



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

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İNŞAAT SEKTÖRÜNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM
ALAŞIMLARINDA ASİT YAĞMURLARININ ETKİSİYLE OLUŞAN
KOROZYONUN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİNE KURTAY

NİSAN 2014

DÜZCE

KABUL VE ONAY BELGESİ

Mine KURTAY tarafından hazırlanan “İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum alaşımlarında asit yağmurlarının etkisiyle oluşan korozyonun incelenmesi” isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 14.04.2014 tarih ve 2014/433 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye
(Tez Danışmanı)
Doç.Dr. Hüsnü GERENGİ
Düzce Üniversitesi

Üye
Prof.Dr. Gözen BEREKET
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Üye
Doç.Dr. Serkan SUBAŞI
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih : 25.04.2014

ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Mine KURTAY’ın İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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 Nisan 2014

Mine KURTAY

Sevgili Aileme

TEŞEKKÜR

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

Deneysel çalışmalarımızda bize yön veren saygıdeğer hocamız Prof.Dr. Gözen BEREKET'e, bize cihaz ve yazılım desteği sağlayan Dr. Pawel SLEPSKI'ye, deneyler esnasında 6 ay beraber çalıştığımız değerli arkadaşım Agata JAZDZEWSKA'ya çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince ilgi ve içtenliği ile beni destekleyen Sayın Yrd. Doç.Dr. Gümüş Funda GÖKÇE ve Sayın Dr. Haydar GÖKSU'ya sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı iletirim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Çağlar AKÇAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

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

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2013.26.4.208 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ve TUBİTAK BİDEP 2224/Temmuz 2013 ile desteklenmiş ve Kaynaşlı Meslek Yüksekokulu Korozyon Araştırma Laboratuvarında yürütülmüştür.

25 Nisan 2014

Mine KURTAY

TEŞEKKÜR SAYFASI	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ	IV
ÇİZELGE LİSTESİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	VII
ÖZET	1
ABSTRACT	2
EXTENDED ABSTRACT	3
1.GİRİŞ.....	6
1.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	10
1.2. ALÜMİNYUM	12
1.3. ASİT YAĞMURLARI.....	14
1.4. KOROZYON.....	15
1.4.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Korozyonu.....	17
2.MATERYAL VE YÖNTEM	19
2.1. MATERYAL	19
2.1.1. Çalışma Elektrotlarının Hazırlanması	19
2.1.2. Yapay Asit Yağmurunun Hazırlanması	20
2.1.3. Kullanılan Makine-Teçhizatlar	20
2.1.4. Deneylerin Yapılışı	20
2.2. YÖNTEM	23
2.2.1. Kullanılan Korozyon Belirleme Yöntemleri	23
2.1.1.1. Lineer Polarizasyon Yöntemi (LP)	23
2.1.1.2. Tafel Ekstra Polarizasyon Yöntemi (TP)	24
2.1.1.3. Elektokimyasal Empedans Spektroskopisi Yöntemi (EIS)	25
2.1.1.4. Elektokimyasal Empedans Spektroskopisi Yöntemi (DEIS)	26

3. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
3.1. YAPAY ASİT YAĞMURU ÇÖZELTİSİNDE AA6060 VE AA6082 ALAŞIMLARININ KOROZYON ETKİSİNİN LP YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ	28
3.2. YAPAY ASİT YAĞMURU ÇÖZELTİSİNDE AA6060 VE AA6082 ALAŞIMLARININ KOROZYON ETKİSİNİN TP YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ	29
3.3. YAPAY ASİT YAĞMURU ÇÖZELTİSİNDE AA6060 VE AA6082 ALAŞIMLARININ KOROZYON ETKİSİNİN EIS YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ	31
3.4. YAPAY ASİT YAĞMURU ÇÖZELTİSİNDE AA6060 VE AA6082 ALAŞIMLARININ KOROZYON ETKİSİNİN DEIS YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ	36
3.4.1. Alüminyum 6060 ve 6082 Alaşımlarının 3 Saat Yapay Asit Yağmuru Çözeltisinde Korozyon Davranışının DEIS Yöntemiyle Belirlenmesi.....	37
3.4.2. Alüminyum 6060 ve 6082 Alaşımlarının 48 Saat Yapay Asit Yağmuru Çözeltisinde Korozyon Davranışının DEIS Yöntemiyle Belirlenmesi.....	43
3.5. YAPAY ASİT YAĞMURU ÇÖZELTİSİNDE AA6060 VE AA6082 ALAŞIMLARININ SEM ve AFM ANALİZLERİ	47
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
5. KAYNAKLAR.....	55
6. EKLER.....	61
6.1. BU TEZDEN YAPILAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR	61
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>	
Şekil 1.1.	Asit yağmurunun oluşum mekanizması.	6
Şekil 1.2.	Alüminyum dış cephe giydirme sistemlerine örnekler.	8
Şekil 1.3.	Alüminyum metalinin kullanım alanları.	9
Şekil 1.4.	Alüminyum alaşım elementleri.	13
Şekil 1.5.	Alüminyum malzeme ve imalat çeliğinin karşılaştırmalı atmosferlerde korozyon durumu.	17
Şekil 1.6.	Alüminyum metalinin yüzeyinde oluşan Al_2O_3 tabakası.	18
Şekil 2.1.	Deneyde kullanılan elektrotların hazırlanış şekli.	19
Şekil 2.2.	Çalışma elektrotları, Pt elektrot ve Ag/AgCl Referans elektrot.	21
Şekil 2.3.	Deney düzeneğinin görünümü [(1) Çalışma elektrodu, (2) Ag/AgCl referans elektrot, (3) Pt Elektrot].	21
Şekil 2.4.	DEIS deney düzeneği [(1) Ag/AgCl referans elektrot, (2) Çalışma elektrodu, (3) Pt Elektrot].	22
Şekil 2.5.	Kullanılan elektrokimyasal korozyon ölçme yöntemleri.	23
Şekil 2.6.	Korozyon akımı ve korozyon potansiyelinin TP yöntemi ile hesaplanması.	24
Şekil 2.7.	Z_{im} ve Z_{Re} arasındaki ilişkiden Empedansın (Z) bulunması.	25
Şekil 2.8.	DEIS deney düzeneği.	27
Şekil 3.1.	AA6060 ve AA6082 alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen LP eğrileri.	29
Şekil 3.2.	AA6060 ve AA6082 alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen TP eğrileri.	30
Şekil 3.3.	Yapay asit yağmuru çözeltisinde AA6060 ve AA6082 metallerinin korozyonuna dair Nyquist diyagramları.	31
Şekil 3.4.	R(QR) devresi.	32
Şekil 3.5.	AA6060 metalinin yapay asit yağmuru çözeltisinde korozyonuna dair Nyquist diyagramının R(QR) devresiyle eşleştirilmesi.	33
Şekil 3.6.	AA6082 metalinin yapay asit yağmuru çözeltisinde korozyonuna dair Nyquist diyagramının R(QR) devresiyle eşleştirilmesi.	33
Şekil 3.7.	AA6060 metalinin yapay asit yağmuru çözeltisinde korozyonuna dair Bode diyagramının R(QR) devresiyle eşleştirilmesi.	34
Şekil 3.8.	AA6082 metalinin yapay asit yağmuru çözeltisinde korozyonuna dair Bode diyagramının R(QR) devresiyle eşleştirilmesi.	34
Şekil 3.9.	DEIS analizlerinin iş planı akışı.	36
Şekil 3.10.	2 saat saf suda bekletildikten sonra asit yağmuruna maruz kalan AA6060 alaşımının DEIS sonucunun 3D gösterimi.	37
Şekil 3.11.	2 saat saf suda bekletildikten sonra asit yağmuruna maruz kalan AA6082 alaşımının DEIS sonucunun 3D gösterimi.	38
Şekil 3.12.	AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 5 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı potansiyel değişim grafiğinin gösterimi.	39

Şekil 3.13.	AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 5 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı yüzey pürüzlülüklerini (n parametresi) gösterimi.	40
Şekil 3.14.	AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 5 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı Q grafiğinin gösterimi.	41
Şekil 3.15.	AA6060 alaşımının 5 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı direnç grafiğinin gösterimi.	42
Şekil 3.16.	AA6082 alaşımının 5 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı direnç grafiğinin gösterimi.	42
Şekil 3.17.	48 saat asit yağmuruna maruz kalan 6060 alüminyum alaşımının DEIS sonucunun 3D gösterimi.	44
Şekil 3.18.	48 saat asit yağmuruna maruz kalan 6082 alüminyum alaşımının DEIS sonucunun 3D gösterimi.	44
Şekil 3.19.	AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 48 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı potansiyel değişim grafiğinin gösterimi.	45
Şekil 3.20.	AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 48 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı Q grafiğinin gösterimi.	46
Şekil 3.21.	AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 48 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı R_{ct} grafiğinin gösterimi.	47
Şekil 3.22.	SEM ve AFM analizlerinin iş planı akışı.	48
Şekil 3.23.	AA6060 alaşımının DEIS yöntemi sonucu elde edilen SEM görüntüleri.	49
Şekil 3.24.	AA6082 alaşımının DEIS yöntemi sonucu elde edilen SEM görüntüleri.	50
Şekil 3.25.	AA6060 metale ait DEIS yöntemi sonrası elde edilen AFM analizleri.	51
Şekil 3.26.	AA6082 metale ait DEIS yöntemi sonrası elde edilen AFM analizleri.	52

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Otobandan ve D-100 karayolundan geçen haftalık ortalama araç sayıları.	7
Çizelge 1.2. Karadeniz Bölgesindeki illerde Kükürt dioksit (SO ₂) ve Partikül Madde (PM ₁₀) açısından mevcut kirlilik durumu.	8
Çizelge 1.3. Alüminyum ve alaşımlarının uygulama alanları.	12
Çizelge 2.1. AA6060 ve AA6082 alaşımların kimyasal bileşimi (wt. %).	19
Çizelge 2.2. Asit yağmuru çözeltisinin kimyasal analizi.	20
Çizelge 3.1. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen LP deney verileri.	28
Çizelge 3.2. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen TP deney verileri.	30
Çizelge 3.3. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen EIS deney verileri.	35
Çizelge 3.4. “n” değerinin EIS yöntemindeki anlamı.	35
Çizelge 3.5. 5 saat sonunda DEIS yöntemi ile elde edilen veriler.	39
Çizelge 3.6. 48 saat sonunda DEIS yöntemi ile elde edilen veriler.	43
Çizelge 3.7. AFM analiz sonuçları.	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Ω	Ohm
β_a	Anodik Tafel Sabiti (mv/dec)
β_c	Katodik Tafel Sabiti (mv/dec)
μA	Mikroamper
μm	Mikrometre
mV	Milivolt
MPY	Mili Per Year
n	Pürüzlülük
nm	Nanometre
E_{corr}	Korozyon Potansiyeli
I_{corr}	Korozyon Akım Yoğunluğu ($\mu A/cm^2$)
DEIS	Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
EIS	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
LP	Lineer Polarizasyon
TP	Tafel Polarizasyon
AFM	Atomik Kütle Mikroskobu
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
GMSH	Gayri Safi Millî Hasıla
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
R_a	Ortalama Pürüzlülük (μm)
R_z	10 Noktanın Ortalama Pürüzlülüğü (μm)
R_{ct}	Şarj 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

ÖZET

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA ASİT YAĞMURLARININ ETKİSİYLE OLUŞAN KOROZYONUN İNCELENMESİ

Mine KURTAY

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hüsnu GERENGİ

Nisan 2014, 63 sayfa

Korozyon kavramı, metal ve alaşımlarının çevreleri ile kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonları sonucu bozulmalarını tanımlamak için kullanılır. Alüminyum, oksidasyona karşı üstün direnci ile tanınır. Bu direncin temelinde pasivasyon özelliği yatar. Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında alüminyum kullanılmaktadır. Özellikle, alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayinde geniş kullanım alanı bulur.

Yapı cephesini tümüyle saran, giydiren ve alüminyum doğrama profilleri kullanılarak oluşturulan konstrüksiyona, alüminyum giydirme cephe adı verilmektedir. Alüminyum giydirme cephe sistemleri; hafifliği ile yapıya az yük binmesini sağlayan özellikleri ile inşaat sektöründe kullanımı her geçen gün artan bir uygulamadır.

Ancak, sanayi ve ulaşım araçlarının yoğun olarak geçtiği bölgelerde hava kalitesinde meydana gelen değişiklikler nedeniyle bu yapıların korozyona uğradığı bilinmektedir. Bu çalışma ile yapay asit yağmuruna maruz kalan alüminyum dış cephe giydirme sistemlerinde kullanılan 6060 ve 6082 alüminyum alaşımlarında meydana gelen korozyon, korozyon ölçüm metotlarından Tafel polarizasyon (TP), Lineer Polarizasyon (LP), Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve daha önce böyle bir sistemde hiç uygulaması olmayan Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemleri kullanılarak belirlenmiş, yöntemlere bağlı elde edilen sonuçlar mukayese edilerek tartışılmıştır. Deney sonuçları SEM ve AFM analizleriyle desteklenmiştir. Deney sonuçları, yapay asit yağmuru çözeltisinde AA6060 metalinin korozyon dayanıklılığının AA6082 metaline göre daha fazla olduğunu göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Alüminyum, Korozyon, Yapay Asit Yağmuru

ABSTRACT

EXAMINATION OF CORROSION CAUSED BY EFFECTS OF ACID RAINS IN ALUMINUM ALLOYS USED IN CONSTRUCTION SECTOR

Mine KURTAY

Duzce University

Institute of Science, Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Husnu GERENGI

April 2014, 63 pages

The concept of corrosion is used to define the degradation of metal and alloys as a result of their chemical and electrochemical reactions with their ambient. Aluminum is known for its superior resistance to oxidation. The property of passivation underlies this resistance. Aluminum is used in production of numerous products in many branches of industry. Aluminum structural components find a wide usage area in the transportation and construction industry requiring light weight and high strength characteristics.

The construction encompassing the building frontage completely, cladding and formed by using aluminum joinery profiles is called as aluminum curtain wall. Aluminum curtain walling systems are an application which has been increasingly used every passing day in the construction sector since they are light weight and so enable to put lower load on the building.

However, it is well known that these buildings are corroded due to changes in the air quality in the regions where industrial and transportation means are intensely observed. In this study, the corrosion formed in 6060 and 6082 aluminum alloys, which are used for aluminum exterior cladding systems exposed to artificial acid rain, is determined by using Tafel polarization (TP), Linear Polarization (LP), Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) and Dynamic Electrochemical Impedance Spectroscopy (DEIS) methods, which has never been applied in such system before, among corrosion measurement methods and results obtained based on methods were compared and discussed. Experimental results were supported with SEM and AFM analysis. Experimental results revealed that the corrosion resistance of AA6060 metal in the artificial acid rain solution was higher compared to AA6082 metal.

Keywords: Aluminum, Corrosion, Simulated Acid Rain

EXTENDED ABSTRACT

EXAMINATION OF CORROSION CAUSED BY EFFECTS OF ACID RAINS IN ALUMINUM ALLOYS USED IN CONSTRUCTION SECTOR

Mine KURTAY
Duzce University
Institute of Science, Department of Civil Engineering
Master of Science Thesis
Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Husnu GERENGI
April 2014, 63 pages

1. INTRODUCTION:

Aluminum used to in the automobiles, food handling, building, heat exchange, and electrical transmission due to have low density, high ductility, high thermal, and electrical conductivity, good corrosion resistance, attractive appearance. Aluminum is alloyed for increase corrosion resistance.

AlMgSi (6000-series) alloys are generally regarded as corrosion resistant. These alloys are usually exposed to outdoor atmosphere without protection due to the formation of an oxide (passive) film, which naturally develops on the alloy surface under normal atmospheric conditions. The oxide film formed on the aluminum alloy surface is non-uniform, thin and non-coherent. Therefore, it imparts a certain level of protection under normal conditions. However, it is in industrial and marine environments that corrosion occurs quite rapidly due to the highly corrosive nature of airborne pollutants.

It is well known that pollution increases rapidly due to industrialization, population explosion, deforestation, vehicular exhaust, and by the burning of fossils fuels, which contain nitrogen, sulfur and carbon. Sulfur, nitrogen, and carbon do not undergo complete combustion, which evolves in atmosphere and reacts with atmospheric oxygen converted to oxides of nitrogen, oxides of sulfur, and oxides of carbon (NO_x , SO_x , CO_x).

In the present study, the influence of Al content on the corrosion behavior of 6000-series aluminum alloys in pure water and artificial acid rain was investigated. The corrosion behavior of AA6060 and AA6082 aluminum alloys were investigated using electrochemical techniques such as linear polarization (LP), potentiodynamic polarization (TP), electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and dynamic electrochemical impedance spectroscopy (DEIS) techniques.

2. MATERIAL AND METHODS:

The surface of the working electrode was prepared by grinding with abrasive papers of 400–2000 grades. Then washed with distilled water was placed in the test cell. The aluminum 6060 and 6082 alloys corrosion behavior was investigated using four different methods. Experiments were performed at room temperature.

Electrochemical measurements were carried out in a three electrode type cell with separate compartments for the reference electrode (Ag/AgCl), the counter (Pt) and the working (copper–manganese–aluminum alloy) electrodes with the area of 0.785 cm².

