vol.46, pp. 483–488, 2012.
- [3] W. Yang, Q. Li, W. Liu, J. Liang, Z. Peng and B. Liu, "Characterization and properties of plasma electrolytic oxidation coating on low carbon steel fabricated from aluminate electrolyte," *Vacuum*, vol. 144, pp. 207-216, 2017.
- [4] P. A. Schweitzer, *Fundamentals of Metallic Corrosion Atmospheric and Media Corrosion of Metals*, 2nd ed., CRC Press Taylor & Francis Group, 2007.
- [5] J. He, D. Sirois, S. Lib, M. Sullivan, C. Wikle and B. A. Chin, "Ballistic impact welding of copper to low carbon steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 232, pp.165–174, 2016.
- [6] K. Xhanari and M. Finsgar, "Organic corrosion inhibitors for aluminum and its alloys in chloride and alkaline solutions: A review," *Arabian Journal of Chemistry*, In Press, 2016.
- [7] E. Bardal, *Corrosion and Protection*, Springer-Verlag London Limited, 2004.
- [8] Revie, R.W., Uhlig, H.H., *Corrosion and Corrosion Control; an Introduction to Corrosion Science and Engineering*, 4th ed. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey. 2008.
- [9] Davis, J.R., *Corrosion: Understanding the Basics*. ASM International. 2000.
- [10] W. Liu, A. Singh, Y. Lin, E. E. Ebenso, L. Zhou and B. Huang, "8-Hydroxyquinoline as an effective corrosion inhibitor for 7075 aluminium alloy in 3.5% NaCl solution," *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 9, pp. 5574–5584, 2014.
- [11] U. Trdan and J. Grum, "Evaluation of corrosion resistance of AA682-T651 aluminium alloy after laser shock peening by means of cyclic polarisation and EIS methods," *Corrosion Science*, vol. 59, pp. 324–333, 2012.
- [12] U. Trdan, J.L. Ocaña and J. Grum, "Surface Modification of Aluminium Alloys with Laser Shock Processing," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 57, pp. 385–393, 2011.
- [13] T. M. Yue, L. J. Yan and C. P. Chan, "Stress corrosion cracking behavior of Nd:YAG laser-treated aluminum alloy 7075," *Applied Surface Science*, vol. 252, pp. 5026–5034, 2006.
- [14] D. Wong and L. Swette, "Aluminum corrosion in uninhibited ethylene glycol–water solution," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 126, pp. 11–15, 1979.
- [15] D. A. Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, 2nd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, 1992.

- [16] A. G. Munoz and J. W. Schultze, "Effects of NO_2^- on the corrosion of Ni in phosphate solutions," *Electrochimica Acta*, vol. 49, pp. 293–301, 2004.
- [17] S. Takasaki and Y. Yamada, "Effects of temperature and aggressive anions on corrosion of carbon steel in portable water," *Corrosion Science*, vol. 49, pp. 240–247, 2007.
- [18] L. C. Rowe, *Application of inhibitors in automobiles and their environment*, in: *Corrosion Inhibitors*, NACE, 1973, pp. 173–189.
- [19] C. Xin, T. Wenming, L. Songmei, Y. Mei and L. Jianhua, "Effect of temperature on corrosion behavior of 3003 aluminum alloy in ethylene glycol–water solution," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 29, pp. 1142–1150, 2016.
- [20] H. Gerengi, H. Göksu and P. Slepski, "The inhibition effect of mad honey on corrosion of 2007-type aluminium alloy in 3.5% NaCl solution," *Materials Research*, vol.17, pp. 255–264, 2014.
- [21] U. M. R. Paturi, S. K. R. Narala and R. S. Pundir, "Constitutive flow stress formulation, model validation and FE cutting simulation for AA7075-T6 aluminum alloy", *Materials Science and Engineering: A*, vol. 605, pp. 176–185, 2014.