The corrosion behavior of aluminum 6060 and 6082 alloys was investigated corrosion measurement methods with LP, TP, EIS and DEIS in the artificial acid rain. Experiments results were supported with SEM and AFM analysis.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS:

The data obtained as a result of four methods used, corrosion behaviour of aluminum alloys has shown that the parallel in artificial acid rain solution. In order to obtain more qualitative information of the corrosion mechanism, the impedance data were analyzed by using of an electrical equivalent circuit R(QR). Compared to the test results, AA6060 metals the corrosion resistance was found to be higher than AA6082. By SEM photos the aluminum sample's surface appears to be under an aggressive attack of the corroding medium. It was observed that higher numbers of shallow pits formed on AA6060 surface. Distinct from AA6060, AA6082 has bigger pits. The pit morphology, suggests that shape and distribution of pits on aluminum alloy surfaces are related to electrochemical nature of the intermetallic phases.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK:

The results obtained in this study indicate that the types of intermetallic particles in aluminum alloys are important in pit morphology of aluminum alloys. AA6060 and AA6082 have similar corrosion behaviors in pure and artificial acid rain environments. Protection film formed in the absence of acid rain has great importance against corrosion. Compared to the other corrosion measurement methods, this research shows that the DEIS method has a big advantage that gives ability to collect data instantly.

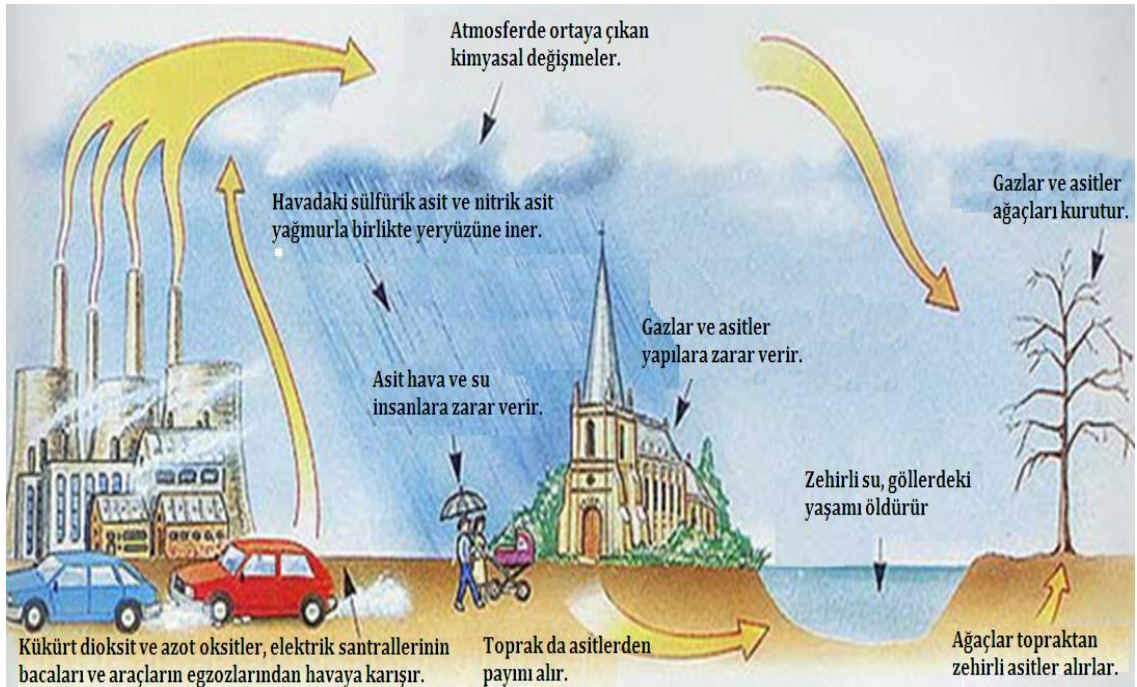
It is understood from the DEIS, SEM and AFM analyses that although the corrosion mechanism that is formed by the effect of acid rain is at approximately same value up to the first 5 hours for AA6060 and AA6082 , both alloys showed a significant difference in terms of the corrosion mechanism especially after 48 hours. Before making large investments; it is revealed that it is required to make long-term corrosion measurements after the short-term analyses (performed after 1 or 2 hours) from which we have obtained general information about the system.

In the data obtained as a result of the corrosion measurement methods applied; it is observed that the corrosion resistance of AA6060 metal in the artificial acid rain solution was higher than AA6082 metal. Based on these results; it is recommended that it is better to use AA6060 metal in aluminum curtain walling systems because of having higher corrosion resistance.

1. GİRİŞ

Metal ve alaşımlarının kullanımı, teknolojinin ilerlemesi ile hemen hemen her alanda artış göstermektedir. Metal kullanımının beraberinde getirdiği korozyon, metallerin buldukları ortamda, elektrokimyasal ya da kimyasal olarak özelliklerini kaybetmesi olayıdır [Gerengi ve Kurtay 2013]. Açık atmosferde bulunan tanklar, depolar, betonarme direkleri, korkuluklar, taşıt araçları, yer altı boru hatları; rafinerilerde, deniz altlarında, fabrikalarda kullanılan birçok makine ekipmanı korozyon olayı ile karşı karşıyadır. Bütün bu yapılar, korozyon olayı ile beklenenden daha kısa sürede servis dışı kalmakta ve büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir [Gerengi ve diğ. 2012]. Metallerin doğada buldukları şekle geri dönme isteklerinden dolayı kaçınılmaz bir şekilde gerçekleşen korozyon, önemli bir sorundur.

Asit yağmuru, doğal ve antropojenik (insan kaynaklı) kaynaklardan gelen kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksit (NO_x) gazlarının bulutlardaki su damlacıkları içinde çözünerek daha sonra yağış olarak yeryüzüne inecek olan bu su kütlelerinin asitliğini artırması sonucu oluşur. Bu gazların atmosferde su, oksijen ve asit özelliğindeki birtakım kimyasallarla tepkimeye girmesi sonucunda sülfürik asit (H_2SO_4) ve nitrik asit (HNO_3) oluşur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Asit yağmurunun oluşum mekanizması.

Ankara-İstanbul güzergâhı üzerinde bulunan Düzce il sınırlarından D-100 karayolu ve otoban geçmektedir. Otobandan haftada ortalama 10773 araç geçmekte iken D-100 karayolunda bu rakam 14441 civarındadır. Bayramlarda ve diğer tatil günlerinde bu sayı yaklaşık 3 kat artmaktadır [Öztürk 2006]. Çizelge 1.1’de otoban ve D-100 karayolundan geçen araçların nitelikleri ve sayıları belirtilmiştir. Bu yoğunluk hava kalitesinde de değişime neden olmuştur. Çizelge 1.2’de görüldüğü üzere yeşilliği ile övündüğümüz Düzce’nin hava kalitesi açısından diğer illere nazaran çok iyi durumda değildir. Düzce, partiküller madde miktarı bakımından (Atmosferde veya bir gaz kütleğinde, molekülden büyük ($>0,0002 \mu\text{m}$) ve $500 \mu\text{m}$ ’den küçük katı veya sıvı halde bulunan maddeler) Karadeniz bölgesinde bulunan iller arasında $119 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri ile 4. sıradadır [Çevre Orman Bakanlığı 2000-2013].

Çizelge 1.1. Otobandan ve D-100 karayolundan geçen haftalık ortalama araç sayıları.

Araçlar /Ort. Araç Sayısı	Otoban	D-100 Karayolu	TOPLAM
Otomobil	4063	6480	10543
Minibüs	1224	3703	4927
Kamyon	2664	1934	4598
Kamyonet	792	905	1697
Tır	1008	884	1892
Otobüs	1022	535	1557
GENEL TOPLAM	10773	14441	25214

Çizelge 1.2. Karadeniz Bölgesindeki illerde Kükürt dioksit (SO₂) ve Partikül Madde (PM₁₀) açısından mevcut kirlilik durumu.

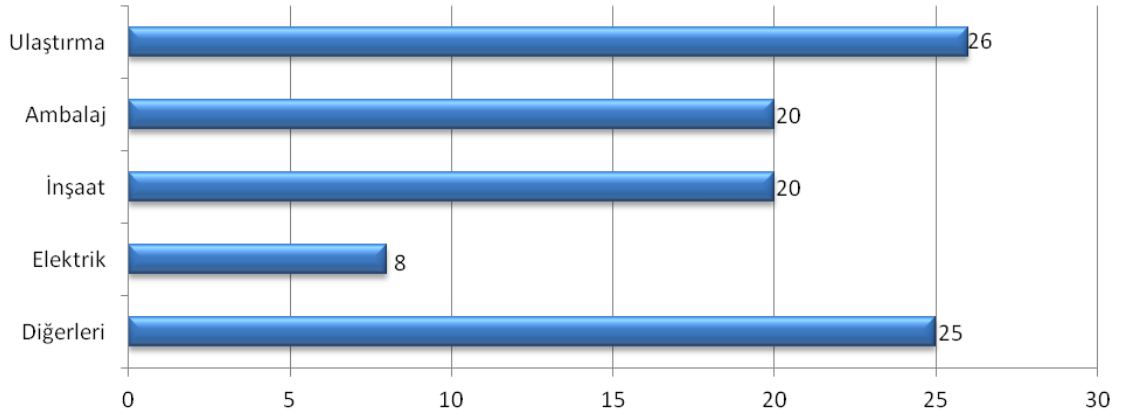
İLLER	SO ₂			PM ₁₀		
	2007-2008 Kış Sezonu Ortalaması (250 µg/m ³)	2008-2009 Kış Sezonu Ortalaması (225 µg/m ³)	2009-2010 Kış Sezonu Ortalaması (200 µg/m ³)	2007-2008 Kış Sezonu Ortalaması (200 µg/m ³)	2008-2009 Kış Sezonu Ortalaması (178 µg/m ³)	2009-2010 Kış Sezonu Ortalaması (156 µg/m ³)
Amasya	50	33	65	82	71	96
Artvin	9	-	13	43	54	31
Bartın	20	-	21	93	-	93
Bayburt	25	41	27	74	52	74
Bolu	77	61	119	123	122	137
Çorum	43	39	28	147	117	138
Düzce	30	-	24	132	-	119
Giresun	10	-	-	23	13	33
Gümüşhane	28	4	9	70	59	63
Karabük	45	41	52	161	150	144
Kastamonu	-	-	19	50	-	75
Ordu	29	-	22	65	-	74
Rize	36	-	33	37	-	81
Samsun	17	42	11	65	57	45

Alüminyum, doğada genellikle boksit cevheri halinde bulunur ve oksidasyona karşı üstün direnci ile tanınır. Bu direncin temelinde pasivasyon özelliği yatar. Endüstrinin pek çok alanında milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır. Alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler uzay ve havacılık sanayi için vazgeçilmezdir. Hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayisinde alüminyumun geniş kullanım alanı bulunmaktadır (Şekil 1.2-1.3). İnşaat sektöründe yılda ortalama, Avrupa’da 1,2 milyon ton, ABD’de 1,05 milyon ton, Japonya’da 915 bin ton alüminyum kullanılmaktadır. Alüminyum döküm parçalarına olan talep son yıllarda dünya genelinde artış göstermiştir [TOBB 2011].



Şekil 1.2. Alüminyum dış cephe giydirme sistemlerine örnekler.

Alüminyumun Kullanım Alanları (%)



Şekil 1.3. Alüminyum metalinin kullanım alanları.

Kişi başına alüminyum tüketimi ABD’de 22 kg/kişi-yıl, OECD ülkelerinde 33 kg/kişi-yıl, dünya ortalamasında ise 3,8 kg/kişi-yıl düzeyindedir. Bu haliyle gelecekte özellikle gelişmekte olan ve gelişmemiş ülkelerin insanları için belirgin bir talep potansiyeli yaratacaklardır [Alan 2008]. ***Bu artış korozyonla mücadelenin önemini ortaya koymaktadır.*** Korozyonun doğurduğu sonuçlar nedeniyle oluşan kayıplar ihmal edilemeyecek kadar büyük değerlerdedir. 1970 yılında ABD’de korozyon kaybı 70 milyar dolar olarak hesaplanmıştır. 1982 yılında bu kayıp 126 milyar dolar seviyesine kadar yükselmiştir [Üneri 1998]. İngiltere devlet korozyon komitesinin yaptığı araştırmaya göre, İngiltere’de yıllık 1365 milyon pound korozyon ve korozyonun neden olduğu ekonomik kayıp söz konusudur [Kenneth 1998]. Ülkemizde 1991 yılı verilerine göre yıllık toplam korozyon kaybı GSMH’nın %4,26’sı kadar olduğu tespit edilmiştir. Aynı yıl için ülkemizdeki önlenabilir korozyon miktarı GSMH’nın % 1,6’sı kadar olduğu belirlenmiştir. Bu küçümsenmeyecek kadar büyük bir orandır [Çakır 2011].

Bu çalışmanın amacı, yapay asit yağmuruna [Ragab ve diğ. 2010, Brunoro ve diğ. 2003] maruz kalan alüminyum dış cephe giydirmelerde kullanılan 6060 ve 6082 alüminyum alaşımlarında [Ulucak 2014] meydana gelen korozyonu, korozyon ölçüm metodlarından Lineer Polarizasyon (LP), Tafel Ekstrapolarizasyon (TP), Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve asit damlatılması ile çalışma elektrotlarında meydana gelen elektrokimyasal değişimleri anlık ölçmeyi başardığımız daha önce böyle bir sistemde hiç uygulaması olmayan Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemlerini kullanarak, her deneyin sonunda SEM

(Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri, AFM (Atomik Kütle Mikroskobu) analizleri yaparak korozyon mekanizmasını aydınlatmaya çalışmak ve çalışma sonunda, endüstride en çok kullanılan alüminyum 6060 ve 6082 alaşımlarından hangisinin dış cephe sistemlerinde kullanılmaya uygun olduğunu belirlemektir.

1.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapay asit yağmurunda alüminyum alaşımlarının korozyon davranışlarına literatürde rastlanmamıştır. Asitler özellikle alüminyum alaşımların yüzeylerinin temizlenmesinde ve metal yüzeyinin hazırlanmasında (pickling) kullanılmaktadır [Onuchukwu ve diğ. 1986]. Alüminyum 2024, 6061 ve 7075 alaşımların sülfürik asit içindeki korozyon davranışları iki farklı konsantrasyondaki nikel asetat, seryum asetat ve itriyum asetat çözeltilerinde, iki farklı sıcaklıkta çalışılmıştır. Aynı alüminyum alaşımlar Boeing firmasının geliştirip uyguladığı Borik Sülfürik Asit Anotsal Koruma (BSAA) yöntemi uygulanarak seyreltik kromat çözeltilisinde araştırılmıştır [Mansfeld ve diğ. 1997]. Ayrıca, sıcak seryum ve iridyum tuzlarının çözeltilerinde alüminyum alaşımlar için BSAA yöntemi ayrıca çalışılmıştır. Soğuk nikel florür çözeltisi, saf su ve seyreltik kromat çözeltileriyle yapılan önceki çalışmalarla bu yöntem kıyaslanmış ve sonuçlar tartışılmıştır [Mansfeld ve diğ. 1998]. Uzay araçlarını kaplamak için kullanılan anodik alüminyum oksit oluşumunu gerçekleştirmek oldukça önemli bir işlemdir. Bu amaçla alüminyum sülfürik asit çözeltilisinde anodizing işlemine tabi tutulmaktadır. Kaplamanın optik özelliklerinin, film kalınlığına ve çeşitli anodizing işlem basamaklarına (parlatma zamanı, oksidasyon potansiyeli, elektrolit sıcaklığı) bağlı olduğu ispatlanmıştır [Luo ve diğ. 2002].

Sülfürik asit içinde alüminyumun anodizing işleminde film kalınlığını inceleyen bilim adamları, oksit kaplı alüminyum elektrotun ısı iletiminde ne kadar verim kaybına neden olduğunu araştırmışlardır [De Graeve ve diğ. 2002, De Graeve ve diğ. 2003]. Sülfürik asitli ortamda oluşan Al_2O_3 anodizing işleminde molibdatın konsantrasyonuna bağlı olarak oluşumu ve korozyon davranışları ayrıca detaylı incelenmiştir [Moutarlier ve diğ. 2003]. Al-Si alaşımlarının anodik oksit kaplamasının korozyon koruma özellikleri potansiyodinamik polarizasyon testleri ile belirlenmiştir [Li ve diğ. 2005, Tsangaraki-Kaplanoglou ve diğ. 2006].

Yapay asit yağmuru etkisinde süperplastik çinko-alüminyum alaşımlarının korozyon davranışı üzerinde alüminyum içeriğinin etkisi araştırılmıştır. Test için ZA4, ZA8, ZA12 ve ZA16 alaşımları 5 gün süreyle aside maruz bırakılmıştır. Dört numune için korozyon oranları sırayla ZA4> ZA8> ZA12> ZA16 olarak belirtilmiş ve Al açısından zengin alaşımların korozyon oranının azaldığı saptanmıştır [Yang ve diğ. 2012].