- [22] F. Andreatta, M. M. Lohrengel, H. Terry and J. H. W. De Wit, "Electrochemical characterisation of aluminium AA7075-T6 and solution heat treated AA7075 using a micro-capillary cell," *Electrochimica Acta*, vol. 48, pp. 3239–3247, 2003.
- [23] S. Dey, M. K. Gunjan and I. Chattoraj, "Effect of temper on the distribution of pits in AA7075 alloys," *Corrosion Science*, vol. 50, pp. 2895–2901, 2008.
- [24] W. Tian, S. Li, B. Wang, J. Liu and M. Yu, "Pitting corrosion of naturally aged AA7075 aluminum alloys with bimodal grain size," *Corrosion Science*, vol. 113, pp. 1–16, 2016.
- [25] M. Navaser and M. Atapour, "Effect of friction stir processing on pitting corrosion and intergranular attack of 7075 aluminum alloy," *Journal of Materials Science Technology*, vol. 33, pp.155–165, 2017.
- [26] W. Tian, S. Li, X. Chen, J. Liu and M. Yu, "Intergranular corrosion of spark plasma sintering assembled bimodal grain sized AA7075 aluminum alloys," *Corrosion Science*, vol.107, pp. 211–224, 2016.
- [27] L. Domingues, J. C. S. Fernandes, M. D. Belo, M. G. S. Ferreira and L. Guerra-Rosa, "Anodising of Al 2024-T3 in a modified sulphuric acid/boric acid bath for aeronautical applications," *Corrosion Science*, vol. 45, pp. 149–160, 2003.
- [28] S. S. Golru, M. M. Attar and B. Ramezanzadeh, "Effects of different surface cleaning procedures on the superficial morphology and the adhesive strength of epoxy coating on aluminium alloy 1050," *Progress in Organic Coatings*, vol. 87, pp. 52–60, 2015a.
- [29] H. Gerengi, "Anticorrosive properties of Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit juice on 7075 type aluminum alloy in 3.5% NaCl solution," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 51, pp. 12835–12843, 2012.
- [30] O. L. Riggs, *Corrosion Inhibitors*, 2nd ed. C.C. Nathan, Houston, TX., 1973
- [31] E. S. M. Sherif and A. H. Ahmed, "Synthesizing new hydrazone derivatives and studying their effects on the inhibition of copper corrosion in sodium chloride

- solutions,” *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano- Metal Chemistry*, vol. 40, pp. 365–372, 2010.
- [32] E. S. M. Sherif, R. M. Erasmus and J. D. Comins, “Corrosion of copper in aerated acidic pickling solutions and its inhibition by 3-amino-1,2,4-triazole-5-thiol,” *Journal of Colloid Interface Science.*, vol. 306, pp. 96–104, 2007.
- [33] J. J. McEwan, *Corrosion control in Southern Africa*, 2nd Ed., Corrosion Institute of South Africa, 2004.
- [34] E. S. M. Sherif and S. M. Park, “2-Amino-5-ethyl-1,3,4-thiadiazole as a corrosion inhibitor for copper in 3.0% NaCl solutions,” *Corrosion Science*, vol. 48, pp. 4065–4079, 2006.
- [35] B. Sanyal, “Organic compounds as corrosion inhibitors in different environmentsda review,” *Progress in Organic Coatings*, vol. 9, pp. 165–236, 1981.
- [36] M. A. Khalifa, M. El-Batouti, F. Mahgoub and A. B. Aknish, “Corrosion inhibition of steel in crude oil storage tanks,” *Materials and Corrosion*, vol. 54, pp. 251– 258, 2003.
- [37] H. Gerengi and G. Bereket, “Adsorption and inhibition effect of benzotriazole on brass-118 and brass-MM55 in seawater,” *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, vol. 48, pp. 361, 2012.
- [38] H. Gerengi and H. I. Şahin, “Schinopsis lorentzii extract as a green corrosion inhibitor for low carbon steel in 1 M HCl solution,” *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 51, pp. 780, 2012.