Kırsal ve kıyı bölgelerde alüminyum yüzeyinde meydana gelen oksit tabaka ve korozyon ürünlerinin etkileri Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve açık devre potansiyeli (OCP) teknikleriyle belirlendikten sonra Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Kırsal atmosferde kompakt, yapışkan oksit tabakası oluşurken, kıyı atmosferde daha gevşek, yapışmayan korozyon ürünlerinin meydana geldiği gözlenmiştir. Kıyı atmosferdeki çukurlaşmaların kırsal atmosferdekilere göre daha fazla olduğu ve zamanla nasıl değiştiği araştırılmıştır [Liu ve diğ. 2014].

Alüminyum alaşımlarının alana maruz bırakma testleri Japonya'da üç yerde yapılmıştır. Meteorolojik veriler, ortam atmosferin çığ noktasının ve alüminyum panellerin kısa bir süre için sabit olduğunu göstermiştir. Alüminyum alaşımlarının atmosferik korozyonu sabit erime noktası aşınma testleri laboratuarda yapılmıştır. Laboratuardaki testlerin 7 gün sonundaki korozyon oranları, korozyon morfolojisi ve korozyon ürünlerinin bileşimi sahil bölgelerinde 3 ay sonra meydana gelenlerle benzer sonuçlar göstermiştir. Sabit çığ noktası korozyon testinin alüminyum alaşımlarının atmosferik korozyonunu etkilediği ve aynı zamanda bunu hızlandırdığı araştırılmıştır [Dana ve diğ. 2011].

Yapay asit yağmuru çözeltilisinde yapılan çalışmada gerilme stres altında yüksek mukavemetli galvanizli çelik tellerin korozyon davranışı, elektrokimyasal polarizasyon ve tuz püskürtme testi (SST) kullanarak araştırılmıştır. Elektrokimyasal polarizasyon ve SST sonuçları korozyon hızının artan çekme stresi ile önemli ölçüde yükseldiğini göstermiştir; hücrel ve dendritik kristaller SST'den sonra pas tabakası üzerinde çıkmış ve beyaz taneler SEM tarafından gözlenmiştir. SST süresince galvanizli çelik teller için üç aşamalı korozyon süreci önerilmiştir [Yang ve diğ. 2012].

1.2. ALÜMİNYUM

Alüminyum, demirden sonra dünyanın en fazla tükettiği ikinci metaldir. Alüminyum hafif bir metal olma özelliği sayesinde sanayide çok geniş bir kullanım alanı bulmakta ve kullanıldığı alanlar yeni teknolojilerin de etkisiyle gün geçtikçe artmaktadır (Çizelge 1.3) [Bardal 2003]. Alüminyumun günümüzde hafif, mukavemetinin ve korozyona karşı direncinin yüksek olması diğer metallere göre daha ekonomik olarak elde edilmesi özellikleri ile uçak, uzay araçları ve otomobil de dahil olmak üzere bütün hava ve kara taşıtlarında, ambalajlarda, yüksek yapılarda estetik ve prestij için tercih edilen giydirme cephe sistemlerinde ve iletkenlik özelliğiyle de elektrik-elektronik sektöründe yaygın şekilde kullanılmaktadır [Trdan ve Grum 2012, Aytaç ve diğ. 2012, Eruysal ve Fertelli 2013, İrtem ve Tığ 2006]. Bunların yanı sıra alüminyum, demir-çelik, kimya ve tarım ürünleri sanayilerinde ve ayrıca, parlak ve şık görüntüsü sebebiyle dekoratif amaçlı süs ve ev eşyaları yapımında da kullanılmaktadır [Eruysal ve Fertelli 2013].

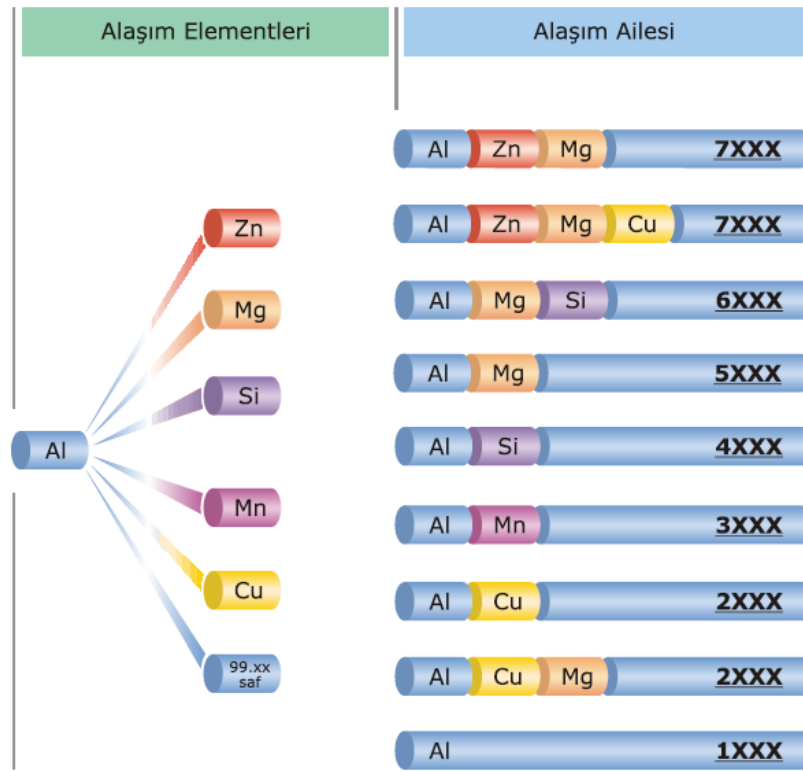
Çizelge 1.3. Alüminyum ve alaşımlarının uygulama alanları.

Uygulama Alanları	Al 99,0	Al 99,5	Al 99,7	AlCu4SiMg	AlCu4Pb2Mg1	AlMg2	AlMg2,5	AlMg4.5Mn	AlMg5	AlSiMg	AlMgSi	AlMn1	AlZn4Mg1
Araçlar													
Bina Yapıları													
Paneller													
Makine Parçaları													
Elektro-Mekanik													
Taşıtlar Ve Aksesuarlar													
Araç-Gereçler													
Makine Yapımı													
Metal Eşyalar													
Mobilya													
Gıda Maddeleri													
Perçinler													
Gemi İnşaatı													
Ambalaj													
İnşaat/ Mimari Yapı													

Düşük özgül ağırlık, elektrik ve ısıyı iyi iletme, yeterli sayılabilecek mekanik dayanım ve iyi plastik şekillendirme kabiliyetine sahip olan alüminyum, değişik korozyon ortamlarda kullanılabilir. Alüminyumun saflık derecesi azaldıkça korozyon mukavemeti düşer. Yabancı elemanlar korozyon mukavemetini azaltır [Aydın ve

Bayram 2010]. Özellikle korozyon dayanımının arandığı durumlarda, alüminyumun saflığının % 99,5'in altında olmaması gereklidir [Palta 2009].

Fakat saf alüminyum, yumuşak ve zayıf olduğundan, büyük ölçüde artan gücü elde etmek için alaşımlandırılır. Saf alüminyumun iyi korozyon direncinden yararlanmak amacıyla, yüksek mukavemetli alaşımlı saf alüminyum ya da ilgili olarak galvanik serisi aktif korozyona daha dayanıklı alaşımlardan biri (örn., % 1 Mn-Al) seçilerek alaşımlandırılır (Şekil 1.4) [Odabaş 2007]. Daha az soylu kaplamalar aynı zamanda yüksek, özellikle de, taneler arası korozyon ve stresle aşınma çatlamaya karşı koruma sağlar [Revie ve Uhlig 2008].



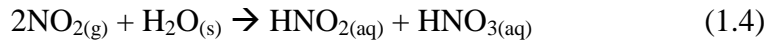
Şekil 1.4. Alüminyum alaşım elementleri.

Her geçen gün kullanım alanı artan alüminyum metalinin en büyük dezavantajı galvanik serideki yerinden dolayı korozyona karşı gösterdiği düşük dirençtir. Alüminyum korozyonunu önlemek için geliştirilen yöntemler, otomobil ve özellikle inşaat sektöründe yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. 6XXX serisi (AlMgSi) alaşımlar yüksek korozyon direncine sahip olması nedeniyle mimari-inşaat sektöründe en yaygın kullanılan metaller arasında yer almaktadır [Svenningsen ve diğ. 2006, İrtem ve Tığ 2006, Ulucak 2014]. Alüminyumun sağlamlığı yanında sahip olduğu dekoratif

görünüm, eloksal kaplama ile bir bakıma ölümsüzleşir. Gerek naturel veya renkli eloksal kaplama, gerekse lake kaplama ile alüminyum; mimar ve mühendislere inşaat sektöründe zengin seçenekler sunar. Bu açıdan alüminyum 21. yüzyıl metali olarak gösterilmektedir [Alan 2008].

1.3. ASİT YAĞMURLARI

Sanayi ve ulaşım araçlarının yoğun olarak geçtiği bölgelerde hava kalitesinde bazı değişikliklerin söz konusu olduğu bilinmektedir [Özler ve Akdağ 2011]. Bu değişikliklere bağlı olarak Eşitlik 1.1-1.4'te görüldüğü gibi asidik bileşikler oluşmaktadır [Petrucci ve Harwood 1997].



Korozyonun meydana geldiği atmosferik ortamda SO_x (kükürt oksit)'ler ve NO_x (azot oksit)'ler gibi kentsel ve endüstriyel atmosferik ortamlarda çok yüksek oranlara ulaşabilen kirleticiler bulunuyorsa, söz konusu bu kirletici maddeler, metaller üzerinde korozyon aşamasını hızlandırırlar. Atmosferik kirliliğin olduğu ortamlarda bulunan partikül maddeler de, metaller üzerinde korozyon etkisine sahiptir. Kuru havada partiküllere karşı dayanıklı olan metaller, nemli koşullarda aynı dayanım gücüne sahip değildir. Partiküllerin çevresinde su buharı yoğunlaşır ve bunların içinde SO_x (kükürt oksit) ve NO_x (azot oksit) gazları çözünerek, korozyon işlemi hızlanır. Bu nedenle atmosferik kirliliğin yüksek seviyelerde olduğu endüstriyel ortamlarda, korozyonun daha fazla olduğu görülür. Dolayısıyla korozyon açısından metallerin bulunduğu atmosferik ortam son derece önemlidir [Gökaltun 2001, Doğan ve Gökaltun 2004, Gökaltun 2010].

1.4. KOROZYON

Korozyon, metallerin veya alaşımların sahip olduğu özelliklerini kaybederek doğada daha kararlı bir hale geçmesi olayıdır [Zeren 1999]. Kısaca metalik malzemelerin çevreleriyle etkileşerek metalik karakterini yitirmesi olayıdır [Erbil 2012]. Korozyon doğal bir olaydır. Doğal olarak gerçekleşen tüm reaksiyonların sonucunda oluşan yapılar daha kararlıdır. Yapının kararlılığı ise özelliklerini kaybeden metal veya alaşımların sahip olduğu enerjisindeki düşmeye entropisindeki yükselmeye bağlıdır. Aslında bütün doğal olayların açıklanmasında enerji ve entropi gibi kavramların kullanılması bizim sonuçları doğru yorumlayabilmemiz için önemlidir. Korozyon, özellikle aşağıda belirtilen sebeplerden dolayı önemi her geçen gün artan ciddi bir problemdir.

- Teknolojinin bütün alanlarında metallerin kullanılması,
- İnşaat sektörünün hızlı bir şekilde çelik konstrüksiyona yönelmesi,
- Dünya nüfusundaki hızlı artışın metal üretimiyle paralellik göstermesi,
- Korozyona uğrayan cihazların bozulması veya arızalanması sonucu endüstri üretiminin azalması,
- Korozyon ürünü malzemelerin insan sağlığı ve çevre açısından son derece zararlı olduğunun iyice anlaşılması,
- Yeraltı maden yataklarının hızla tükeniyor olması gerçeği [Zeren 1999].

Korozyon doğal bir olay olduğu için hayatımızın her noktasında bu doğal olay ile karşı karşıya kalabiliriz. Korozyonun bu önemi; ekonomik açıdan; tahribata uğramış bir metalin tekrar kullanılabilir bir hale dönüştürülebilmesi, güvenlik açısından; korozyon nedeni ile metalin zayıflaması, görevini yerine getiremeyecek duruma gelmesi ve ciddi kazalara neden olması, kaynakların korunması açısından; ileriye dönük olarak stokların oluşturulması şeklinde genel hatları ile açıklanabilir [Gerengi 2008].

Metallerin veya alaşımların korozyona karşı korunması ekonomik olarak oldukça önemlidir. Korozyona karşı koruma genel olarak metal yüzeyinin kaplanması, katodik koruma, pasifleşme-koruyucu filmler ve korozyon inhibitörleri kullanılması ile

gerçekleştirilmektedir [Konuklu 2007]. Hangi yöntem olursa olsun metallerin veya alaşımların korozyona karşı korunması metal fiyatları göz önüne alındığında ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Metallerin fiyatlarında yıllar geçtikçe ciddi artışların olduğu bilinmektedir. Bu da korozyonun önlenmesinin ne kadar önemli olduğunu daha çok ortaya koymaktadır.

Korozyon, ekonomik açıdan olduğu kadar insan sağlığı bakımından da oldukça önemlidir. Özellikle korozyon ürünlerinin, besin maddeleri ve ilaçların içine sızması tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Korozyon, endüstrinin her bölümünde kendini göstermektedir. Açık atmosferde bulunan tanklar, depolar, direkler, taşıtlar, iş makineleri, metal aksamdan yapılmış binalar, yeraltı boru hatları, gemiler, iskele ayakları vb. her şey korozyon süreci ile karşı karşıyadır. Korozyon sonucu dayanımını yitirmiş yapıtların, beklenmedik bir zamanda çökmesi iş kazalarına neden olmaktadır. Korozyon nedeniyle boşa giden harcamalar, üretim giderlerini de arttırmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu ülkemizde korozyon ve korozyonun neden olduğu ekonomik kaybın, yıllık 45,6 milyar dolar civarında olduğu tespit edilmiştir [Çakır 2013]. Bunun için bilim adamları, korozyon hızının ölçülmesi ve korozyondan korunma önlemlerinin alınabilmesi için sürekli araştırmalar yapmaktadır. Elde edilen veriler doğrultusunda yeni alaşımlar veya istenildiği takdirde korozyon sürecine müdahaleler söz konusu olmaktadır [Zeren 1999].

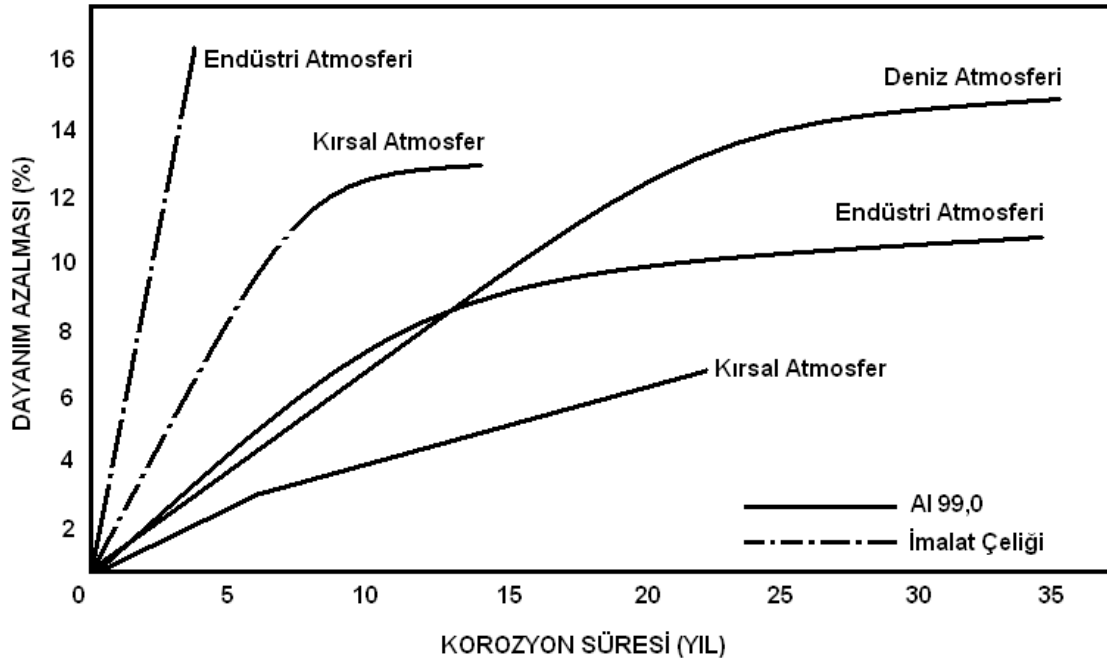
Korozyonu etkileyen faktörler:

- Suyun sertliği
- PH
- Su içinde bulunan element ve tuzlar
- Çalışan sistemdeki farklı metal malzemeler
- Sistem çalıştırma sıcaklığı
- Su içinde çözülmüş gazlar