- [39] H. Gerengi, K. Schaefer and H. I. Şahin, “Corrosion-inhibiting effect of Mimosa extract on brass-MM55 corrosion in 0.5 M H₂SO₄ acidic media,” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 18, pp. 2204, 2012.
- [40] K. F. Khaled and M. M. Al-Qahtani “The inhibitive effect of some tetrazole derivatives towards Al corrosion in acid solution: chemical, electrochemical and theoretical studies,” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 113, pp. 150–158, 2009.
- [41] Q. B Zhang and Y. X. Hua, “Corrosion inhibition of aluminum in hydrochloric acid solution by alkylimidazolium ionic liquids,” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 119, pp. 57–64, 2010.
- [42] I. B Obot, N. O Obi-Egbedi and S. A. Umoren, “Antifungal drugs as corrosion inhibitors for aluminium in 0.1 M HCl,” *Corrosion Science*, vol. 5, pp. 1868– 1875, 2008.
- [43] V. Eswaramoorthi, S. Jagadeesan, S. Palanisamy, P. Kandhasamy and S. Chitra, "Soya bean oil based polyurethanes for corrosion inhibition of mild steel in acid medium," *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 30, pp. 468-493, 2015.
- [44] H. Konno, S. Kobayashi and M. Nagayama, “The hydration of barrier oxide films on aluminium and its inhibition by chromate and phosphate ions,” *Corrosion Science*, vol. 22, pp. 913–923, 1982.
- [45] M. W. Kending and R. G. Buchheit, “Corrosion inhibition of aluminum and aluminum alloys by soluble chromates, chromate coatings, and chromate-free coatings,” *Corrosion (NACE)*, vol. 59, pp. 379–400, 2003.

- [46] W. D. Robertson, "Molybdate and tungstate as corrosion inhibitors and the mechanism of inhibition," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 98, pp. 94–100, 1951.
- [47] H. Otmacic, J. Telegdi, K. Papp and E. Stupnisek-Lisac, "Protective properties of an inhibitor layer formed on copper in neutral chloride solution," *Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 34, pp. 545–550, 2004.
- [48] M. Santambrogio, G. Perrucci, M. Trueba, S. P. Trasatti and M. P. Casaletto, "Effect of major degradation products of ethylene glycol aqueous solutions on steel corrosion," *Electrochimica Acta*, vol. 203, pp. 439–450, 2016.
- [49] J. E. Bailey. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. New York: VCH, 2003.
- [50] H. Medhashree and A. N. Shetty, "Electrochemical corrosion study of Mg–Al–Zn–Mn alloy in aqueous ethylene glycol containing chloride ions," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 6, pp. 40–49, 2017.
- [51] L. Y. Xu and Y. F. Cheng, "Electrochemical characterization and CFD simulation of flow-assisted corrosion of aluminum alloy in ethylene glycol-water solution," *Corrosion Science*, vol. 50, pp. 2094–2100, 2008.
- [52] A. M. Fekry and M. Z. Fatayerji, "Electrochemical corrosion behavior of AZ91D alloy in ethylene glycol," *Electrochimica Acta*, vol. 54, pp. 6522–6528, 2009.
- [53] W. Yu, D. France and J. Routbort, Pressure Drop, Heat Transfer, Critical Heat Flux, and Flow Stability of Two-Phase Flow Boiling of Water and Ethylene Glycol/Water Mixtures—Final Report for Project, 2011.
- [54] Y. Liu and Y.F. Cheng, "Characterization of passivity and pitting corrosion of 3003 aluminum alloy in ethylene glycol–water solutions," *Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 41, pp. 151–159, 2011.
- [55] M. M. Solomon and S. A. Umoren, "Performance evaluation of poly (methacrylic acid) as corrosion inhibitor in the presence of iodide ions for mild steel in H₂SO₄ solution," *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 29, pp. 1060–1080, 2015.
- [56] M.M. Solomon, S.A. Umoren, I.I. Udosoro, and A.P. Udoh, "Inhibitive and adsorption behaviour of carboxymethyl cellulose on mild steel corrosion in sulphuric acid solution," *Corrosion Science*, vol. 52, pp. 1317–1325, 2010.