1.4.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Korozyonu

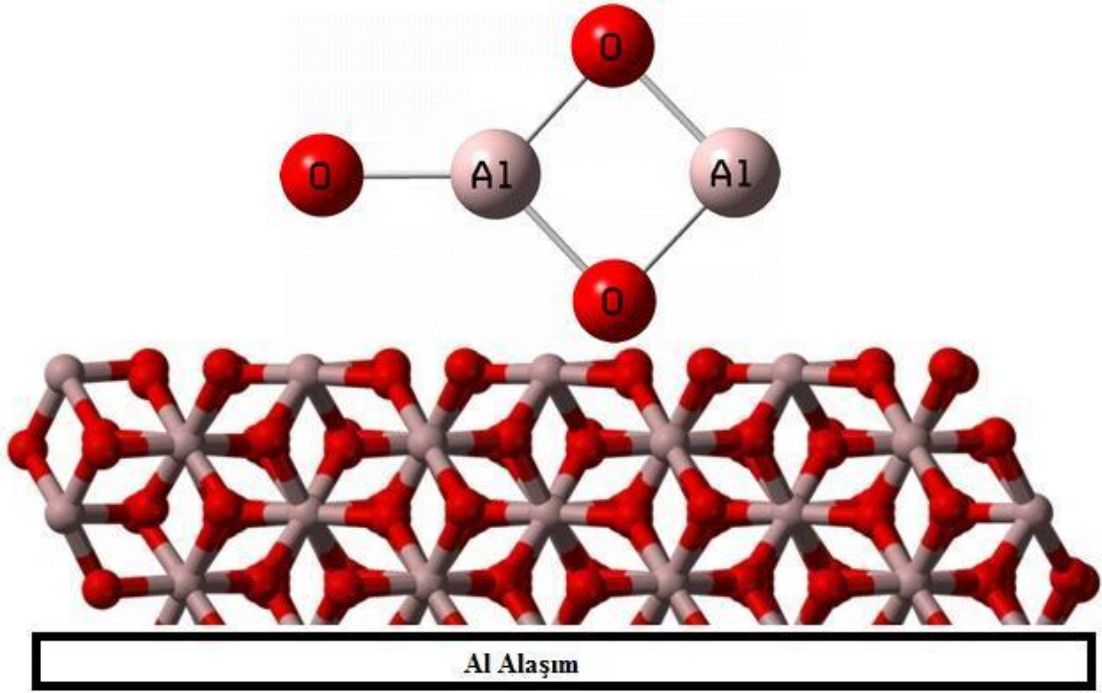
Alüminyum ve alaşımlarının, korozyona karşı metalin yapısından doğan bir dayanıklılık özelliği vardır. Alüminyum periyodik cetveldeki konumuna göre aktif bir metal olmakla birlikte yüzeyindeki koruyucu, yüzeye sıkıca bağlı, belli belirsiz oluşmuş oksit filmi nedeniyle kararlı bir elementtir. Bu film tabakası bozulsun bile birçok ortamda yeniden oluşur. Yeni üretilmiş bir alüminyum yüzeyinde havada oluşan film tabakası 50–100 Å kalınlığındadır [Gedik 2008]. Alüminyumun birçok korozif ortama karşı gösterdiği direnç, mevcut koşullara bağlı olarak yüzeyinde oluşan, amorf veya kristalin alüminyum oksit tabakasından dolaydır. Atmosferde oluşan yüzey filmi daha çok amorf, su ve su buharı içerisinde ise daha çok kristalin yapıda yüzey filmi oluşur. Oluşan tabaka ne kadar homojen ise, aynı koşullarda korozyon dayanımı da o kadar iyidir.

Alüminyum malzemeler, atmosfer içerisinde korozyona oldukça dayanıklıdırlar (Şekil 1.5). Endüstri atmosferinde (SO₂, kir, toz) ve deniz atmosferinde otuz yıl sonrası korozif etki sonucu, alüminyum malzemedeki dayanım azalması, yaklaşık % 9-13 kadardır [Eker 2009].



Şekil 1.5. Alüminyum malzeme ve imalat çeliğinin karşılaştırmalı atmosferlerde korozyon durumu.

Son birkaç yıl içerisinde özellikle otomobil, uzay ve kullanıldığı sektöre bağlı olarak hafif metaller ve alaşımlarından elektronik endüstrisinde hafif metallerin (Al, Ti, Mg) ve alaşımlarının kullanımı büyük oranda artmıştır. Bu artışın başlıca sebepleri hafif metallerin çok iyi mekanik özelliklere sahip olması, iyi dökülebilir olması, kolay işlenebilirliği, geri dönüşümünün mümkün ve kolay olmasıdır. Metal yüzeyindeki kararlı oksit filmin dielektrik bariyer tabakası olarak direnç yaratması ve bu sayede anotlamaya imkân tanınması açısından Al, Ti, Mg, Zr vb. ve alaşımları valf metaller olarak gruplandırılır. Bu gruptaki metallerin kendi oluşturdukları oksitler açık devre şartlarında (korozyon potansiyeli) kararlıdır ve korozyona uğramaları zordur (Şekil 1.6) [Tekin ve diğ. 2008, Varga ve Hargittai 2008].



Şekil 1.6. Alüminyum metalinin yüzeyinde oluşan Al₂O₃ tabakası.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

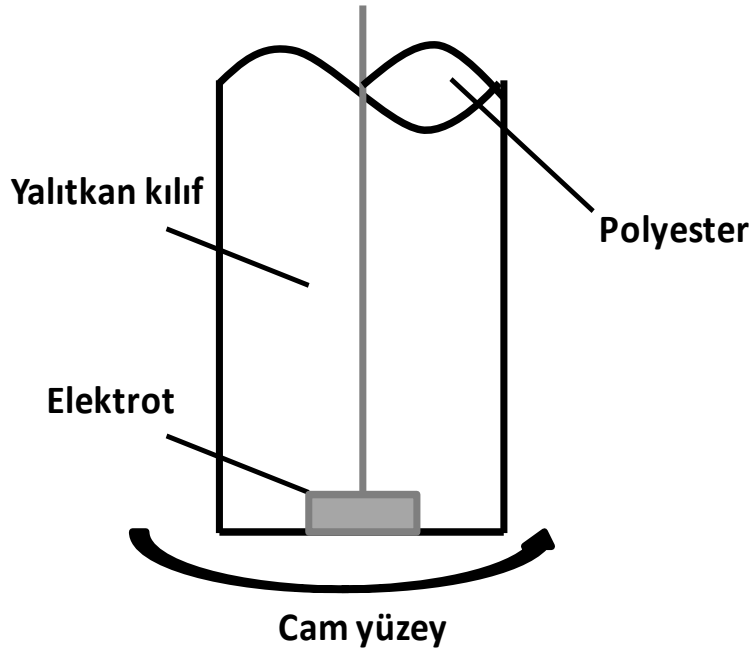
2. 1. MATERYAL

2.1.1. Çalışma Elektrotlarının Hazırlanması

Özellikle inşaat sektöründe dış cephe giydirme sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılan alüminyum 6060 ve 6082 alaşımlarına ait numunelerin bileşimi Çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Elektrotlar $0,785 \text{ cm}^2$ silindirik olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Yalnızca silindirin taban alanlarından bir tanesi açıkta kalacak şekilde yalıtkan boru içerisine konup üzerinde ve etrafında kalın bir polyester tabakanın oluşması sağlanmıştır (Şekil 2.1).

Çizelge 2.1. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının kimyasal bileşimi (ağırlıkça %).

Numune	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
AA6060	0,3-0,6	0,1-0,3	0,1	0,1	0,3-0,6	0,05	0,15	0,1	98-99
AA6082	0,7-1,3	0,5	0,1	0,4-1,0	0,6-1,2	0,25	0,2	0,1	95-97



Şekil 2.1. Deneyde kullanılan elektrotların hazırlanış şekli.

2.1.2. Yapay Asit Yağmurunun Hazırlanması

Yapay asit yağmurlarının hazırlanması için kullanılan kimyasallar ve oranları Çizelge 2.2’de [Ragab ve diğ. 2010, Brunoro ve diğ. 2003] gösterilmiştir. Çözeltiler Merck firmasının üretimi ile saf su kullanılarak istenilen konsantrasyonlarda hazırlanmıştır.

Çizelge 2.2. Asit yağmuru çözeltisinin kimyasal analizi.

Materyal	H ₂ SO ₄	HNO ₃	Na ₂ SO ₄	NaNO ₃	NaCl	(NH ₄) ₂ SO ₄
Derişim g/l (su)	0,032	0,015	0,032	0,021	0,084	0,046

2.1.3. Kullanılan Makine-Teçhizatlar

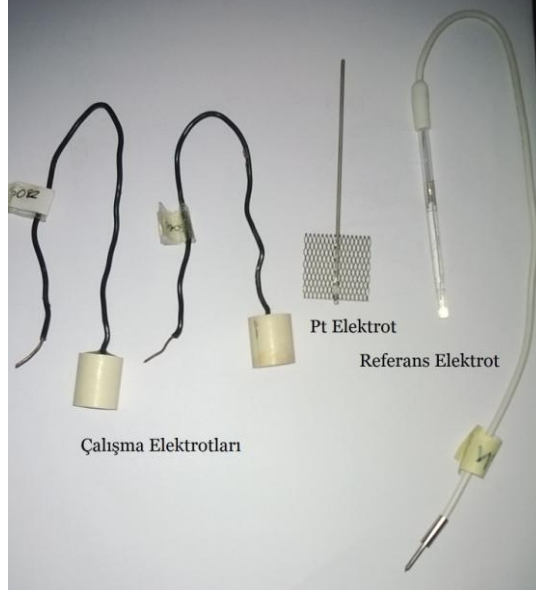
- TT TECHNIC VC-98B Dijital Multimetre Ve UNI-T UT-602
- pH metre Martini; MI151
- Hassas Terazi XB220A Precisa
- NI PCI-4461 24-Bit, 204.8 kS/s
- GAMRY PC3/600 Potantiyostat/Galvanostat/ZRA
- Cam Korozyon Hücresi
- Ag/AgCl Referans Elektrot
- Çalışma Elektrotları
- Platin Elektrot
- Magnetik Karıştırıcı
- Mekanik Parlatici
- Zımpara Kağıdı
- Slepski Galvanostat

2.1.4. Deneylerin Yapılışı

Deneylere başlamadan önce yüzeyin temizlenmesi için kullanılan elektrotlar, metal parlatma aleti ile 400 ile 2000 numaralı zımpara kâğıtları kullanılarak parlatılmıştır. Daha sonra saf su ile yıkayıp deney hücresine yerleştirilmiştir.

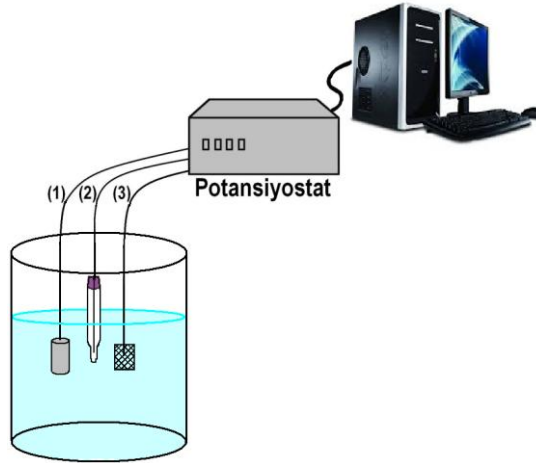
Kullanılan alüminyum 6060 ve 6082 alaşımlarına 4 farklı yöntem kullanılarak korozyon davranışları incelenmiştir. Deneyler oda sıcaklığında yapılmıştır.

Çalışma elektrotları, karşı elektrot ve referans elektrot (Şekil 2.2) içerisinde çözelti bulunan korozyon hücresine konularak oluşturulan deney düzenekleri 2 saat süre ile bekletilmiştir. Bundaki amaç elektrot ile ortam arasında meydana gelen reaksiyonların durağan hale gelmesini beklemektir.



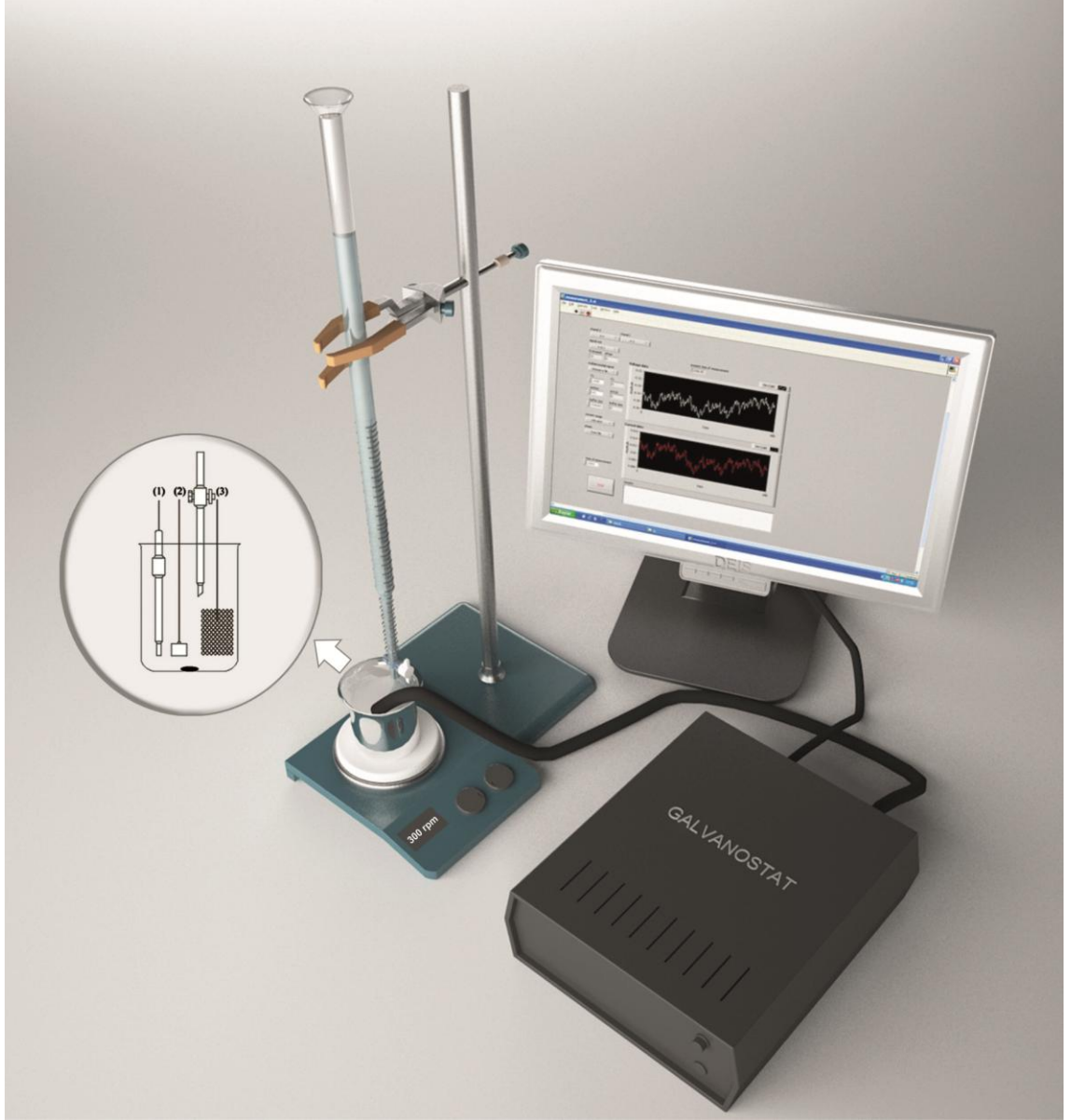
Şekil 2.2. Çalışma elektrotları, Pt elektrot ve Ag/AgCl referans elektrot.

LP, TP, EIS deneylerini yapmak için Şekil 2.3'te gösterilen düzenek oluşturulmuştur. Ölçümler, GAMRY PC3/600 Potansiyostat/Galvanostat/ZRA sisteminde 0,001-100000 Hz frekans aralığında 2 saat süre ile yapılmış ve empedans analizleri için ZSimpWin 3.21 yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 2.3. Deney düzenekinin görünümü [(1) çalışma elektrodu, (2) Ag/AgCl referans elektrot, (3) Pt elektrot].

LP, TP ve EIS yöntemlerinden farklı olarak DEIS deneyini yapmak için Şekil 2.4'te gösterilen düzenek oluşturulmuştur. Saf su içerisinde metallerin korozyon mekanizmaları araştırılmaya başlandıktan 2 saat sonra korozyon hücresine bütten damla damla yapay asit yağmuru ilave edilerek 5 ve 48 saatlik deneyler yapılmıştır. Böylece metalde oluşacak anlık potansiyel ve empedans değişimi kayıt edilmiştir.