- [57] Szlarska-Smialowska Z. "Crevice corrosion of stainless steels in sodium chloride solution," *Corrosion Science*, vol.18, pp. 953–960, 1978.
- [58] L. Tang, M. Guannan, and L. Guangheng, "The effect of neutral red on the corrosion inhibition of cold-rolled steel in 1 M HCl acid," *Corrosion science*, vol. 45, pp. 2251–2262, 2003.
- [59] S. Shabanian, F. Ashrafizadeh, N. Saeidi and A. Ashrafi, "Failure analysis of carbon steel components in a water bath heater and the influence of ethylene glycol concentration," *Engineering Failure Analysis*, vol. 66, pp. 533–543, 2016.
- [60] I. Danaee, M. N. Khomami and A. A. Attar, "Corrosion behavior of AISI 4130 steel alloy in ethylene glycolwater mixture in presence of molybdate," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 135, pp.658–667, 2012.

- [61] L. Niu and Y. F. Cheng, "Synergistic effects of fluid flow and sand particles on erosion–corrosion of aluminum in ethylene glycol–water solutions," *Wear*, vol. 265, pp. 367-374, 2008.
- [62] O. K. Abiola and J. O. E. Otaigbe, "Effect of common water contaminants on the corrosion of aluminium alloys in ethylene glycol–water solution," *Corrosion Science*, vol. 50, pp. 242-247, 2008.
- [63] L. Y. Xu and Y. F. Cheng, "Effect of fluid hydrodynamics on flow-assisted corrosion of aluminum alloy in ethylene glycol–water solution studied by a microelectrode technique," *Corrosion Science*, vol. 51, pp. 2330-2335, 2009.
- [64] M. N. Khomami, I. Danaee, A. A. Attar and M. Peykari, "Corrosion of alloy steel in 30% ethylene glycol solution and CrO₄²⁻ under hydrodynamic condition," *Journal Of Iron And Steel Research International*, vol. 20, pp. 82-87, 2013.
- [65] H. Medhashree and A. N. Shetty. "Electrochemical corrosion study of Mg–Al–Zn–Mn alloy in aqueous ethylene glycol containing chloride ions," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 6, pp. 40–49, 2017.
- [66] G. A. Zhang, L. Y. Xu and Y. F. Cheng, "Mechanistic aspects of electrochemical corrosion of aluminum alloy in ethylene glycol–water solution," *Electrochimica Acta*, vol. 53, pp. 8245–8252, 2008.
- [67] D. Wang, D. Zhang, K. Lee and L. Gao, "Performance of AA5052 alloy anode in alkaline ethylene glycol electrolyte with dicarboxylic acids additives for aluminium-air batteries," *Journal of Power Sources*, vol. 297, pp. 464-471, 2015.
- [68] J. Zaharieva, M. Milanova, M. Mitov, L. Lutom, S. Manev and D. Todorovsky, "Corrosion of aluminium and aluminium alloy in ethylene glycol–water mixtures," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 470, pp. 397–403, 2009.
- [69] I. Danaee, M. N. Khomami and A. A. Attar, "Corrosion of AISI 4130 steel alloy under hydrodynamic condition in ethylene glycol + water + NO₂⁻ solution," *Journal of Materials Science & Technology*, vol. 29, pp. 89-96, 2013.
- [70] M. Stern and A. L. Geary, "Electrochemical polarization: I. a theoretical analysis of the shape of polarization curves," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 104, pp. 56-63, 1957.
- [71] S. Nagarajan, M. Karthega, and N. Rajendran, "Pitting corrosion studies of super austenitic stainless steels in natural seawater using dynamic electrochemical impedance spectroscopy," *Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 37, pp. 195–201, 2017.
- [72] H. Gerengi, Y. Kocak, A. Jazdzewska, M. Kurtay, and H. Durgun, "Electrochemical investigations on the corrosion behaviour of reinforcing steel in diatomite- and zeolite-containing concrete exposed to sulphuric acid," *Construction and Building Materials*, vol. 49, pp. 471–477, 2013.