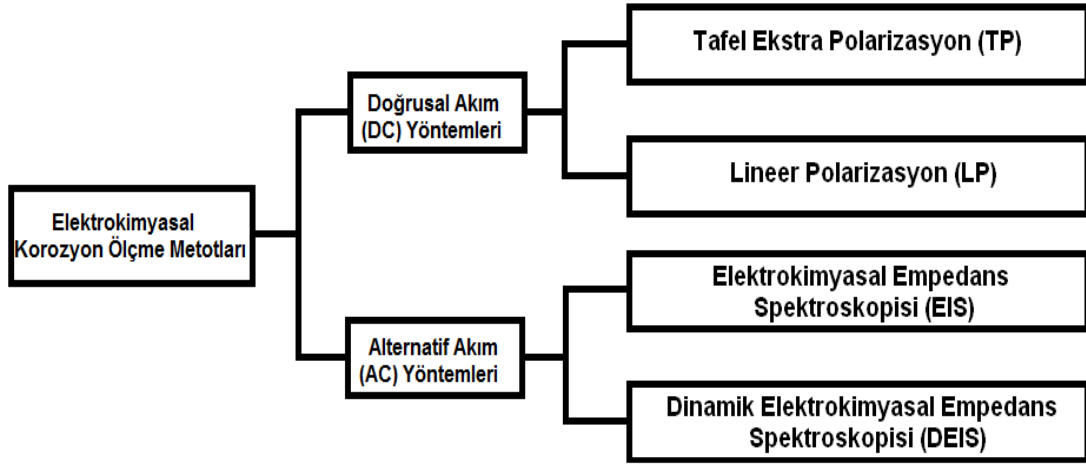


Şekil 2.4. DEIS deney düzeneği [(1) Ag/AgCl referans elektrot, (2) çalışma elektrodu, (3) Pt elektrot].

2. 2. YÖNTEM

2.2.1. Kullanılan Korozyon Belirleme Yöntemleri

Korozyon hızını ölçmek için birçok elektrokimyasal metot bulunmaktadır. Bu ölçüm teknikleri, araştırılan korozyon hücresine bağlı olarak oldukça detaylı hesaplamalara dayanır. Şekil 2.5'te korozyonun belirlenmesinde en çok tercih edilen elektrokimyasal metotlar gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Kullanılan elektrokimyasal korozyon ölçme yöntemleri.

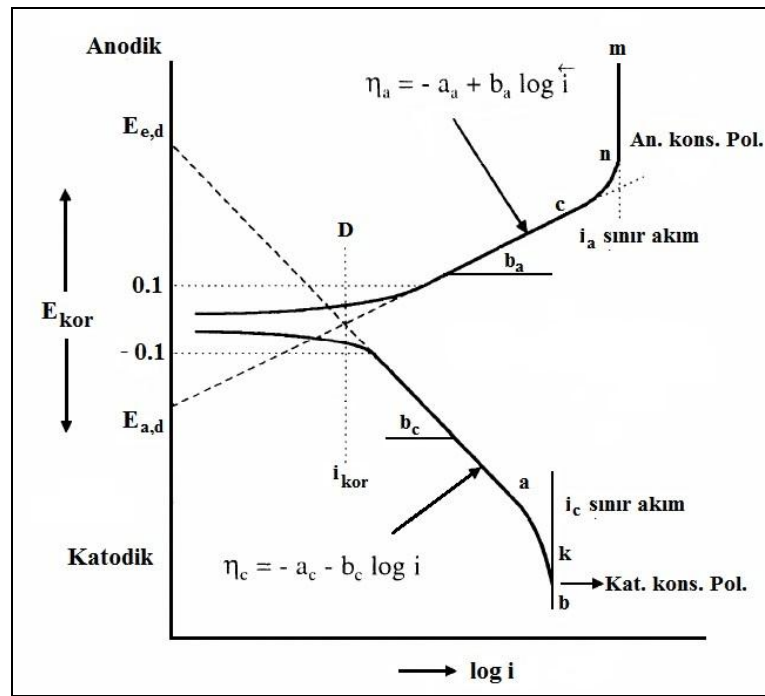
2.2.1.1. Lineer Polarizasyon Yöntemi (LP)

Korozyon hızının belirlenmesi için elektrodun yüzey yapısını bozmayan laboratuvar ve işletme koşullarında kolayca uygulanabilen elektrokimyasal bir yöntem olan, polarizasyon direnci kullanılır.

Polarizasyon direnci yöntemiyle korozyon hızı belirlenmesi çok kolay ve hızlı bir yöntemdir. Deney elektrodu ile karşılaştırma elektrodu arasında ilk ölçülen potansiyel korozyon potansiyelidir. Bir üreteçten değişken direnç yardımıyla, deney elektrodu ile karşı elektrot arasına belirli akımlar uygulanır ve her akım uygulamasından sonra potansiyelin korozyon potansiyelinden sapan miktarı kaydedilir. Korozyon potansiyeli sıfır noktası kabul edilerek 2 ya da 3 nokta belirlenirse (yaklaşık 20 mV aralığında), hepsinden geçen ortalama bir doğru çizilerek eğimi hesaplanır. Aynı işlem hem anodik hem de katodik yöne uygulanır.

2.2.1.2. Tafel Ekstra Polarizasyon Yöntemi (TP)

Tafel polarizasyon yönteminin avantajı, kullanımı diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Sanayide en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Katodik polarizasyon eğrisinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu yöntemiyle sistemdeki çok küçük korozyonu belirlemek ve denetlemek mümkün olmaktadır. Korozyon hızını belirlemek için korozyon potansiyelinden başlayarak potansiyostatik ve galvanostatik yöntemle anodik ve katodik yönde çizilen yarı logaritmik akım yoğunluğu potansiyel eğrilerinin çizgisel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapole edilir ve korozyon hızı yani korozyon akımı hesaplanır. Şekil 2.6'da korozyon hızının nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir. [Gerengi 2008].



Şekil 2.6. Korozyon akımı ve korozyon potansiyelinin TP yöntemi ile hesaplanması.

Stern ve Geary'nin yukarıdaki grafikten faydalanarak elde ettikleri Eşitlik 2.1'de görülen formül yardımıyla korozyon akımı (I_{corr}) hesaplanabilmektedir. Formülde I_{corr} korozyon akımını, β_a ve β_c sırasıyla anodik ve katodik sabitini ve R_p ise polarizasyon direncini ifade etmektedir [Stern ve Geary 1957].

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

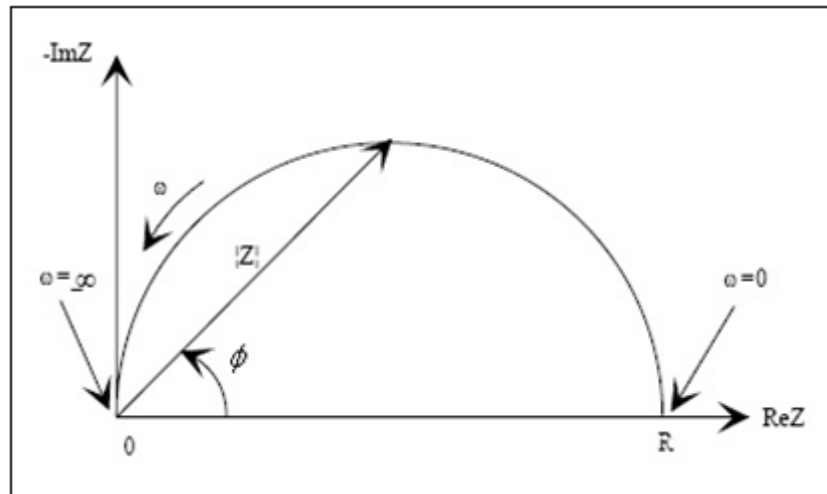
2.2.1.3. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS)

EIS sistem hakkında daha çok bilgi verdiği için hemen hemen her sektörde 30 yıldan beri kullanılmaktadır. Doğru akım kaynakları üzerinden alınan verilere nazaran elektrot yüzeyine daha az hasara neden olduğundan veriler daha güvenilirdir [Coger ve Evans 1999, Hamdy ve diğ. 2006]. Bu yöntem ohm yasası ile daha kolay anlaşılabilir. Ohm kanunu direnç değerinin voltaj ve akım arasındaki oranı göstermektedir. Normal şartlarda ohm kanuna göre;

$R = E/I$ 'dir. Ancak AC kullanımlarında sistemin frekansı sıfır olmadığı ya da sistemde başka elemanların olması durumunda ortaya empedans kavramı çıkmaktadır. Aşağıdaki formülde Z empedansı, E voltajı ve I akımı ifade etmektedir.

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

Elektrokimyasal akım ya da AC yöntemlerinde 0,001–100,000 Hertz frekans ve 5 ile 50 mV genliğinde hücreye küçük bir sinüzoidal bir akım gönderilmesiyle ölçülür. Ancak sistem bu akıma aynı şiddette ama biraz geriden cevap verir (Phase Shift). Faz kayması olarak da bilinen değerler Z_{Im} ve Z_{Re} olarak gösterilmektedir. Z_{Im} hayali empedans ve Z_{Re} ise gerçek empedans olarak tanımlanmaktadır. Z_{Im} ve Z_{Re} arasındaki ilişkiden empedans değişiminin bulunuşu Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Z_{Im} ve Z_{Re} arasındaki ilişkiden Empedansın (Z) bulunması.

EIS yönteminde metal yüzeyine uygulanan alternatif akıma bağlı olarak hayali (Z_{Im}) ve gerçek (Z_{Re}) olmak üzere iki farklı direnç ortaya çıkar. Bu dirençlerin birbirine göre

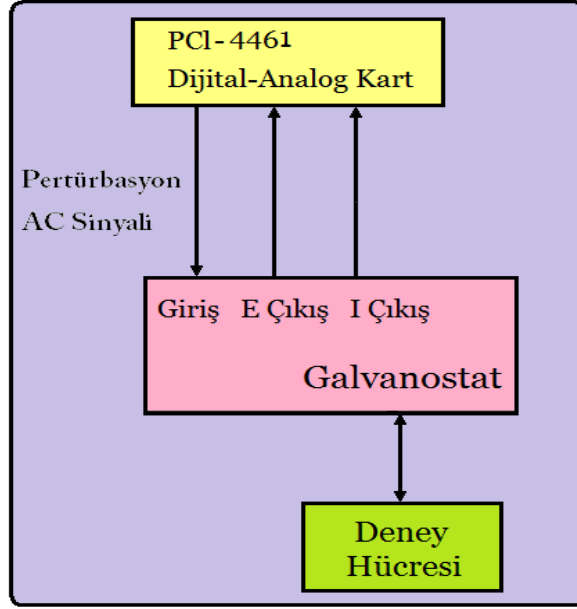
değişimlerini gösteren Nyquist eğrilerinden istenilen polarizasyon direnci değerleri elde edilmeye çalışılır. Aşağıdaki eşitlikte bunun nasıl bulunacağı gösterilmiştir [Gerengi ve diğ. 2012].

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

2.2.1.4. Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)

DEIS yöntemi galvanostatik ve potansiyostatik şartlar altında başarıyla kullanılabilen elektrokimyasal yöntemdir [Nagarajan ve diğ. 2007, Gerengi ve diğ. 2013]. Deney düzeneği Şekil 2.8'de gösterildiği gibi pertürbasyon sinyali üreten bir PCI4461 National Instruments ölçüm kartı ve bir Potansiyostat/Galvanostat'tan oluşmaktadır. Uygulanan pertürbasyon, uygulanan sisteme bağlı olmakla beraber genellikle; 4,5 kHz ile 700 mHz aralığında değişen frekanslardaki 20 sinüsoidden oluşan bir paket kullanılmaktadır. Temel sinüs sinyallerinin tamamı, 20 mV'a eşit genliğe sahip, 2500 ölçüm noktasını içine çeken Hamming analiz penceresi ile birlikte 12,8 kHz'lik örnekleme frekansının uygulanması ile 60 saniyede bir empedans ölçümü yapar. Hızlı elde edilen verilerle, belirlenen zaman aralıkları kapsamında empedans eğrileri çizilir. EIS yönteminde, yaklaşık 30 ile 45 dakika (belirlenen frekans aralığına göre değişir) arasında bir spektra elde edilirken, DEIS yönteminde bu zaman aralığı içerisinde 100 adet spektra elde edilmektedir.

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



Şekil 2.8. DEIS deney düzeneği.

DEIS Yönteminin Avantajları;

1. EIS ile aynı zaman aralığında bir yerine, yüz adet empedans spektrası veren bir yöntemdir.
2. Durağan olmayan koşullar altında, sistemlerin incelenmesi için cazip bir araç oluşturur ve ortak bir zaman-frekans analizi sağlar.
3. Zaman içerisinde sistemde nasıl ve daha önemlisi ne zaman değişiklik olduğu hakkında bilgi vermektedir. Böylece sisteme tam olarak ne zaman müdahale edilmesi gerektiği belirlenebilir.
4. Korozyon ölçüm yöntemleri uygulanmadan önce, sistemin stabil hale gelmesi için belli bir sürenin geçmesi beklenir. Bu sürenin belirlenmesi amacıyla her deney öncesi DEIS yöntemi kullanılabilir.
5. Korozyon mekanizmasının oldukça hızlı değiştiği durumlarda anlık (on-line) bilgi edinmek, korozyonla mücadele için oldukça önemlidir. Özellikle inhibitörlü sistemlerde, inhibitörle çalışma elektrodu arasındaki etkileşimi zamana bağlı olarak ortaya koyan hâlihazırda kullanılan diğer elektrokimyasal yöntemlerden daha kapsamlı bilgi verir [Gerengi ve Kurtay 2014].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

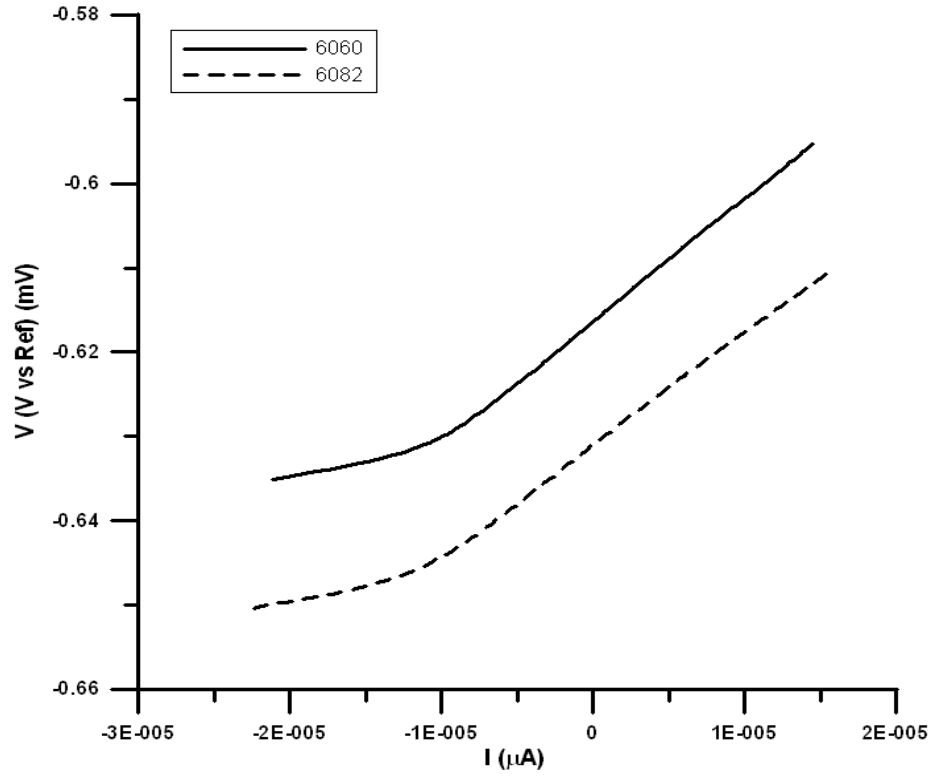
3.1. YAPAY ASİT YAĞMURU ÇÖZELTİSİNDE AA6060 VE AA6082 ALAŞIMLARININ KOROZYON ETKİSİNİN LP YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Alüminyum 6060 ve 6082 alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisine daldırıldıktan iki saat sonra elde edilen Lineer Polarizasyon yöntemi sonuçları Çizelge 3.1'de görülmektedir. E_{corr} korozyon potansiyelini, R_p polarizasyon direncini ve I_{corr} ise korozyon akım yoğunluğunu belirtmektedir. Görüldüğü üzere AA6060 alaşımının korozyon potansiyel değeri AA6082'den daha büyüktür. Bu da yapay asit yağmuruna karşı AA6082'ye göre daha dayanıklı olduğunu göstermektedir. Her iki alaşıma ait elde edilen korozyon akım yoğunluğunda ki fark da bunu teyit etmektedir. AA6060'a ait I_{corr} değeri 17,88 μA iken, AA6082'e ait I_{corr} değeri 19,36 μA dir. I_{corr} değeri korozyon hızının hesaplanmasında kullanıldığı için korozyon hızı ile doğru orantılıdır. I_{corr} değeri arttıkça korozyon hızı artmaktadır.

Anodik aktif çözünmenin olmadığı (dissolution) TP (Şekil 3.2) sonuçlarından açıkça görülmektedir. Bu durumda LP verilerinin sağlıklı veriler olmadığı [Bereket, 2014] belirtilmiştir. Çizelge 3.1'de ± 20 mV ve bu öneri doğrultusunda ± 10 mV aralığında elde edilen LP sonuçları verilmiştir. ± 10 mV aralığında elde edilen LP deney sonuçları EIS ve DEIS sonuçlarına daha yakındır. Dolayısıyla LP deneylerinde aralık belirlemedeki sınırlamanın (limitation) önemi bu çalışmayla bir kez daha ortaya konulmuştur.

Çizelge 3.1. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen LP deney verileri.

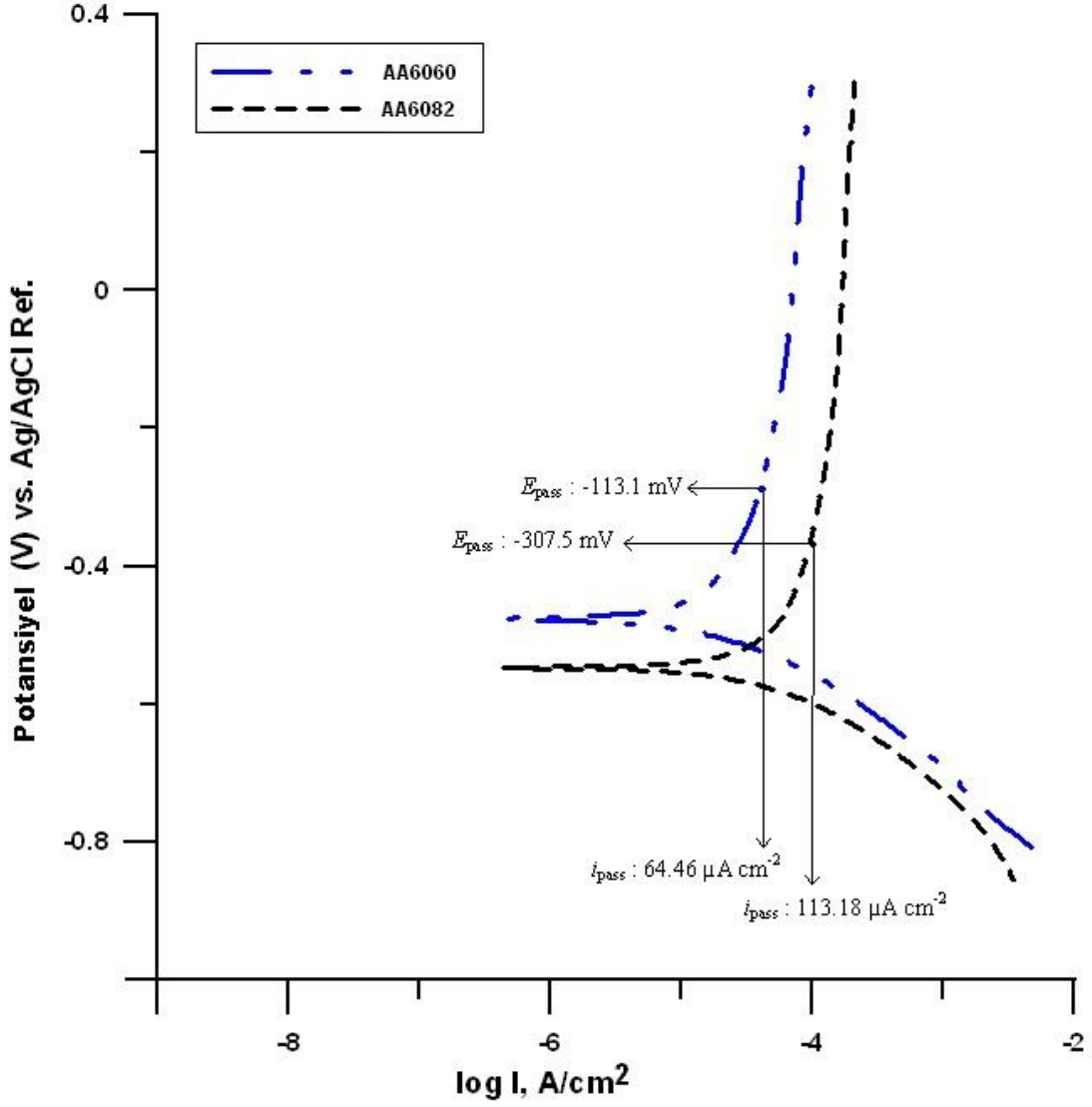
Metal Adı	± 20 mV			± 10 mV		
	I_{corr} (μA)	E_{corr} (mV)	R_p (ohm)	I_{corr} (μA)	E_{corr} (mV)	R_p (ohm)
AA6060	17,88	-616,4	1457	22,27	-635	1171
AA6082	19,36	-631	1346	28,21	-648	1031



Şekil 3.1. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen LP eğrileri.

3.2. YAPAY ASİT YAĞMURU ÇÖZELTİSİNDE AA6060 VE AA6082 ALAŞIMLARININ KOROZYON ETKİSİNİN TP YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Yapay asit yağmuru çözeltisi içinde alüminyum 6060 ve 6082 alaşımlarının oda sıcaklığında elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Eğriler, iki alüminyum alaşımı için katodik ve anodik polarizasyonun benzer olduğunu göstermektedir. Bu veri her iki alaşımın aynı korozyon mekanizmasına sahip olduğunu göstermektedir. Anodik akım yoğunluğu değerleri incelendiğinde AA6082 metalinin AA6060 metalinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Her iki alüminyum alaşımı için, yapay asit yağmuru çözeltisi içinde meydana gelen pasif bölge açık bir şekilde görülmektedir. Pasivasyon, numune yüzeylerinde çeşitli koruyucu bileşiklerin oluşmasından ya da aşınma ürünlerinden kaynaklanmaktadır [Liu ve diğ. 2011, Kaewmaneeikul ve Lothongkum 2013].



Şekil 3.2. AA6060 ve AA6082 alüminyum alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen TP eğrileri.

Alüminyum 6060 ve 6082 alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen Tafel ekstra polarizasyon (TP) yöntemi sonuçları Çizelge 3.2'de görülmektedir.

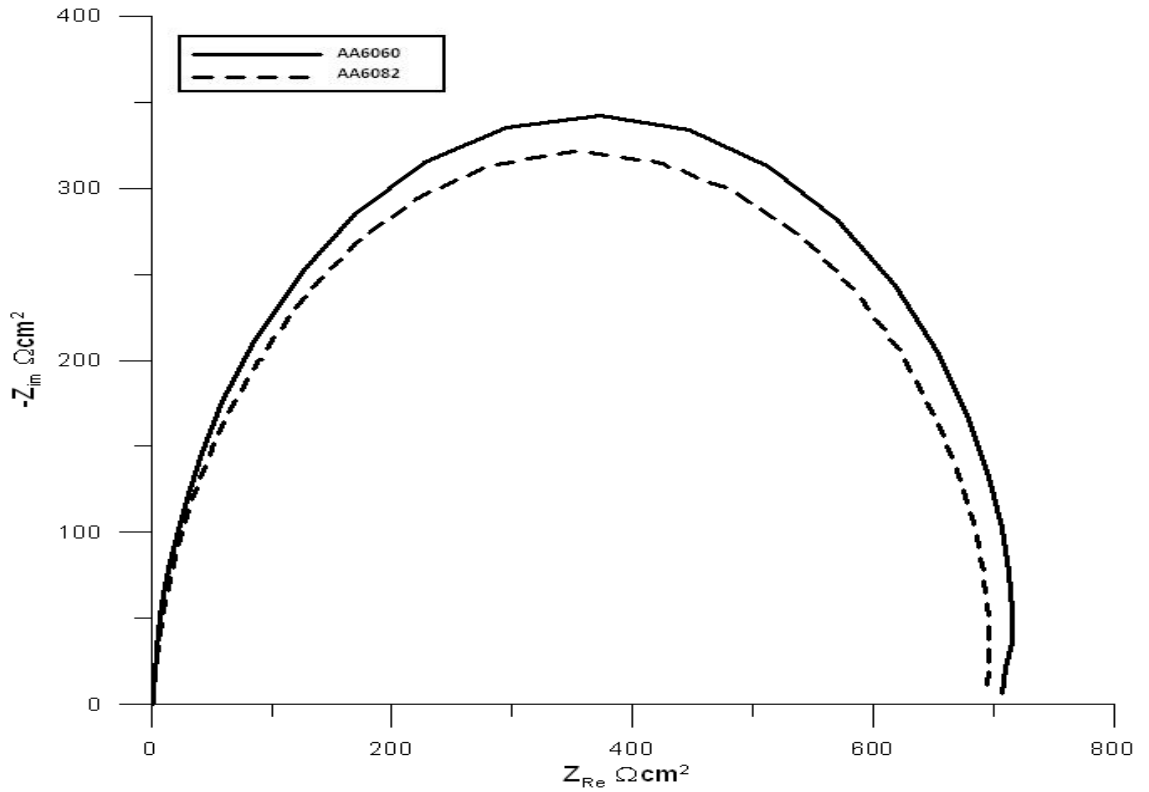
Çizelge 3.2. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen TP deney verileri.

Metal Adı	I _{pass} (μA)	E _{pass} (mV)
AA6060	64,46	-113,1
AA6082	113,18	-307,5

Pasivasyon bölgesinde, bu AA6082 alaşımın ortalama pasif akım yoğunluğu (i_{pass}) AA6060 daha yüksek olduğu açıktır. AA6060 ortalama i_{pass} değeri yaklaşık 54,46 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ iken AA6082 113,18 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ olduğu görülmektedir. Her bir alaşım Ag/AgCl elektrot karşı pasif potansiyelleri (E_{pass}) Şekil 3.2'de gösterilmektedir. AA6082 içinde elde edilen ortalama değerler de E_{pass} AA6060 alaşım daha yüksektir.

3.3. YAPAY ASİT YAĞMURU ÇÖZELTİSİNDE AA6060 VE AA6082 ALAŞIMLARININ KOROZYON ETKİSİNİN EIS YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Yapay asit yağmuru çözeltisinde alüminyum korozyon davranışı iki saat süren açık devre potansiyeli sonunda yapılmıştır. Şekil 3.3'te AA6060 ve AA6082 alaşımalarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen Nyquist diyagramları verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi yapay asit yağmuru çözeltisinde yapılan deneyler sonucu ortaya çıkan Nyquist diyagramlarının aynı geometrik şekle sahip olması, AA6060 ve AA6082 alaşımalarının LP ve TP olduğu gibi aynı mekanizmayla yürüdüğünü göstermektedir.



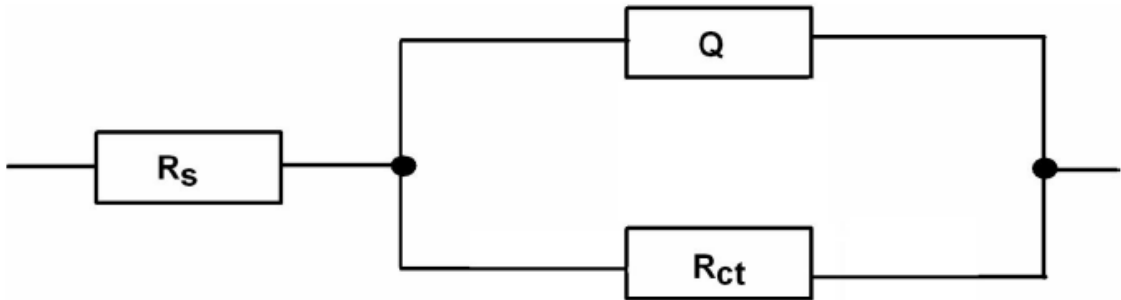
Şekil 3.3. Yapay asit yağmuru çözeltisinde AA6060 ve AA6082 metallerinin korozyonuna dair Nyquist diyagramları.

Elde edilen Nyquist diyagramları Şekil 3.4'te verilen eşdeğer devre ile analiz edilmiştir. Zsimpwin 3.21 programı kullanılarak yapılan devre analizlerinin uyumunu gösteren ki-kare dağılım (X^2 dağılımı) dikkate alınmıştır. Bu değer eşitlik 3.1'de belirtildiği gibi hesaplanmaktadır.

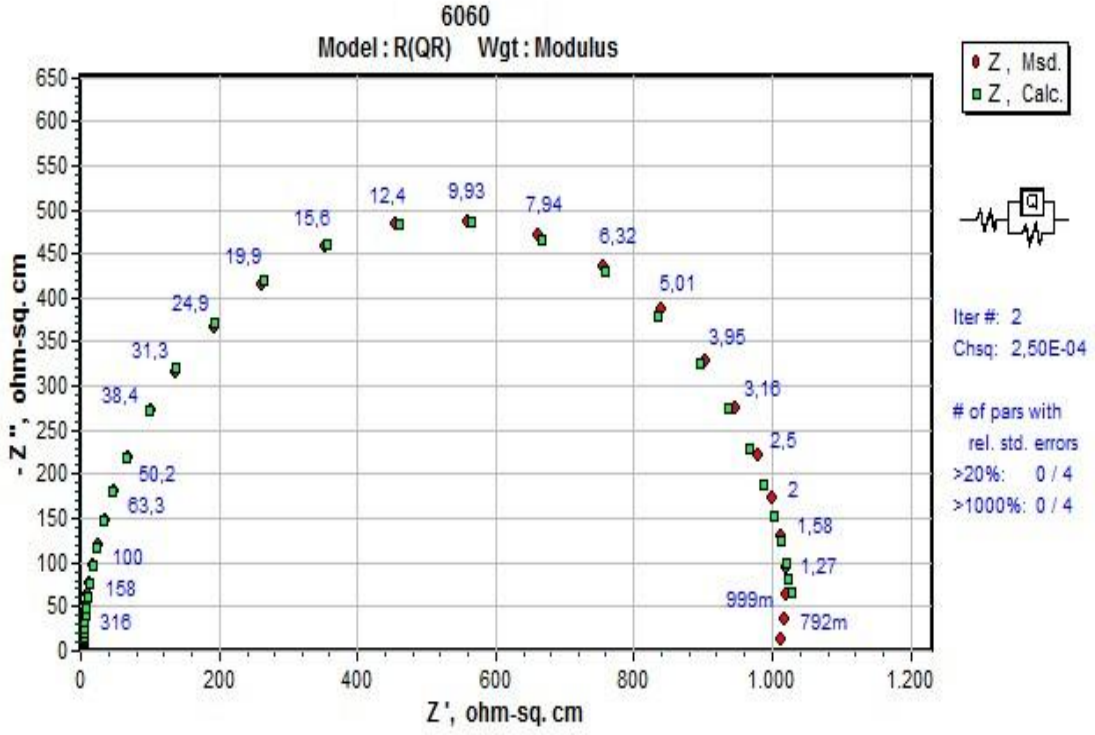
$$X^2 = \frac{(Gözlenen - Beklenen)^2}{(Beklenen)} \quad (3.1)$$

X^2 dağılımı sıfıra ne kadar yakınsa devre eşlenmesi o kadar iyi demektir. EIS ölçümleri esnasında devre analizinde kullandığımız R(QR) devresiyle hesaplanan X^2 değeri AA6060 için $2,35 \cdot 10^{-4}$, AA6082 için de $3,42 \cdot 10^{-4}$ bulunmuştur. Bu değerlerin yansıması olarak devre eşleşmesini gösteren Nyquist diyagramları Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da, bode diyagramları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Diyagramlardan anlaşılacağı üzere analiz için seçilen R(QR) devresi deneysel verileri için uygundur.

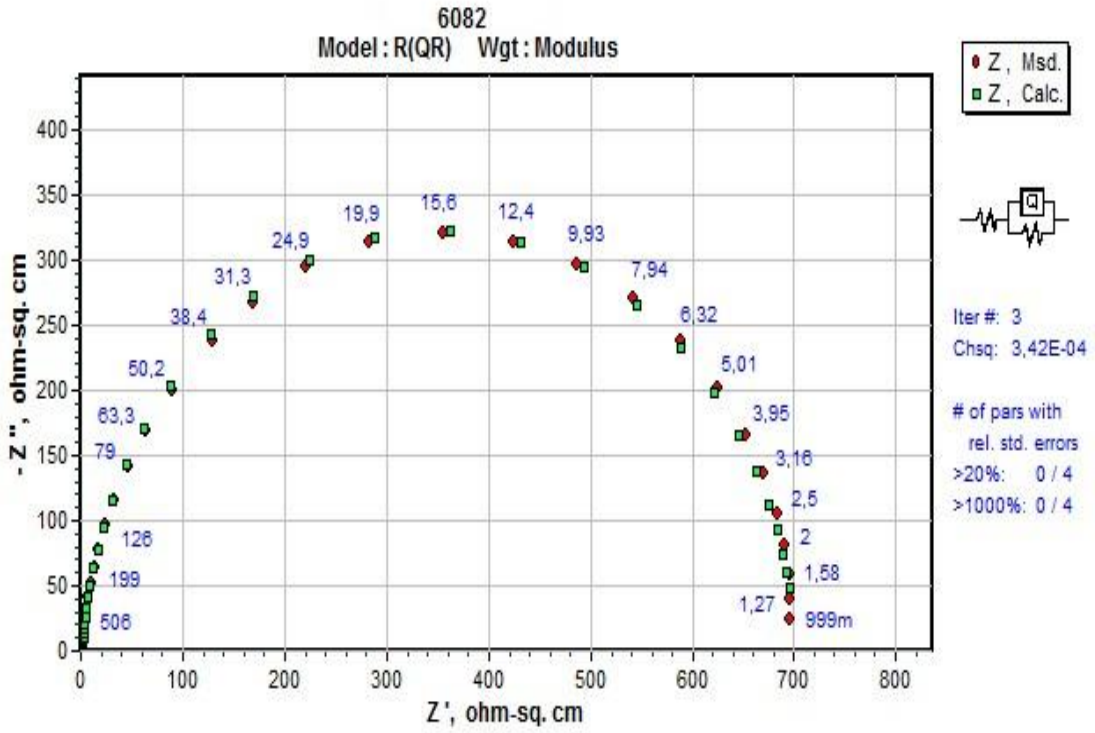
R(QR) devresinde hesaplanan ilk direnç çözelti direncini (R_s), Q sabit faz elemanını ve diğer direnç değeri metal yüzeyindeki şarj transfer direncini (R_{ct}) ifade etmektedir. AA6060 ve AA6082 alaşımlarına ait analiz sonuçları Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.