- [73] P. Slepiski, K. Darowicki and K. Andrearczyk. "On-line measurement of cell impedance during charging and discharging process," *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 633, pp. 121–126, 2009.
- [74] J. Orlikowski and K. Darowicki, "Investigations of pitting corrosion of magnesium by means of DEIS and acoustic emission," *Electrochimica Acta*, vol. 56, pp. 7880-7884, 2011.

- [75] A. Jazdzewska, K. Darowicki, and J. Orlikowski, "Development of dynamic method for evaluation of corrosion rate on the example of organic corrosion inhibitor," 14. Uluslararası Korozyon Sempozyumu, Bayburt, Türkiye, 2016, ss. 59-67.
- [76] K. Darowicki, P. Slepiski, M. Szocinski, "Application of the dynamic EIS to investigation of transport within organic coatings," *Progress in Organic Coatings*, vol. 52, pp.306–310, 2005.
- [77] C. Verma, M. A. Quraishi, E. E. Ebenso, I. B. Ibot and A. El Assyry, "3-Amino alkylated indoles as corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl: Experimental and theoretical studies," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 219, pp. 647–660, 2016.
- [78] M. Kurtay, "İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum alaşımlarında asit yağmurlarının etkisiyle oluşan korozyonun incelenmesi", Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2014.
- [79] N. Chaubey, Savita, V. K. Singh and M. A. Quraishi, "Corrosion inhibition performance of different bark extracts on aluminium in alkaline solution," *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, vol. 22, pp. 38–44, 2017.
- [80] M. M. Solomon, H. Gerengi, T. Kaya, E. Kaya and S. A. Umoren, "Synergistic inhibition of St37 steel corrosion in 15% H₂SO₄ solution by chitosan and iodide ion additives," *Cellulose*, vol. 24, pp. 931–950, 2017.
- [81] N. Yilmaz, A. Fitoz, U. Ergun and K. C. Emregul, "A combined electrochemical and theoretical study into the effect of 2-((thiazole-2-ylimino) methyl) phenol as a corrosion inhibitor for mild steel in a highly acidic environment," *Corrosion Science*, vol. 111, pp. 110–120, 2016.
- [82] M. K. Awad, M. S. Metwally, S. A. Soliman, A. A. El-Zomrawy and M. A. Bedair, "Experimental and quantum chemical studies of the effect of poly ethylene glycol as corrosion inhibitors of aluminum surface," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 20, pp. 796–808, 2014.
- [83] M. M. Solomon, H. Gerengi and S. A. Umoren, "Carboxymethyl cellulose/silver nanoparticles composite: Synthesis, characterization and application as a benign corrosion inhibitor for St37 steel in 15% H₂SO₄ medium," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 9, pp. 6376–6389, 2017.
- [84] S. A. Umoren, M. M. Solomon, U. M. Eduok, I. B. Obot and A. U. Israel, "Inhibition of mild steel corrosion in H₂SO₄ solution by coconut coir dust extract obtained from different solvent systems and synergistic effect of iodide ions: Ethanol and acetone extracts," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 2, pp. 1048–1060, 2014.
- [85] K. C. Emregul and O. Atakol, "Corrosion inhibition of iron in 1 M HCl solution with Schiff base compounds and derivatives," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 83, pp. 373-379, 2004.
- [86] Y. Sasikumar, A. S. Adekunle, L. O. Olasunkanmi, I. Bahadur, R. Baskar, M. M. Kabanda, I. B. Obot and E. E. Ebenso, "Experimental, quantum chemical and Monte Carlo simulation studies on the corrosion inhibition of some alkyl imidazolium ionic liquids containing tetrafluoroborate anion on mild steel in acidic medium," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 211, pp. 105–118, 2015.