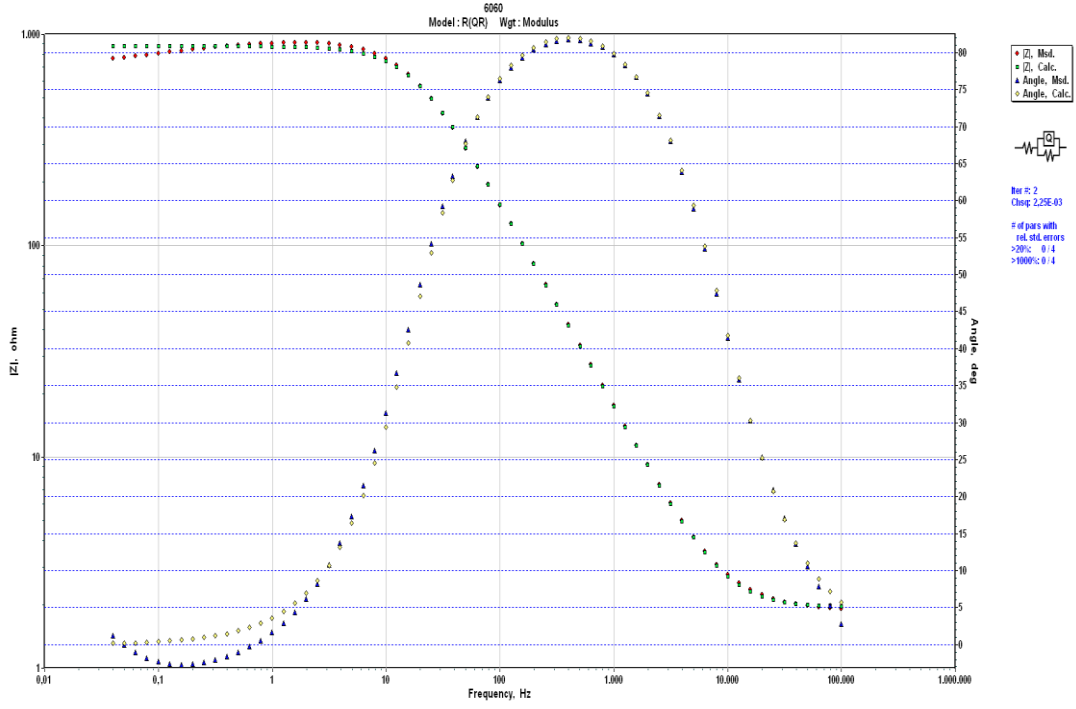
Şekil 3.4. R(QR) devresi.



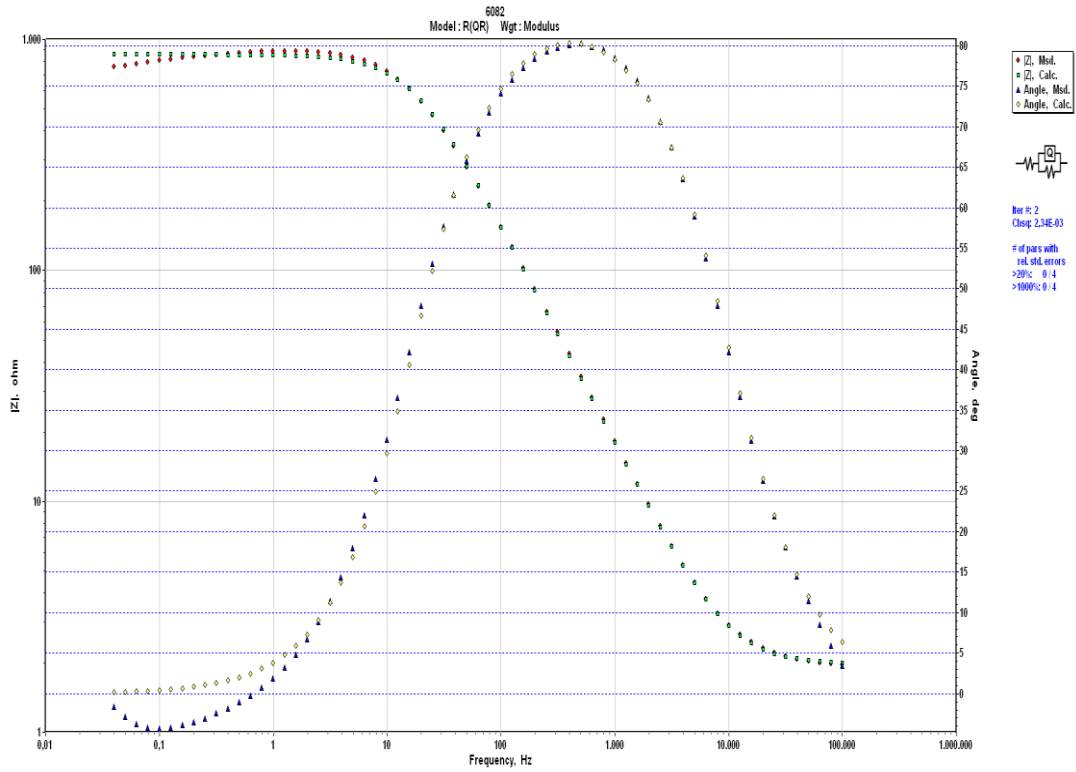
Şekil 3.5. AA6060 metalinin yapay asit yağmuru çözeltisinde korozyonuna dair Nyquist diyagramının R(QR) devresiyle eşleştirilmesi.



Şekil 3.6. AA6082 metalinin yapay asit yağmuru çözeltisinde korozyonuna dair Nyquist diyagramının R(QR) devresiyle eşleştirilmesi.



Şekil 3.7. AA6060 metalinin yapay asit yağmuru çözeltisinde korozyonuna dair Bode diyagramının R(QR) devresiyle eşleştirilmesi.



Şekil 3.8. AA6082 metalinin yapay asit yağmuru çözeltisinde korozyonuna dair Bode diyagramının R(QR) devresiyle eşleştirilmesi.

Çizelge 3.3. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının yapay asit yağmuru çözeltisinde elde edilen EIS deney verileri.

Metal Adı	R_s (Ω)	Q (CPE)	n ($0 \leq n \leq 1$)	R_{ct} (Ω)
AA6060	1,519	1,57E-05	0,9675	721,4
AA6082	1,542	1,78E-05	0,9489	702

Çizelge 3.3'te görüldüğü üzere R_s direnci, Q ve metal pürüzlüğünü ifade eden “n” değeri yaklaşık olarak birbirine eşittir. Bu benzerlik, kullanılan iki alüminyum alaşımının da aynı elektrokimyasal süreci takip ettiğinin teyididir. Araştırmalar “n” değerinin Q değerine bağlı olarak eşitlik 3.2.’de ifade edildiğini ve “n” değerinin $0 \leq n \leq 1$ aralığında bulunabileceğini göstermektedir. “n” değerinin alabileceği değerlerin ifadesi Çizelge 3.4’te belirtilmiştir.

$$Z_{(Q)CPE} = \frac{(j\omega)^{-n}}{(C)} \quad (3.2)$$

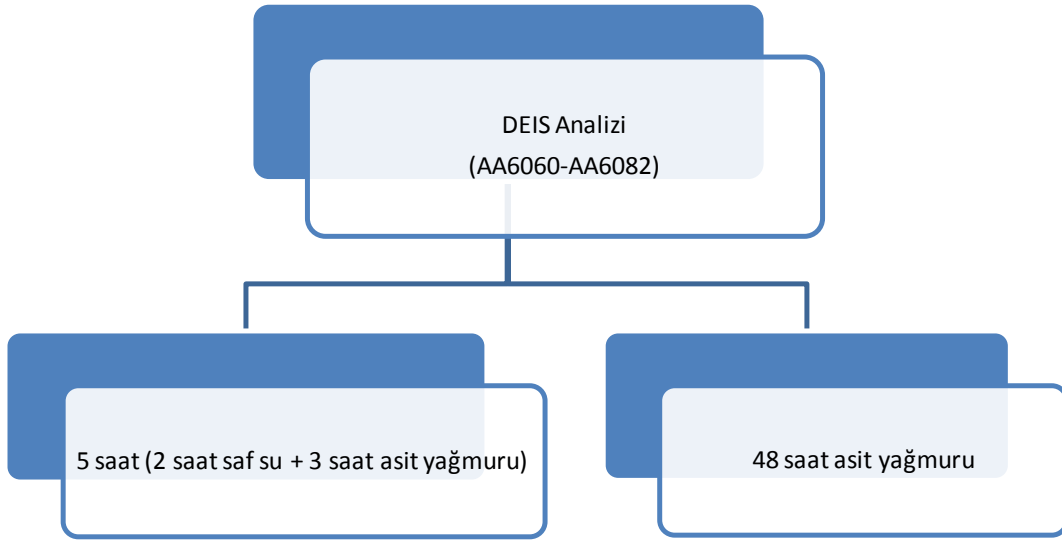
Çizelge 3.4. “n” değerinin EIS yöntemindeki anlamı.

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

Çizelge 3.3 incelendiğinde AA6060’a ait R_{ct} değeri 721,4 Ω iken, AA6082’e ait R_{ct} değeri 702 Ω ’dur. AA6060 metalinin R_{ct} değerinin AA6082 metaline oranla fazla olması bu metalin korozyon direncinin fazla olduğu anlamı taşımaktadır. Bu veriler uyguladığımız LP ve TP yöntemlerini desteklemektedir.

3.4. YAPAY ASİT YAĞMURU ÇÖZELTİSİNDE AA6060 VE AA6082 ALAŞIMLARININ KOROZYON ETKİSİNİN DEİS YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

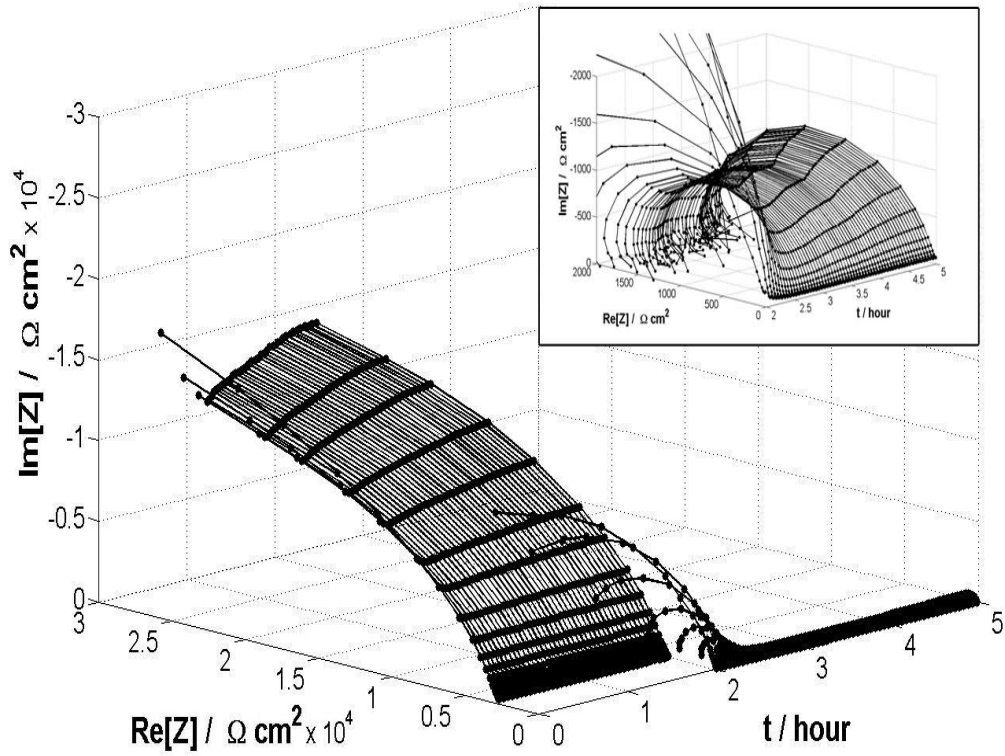
Şekil 3.9’da görüldüğü gibi üzerinde çalıştığımız AA6060 ve AA6082 alaşımlarını 2 saat saf su içerisindeki elektrokimyasal değişimleri inceledikten sonra önce 3 saat yapay asit yağmuruna bırakılmıştır ve bu süre sonunda oluşan pasif filmin kararlılığını ne kadar daha koruyacağını anlamak için de bu bekleme süresi 48 saate çıkarılmıştır. DEİS yönteminin en önemli avantajı olan, anlık elektrokimyasal değişimleri kaydetme özelliği sayesinde metal yüzeyindeki oksit tabakanın özellikleri uzun süreli incelenmiştir.



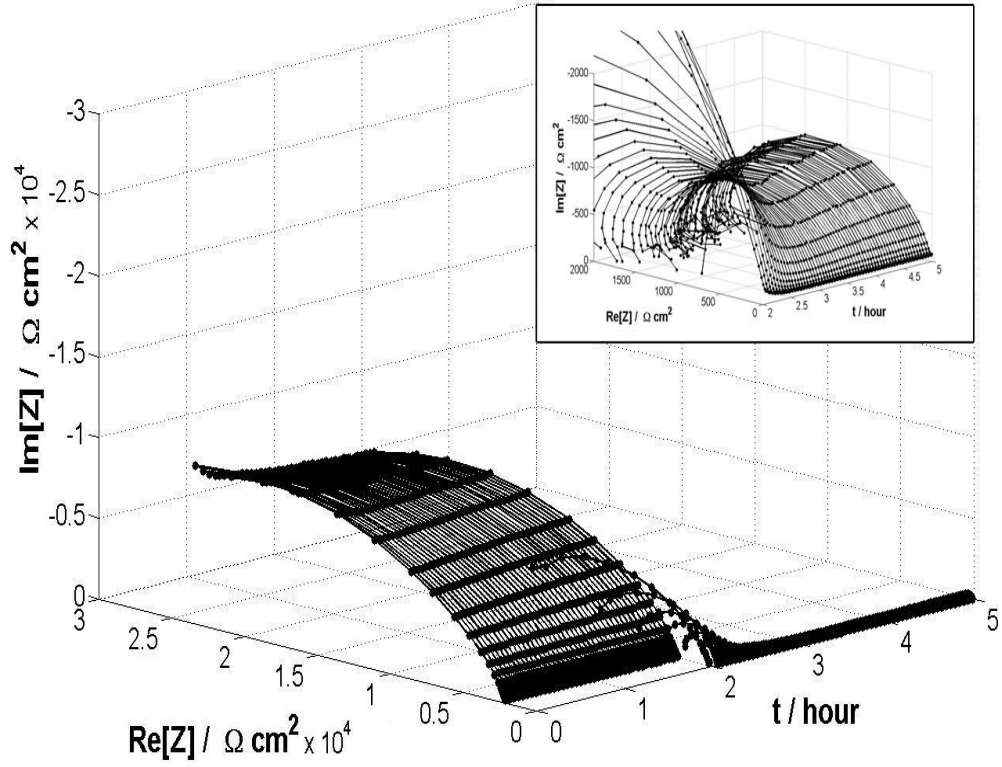
Şekil 3.9. DEİS analizlerinin iş planı akışı.

3.4.1. AA6060 ve AA6082 Alaşımlarının 3 Saat Yapay Asit Yağmuru Çözeltisinde Korozyon Davranışının DEIS Yöntemiyle Belirlenmesi

Alüminyum 6060 ve 6082 alaşımları 2 saat suda pasif hale gelene kadar bekletilmiştir. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının korozyon davranışları 2 saat suda ve 3 saat yapay asit yağmuru damlatılarak toplamda 5 saat süreyle DEIS yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen verilerin 3D grafikleri Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de görölmektedir.



Şekil 3.10. 2 saat saf suda bekletildikten sonra asit yağmuruna maruz kalan AA6060 alaşımının DEIS sonucunun 3D gösterimi.



Şekil 3.11. 2 saat saf suda bekletildikten sonra asit yağmuruna maruz kalan AA6082 alaşımının DEIS sonucunun 3D gösterimi.

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de ki korozyon davranışları incelendiğinde birbirine benzer şekillerin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu bulgu LP, TP ve EIS yöntemleriyle paraleldir.