- [87] H. Gerengi, K. Darowicki, P. Slepiski, G. Bereket and J. Ryl, "Investigation effect of benzotriazole on the corrosion of brass-MM55 alloy in artificial seawater by dynamic EIS," *Journal of Solid State Electrochemistry*, vol. 14, pp. 897-902, 2010.
- [88] J. Liu, D. Wang, L. Gao and D. Zhang, "Synergism between cerium nitrate and sodiumdodecylbenzenesulfonate on corrosion of AA5052 aluminium alloy in 3 wt.% NaCl solution," *Applied Surface Science*, vol. 389, pp. 369–377, 2016.
- [89] D. Wang, D. Yang, D. Zhang, K. Li, L. Gao and T. Lin, "Electrochemical and DFT studies of quinoline derivatives on corrosioninhibition of AA5052 aluminium alloy in NaCl solution," *Applied Surface Science*, vol. 357, pp. 2176–2183, 2015.
- [90] D. Wang, L. Gao, D. Zhang, D. Yang, H. Wang and T. Lin, "Experimental and theoretical investigation on corrosion inhibition of AA5052 aluminium alloy by L-cysteine in alkaline solution," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 169, pp. 142-151, 2016.
- [91] E. S. M. Sherif, "Effects of 3-Amino-1, 2, 4-triazole-5-thiol on the inhibition of pure aluminum corrosion in aerated stagnant 3.5 wt.% NaCl solution as a corrosion inhibitor," *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 7, pp. 4847–4859, 2012.
- [92] M. M. Solomon, H. Gerengi, T. Kaya and S. A. Umoren, "Enhanced corrosion inhibition effect of chitosan for St37 in 15% H₂SO₄ environment by silver nanoparticles," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 104, pp. 638-649, 2017.
- [93] M. Fgsgar, B. Petovar, K. Xhanar and U. Maver, "The corrosion inhibition of certain azoles on steel in chloride media: Electrochemistry and surface analysis," *Corrosion Science*, vol. 111, pp. 370–381, 2016.
- [94] L. L. Shreir, R. A. Jarman, and G. T. Burstein, *Corrosion Control*. Planta Tree, Oxford, United Kingdom, 1994, pp. 2960.
- [95] M. M. Solomon and S. A. Umoren, "Performance evaluation of poly (methacrylic acid) as corrosion inhibitor in the presence of iodide ions for mild steel in H₂SO₄ solution," *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 29, pp. 1060-1080, 2015.
- [96] M. A. Migahed, H. M. Mohammed and A. M. Al-Sabagh, "Corrosion inhibition of H-11 type carbon steel in 1 M hydrochloric acid solution by N-propyl amino lauryl amide and its ethoxylated derivatives," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 80, pp. 169-175, 2003.
- [97] A. A. A. Azim, L. A. Shalaby and H. Abbas, "Mechanism of the corrosion inhibition of Zn anode in NaOH by gelatine and some inorganic anions," *Corrosion Science*, vol.14, pp.21-24, 1974.
- [98] H. Gerengi, I. Uygur, M. Solomon, M. Yildiz, and H. Goksu, "Evaluation of the inhibitive effect of diospyros kaki (Persimmon) leaves extract on St37 steel corrosion in acid medium," *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 4, pp. 57–66, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Fatima Erman BAĞCI
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.10.1978/ BURSA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : fatimaerman16@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Kimya	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Kimya	Osmangazi Üniversitesi	2000
Lise	Türkçe-Matematik	Bursa Atatürk Lisesi	1995

SCI yayınlar:

1. H. Gerengi, M. M. Solomon, E. Kaya, F. E. Bağcı, E. J. Abai, “An evaluation of the anticorrosion effect of ethylene glycol for AA7075-T6 alloy in 3.5% NaCl solution”, *Measurement*, vol. 116, pp. 264-272, 2018.

Görev Aldığı Projeler:

1. Duzce University, Scientific Research Projects (BAP), “Determination of the Potential Usage of Ethylene Glycol as a Corrosion Inhibitor in 3.5% NaCl environment” (Project No: 2017.06.05.565).