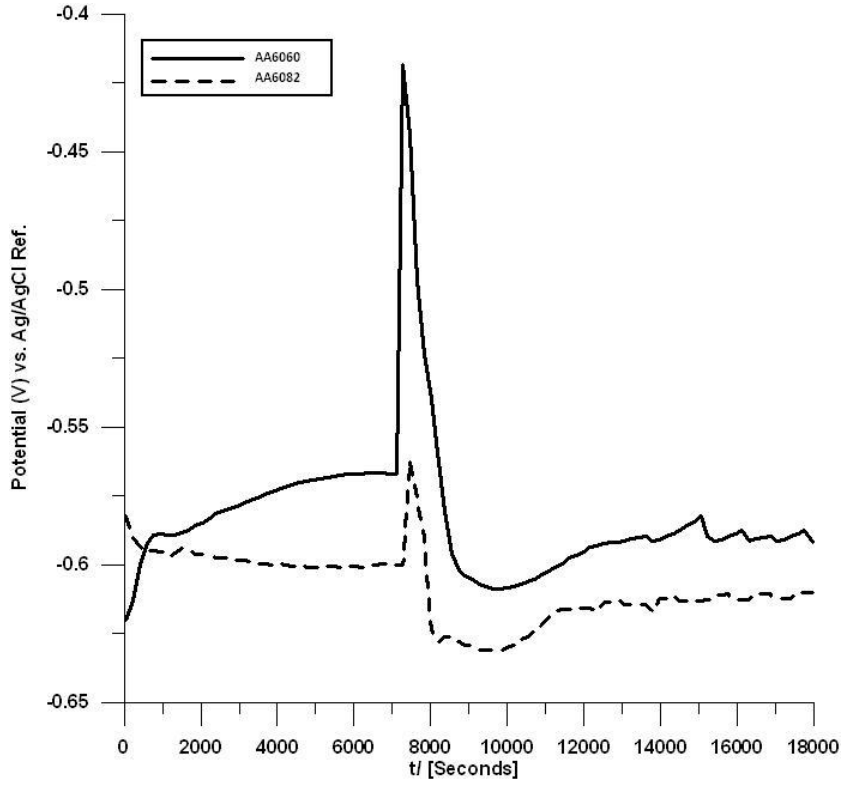
Deneye başladıktan iki saat sonra asit ortama damlatılır damlatılmaz 5 sn gibi kısa bir sürede pH etkisiyle Nyquist diyagramında bir değişim gözlemlenmiştir. Nyquist diyagramının skalası düşmüştür. 2 saatin sonunda oluşan bu bölge büyütülerek Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de ayrıca gösterilmiştir.

Empedans spektrumları analizi ve eşdeğer devrelere deneysel sonuçlarını değerlendirmek için ZSimpwin 3.21 yazılımı kullanılmıştır. EIS yönteminde kullandığımız aynı eşdeğer devrenin yani R(QR) devresinin daha uygun olduğu görülmüştür. Analiz sonuçları Çizelge 3.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. 5 saat sonunda DEIS yöntemi ile elde edilen veriler.

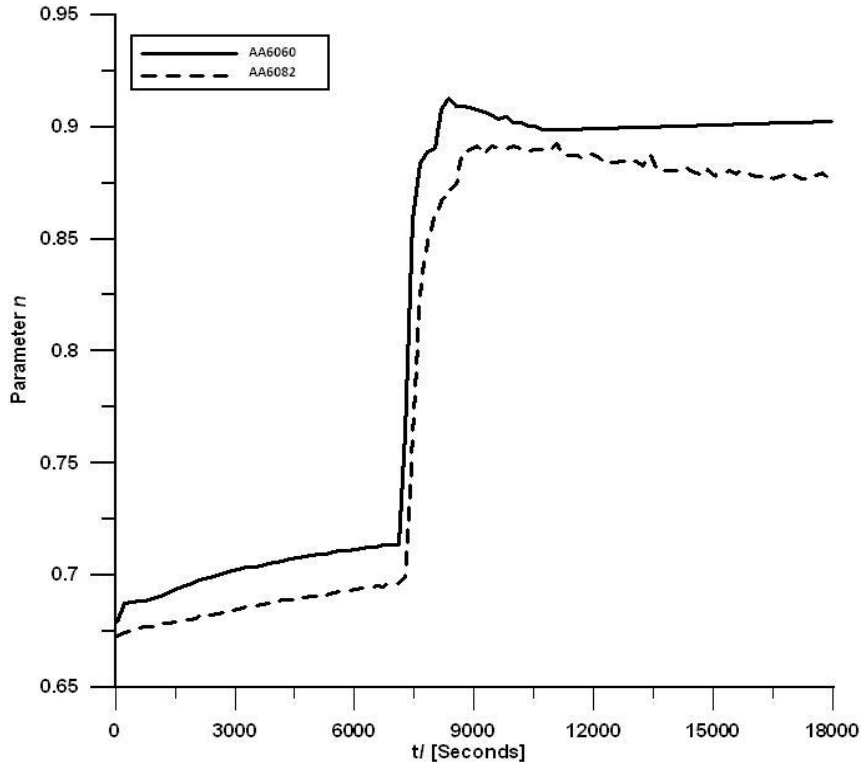
Metal Adı	E (mV)	Q (CPE)	n ($0 \leq n \leq 1$)	R_{ct} (Ω)
AA6060	-0,565	2,84E-05	0,874	652
AA6082	-0,616	2,80E-05	0,876	601

Çizelgede E korozyon potansiyelini, Q çözelti ile oksit tabakası arasında ara yüzeye ait sabit faz elemanı, “n” pürüzlülük faktörü ve R_{ct} ise yük transfer direncini göstermektedir.



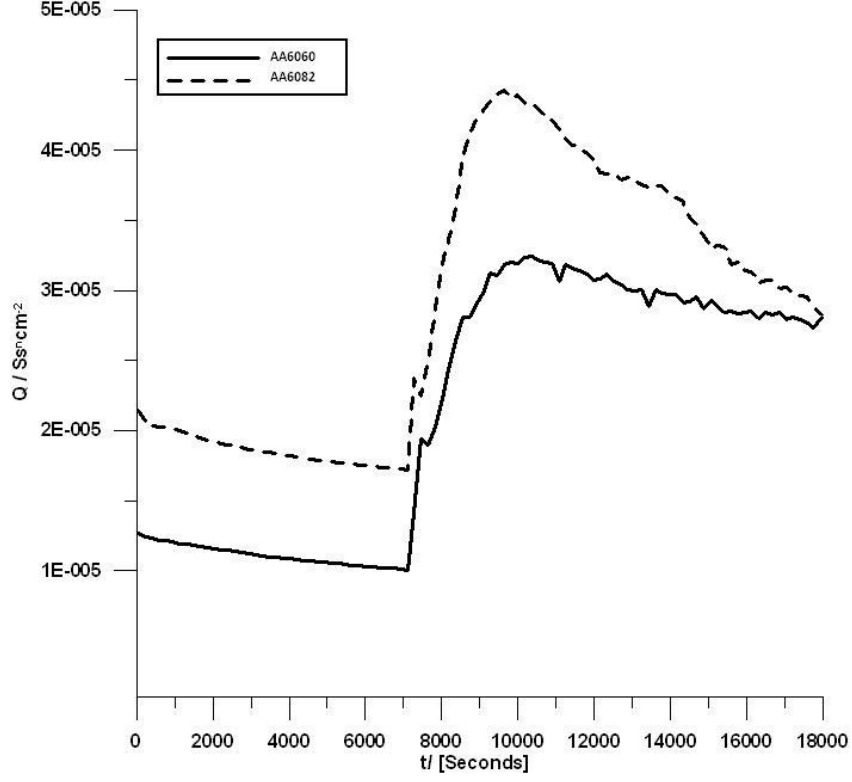
Şekil 3.12. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 5 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı potansiyel değişim grafiğinin gösterimi.

Şekil 3.12’de yapay asit yağmuru çözeltisinde AA6060 ve AA6082 metallerine ait korozyon potansiyel eğrileri görülmektedir. Her iki metalde de asit ilave edildikten sonra ani bir değişim olduğu ve 10000. saniyeden sonra grafiğin stabil hale geldiği görülmektedir. AA6060 metalinde -0,620 mV'dan başlayan potansiyel değerinin -0,565 mV'da sona erdiği görülürken, AA6082 metalinde -0,582 mV’den başlayan potansiyel değerinin 5 saat sonunda -0,616 mV'a düştüğü görülmektedir.



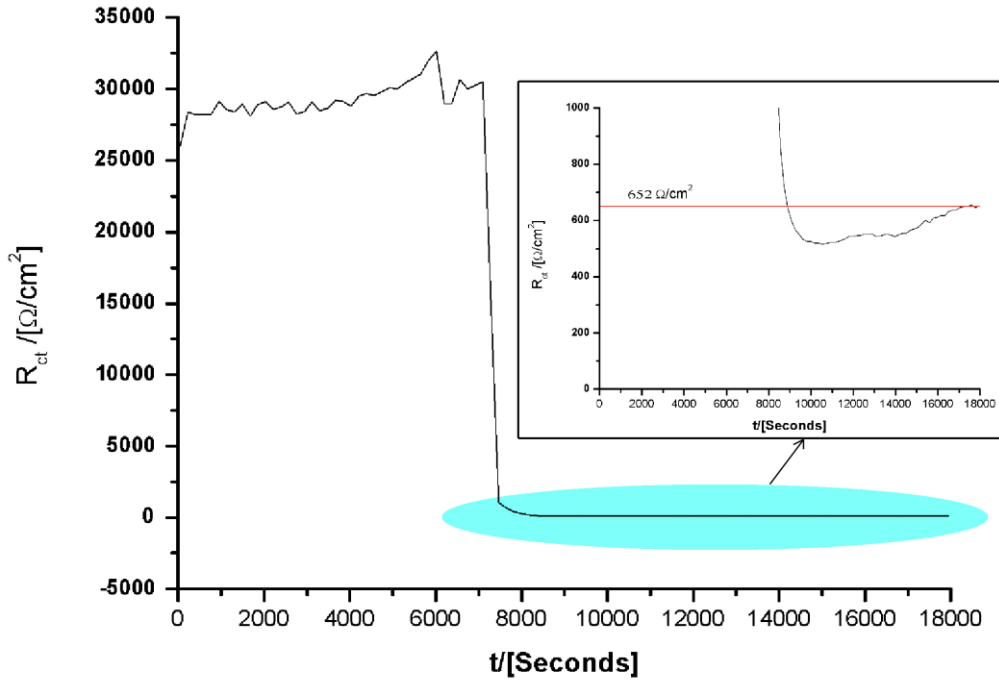
Şekil 3.13. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 5 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı yüzey pürüzlülüklerinin (n parametresi) gösterimi.

Şekil 3.13'te yapay asit yağmuru çözeltisinde AA6060 ve AA6082 metallerine ait yüzey pürüzlülük (n parametresi) eğrileri görülmektedir. Her iki metalde de asit ilave edildikten sonra ani bir artış olduğu ve 9000. saniyeden sonra grafiğin stabil hale geldiği görülmektedir. AA6060 metalinde başlangıçta 0,678 okunan n değerinin asit ilave edildikten sonra artarak 0,905 olduğu, AA6082 metalinde ise 0,673 okunan değer 5 saat sonunda 0,876'ya yükseldiği görülmektedir. “n” ve “Q” değerindeki artış R_{ct} değerindeki azalma ile ilişkilidir. Zamanla gözlenen korozyon miktarındaki artış “n” ve “Q” değerini arttırmıştır.

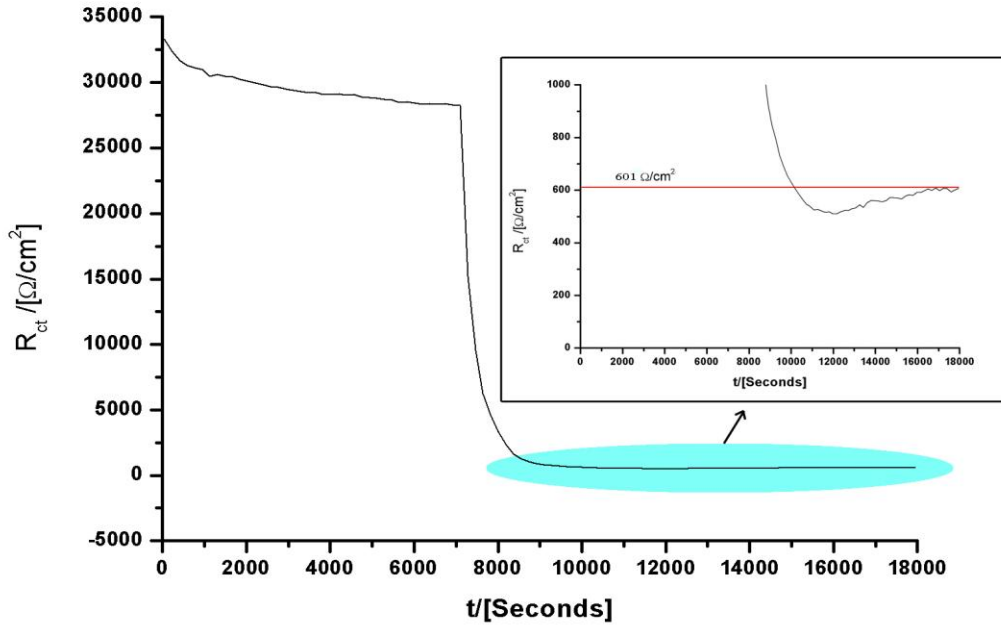


Şekil 3.14. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 5 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı Q grafiğinin gösterimi.

Şekil 3.14'te yapay asit yağmuru çözeltisinde AA6060 ve AA6082 metallerine ait Q eğrileri görülmektedir. Her iki metalde de asit ilave edildikten sonra ani bir artış olduğu ve sonrasında giderek azaldığı görülmektedir. AA6060 metalinde başlangıçta 2,15E-05 okunan değerin asit ilave edildikten sonra artarak 2,84E-05 olduğu, AA6082 metalinde ise 1,27E-05 okunan değerin 5 saat sonunda 2,80E-05'e yükseldiği görülmektedir.



Şekil 3.15. AA6060 alaşımının 5 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı direnç grafiğinin gösterimi.



Şekil 3.16. AA6082 alaşımının 5 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı direnç grafiğinin gösterimi.

Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da yapay asit yağmuru çözeltisinde AA6060 ve AA6082 metallerine ait R_{ct} eğrileri görülmektedir. Her iki metalde de asit ilave edildikten sonra ani bir azalış olduğu ve potansiyel, n ve Q değişiminde olduğu gibi 10000 saniye sonrasında sabit kaldığı görülmektedir. 5 saat DEIS deneyi sonucunda AA6060 metalinde R_{ct} değerinin 652 Ω , AA6082 metalinde 601 Ω olduğu görülmektedir.

3.4.2. Alüminyum 6060 ve 6082 Alaşımlarının 48 Saat Yapay Asit Yağmuru Çözeltisinde Korozyon Davranışının DEIS Yöntemiyle Belirlenmesi

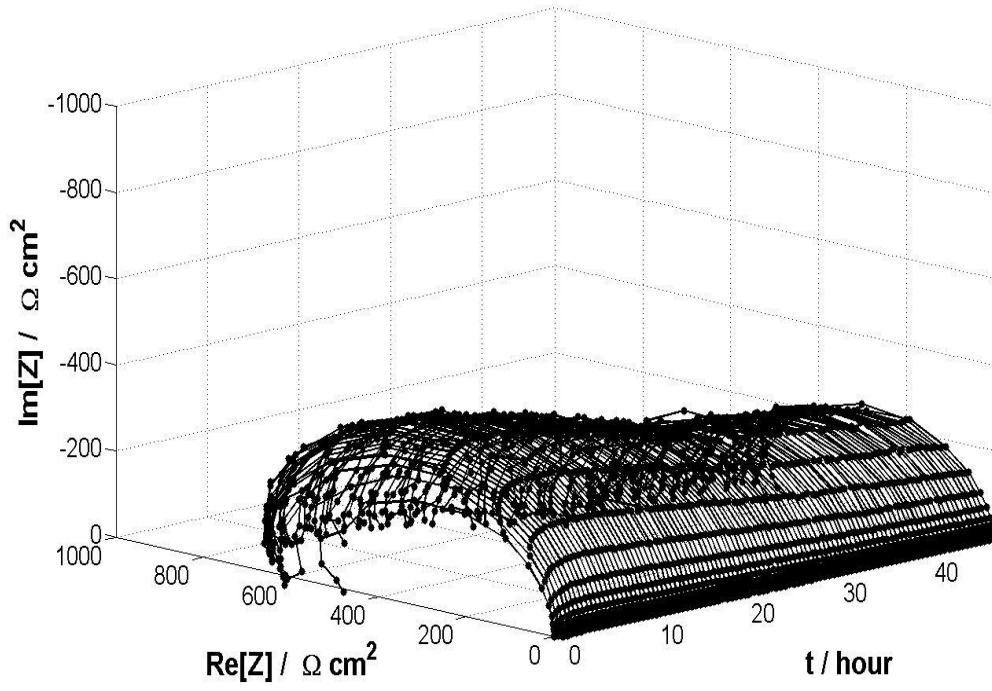
LP, TP ve EIS verileri, çalışılan AA6060 ve AA6082 alaşımları arasında deney sonunda asit yağmurlarının etkisiyle oluşan elektrokimyasal korozyonun yaklaşık aynı değerde olduğunu göstermektedir. 5 saat süren DEIS verileri de bunu desteklemektedir. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının yapay asit yağmurlarına karşı direncinin 48 saat boyunca da aynı olup olmadığı, sistem hakkında anlık bilgi veren DEIS yöntemiyle araştırılarak bu savın doğrulanması amaçlanmıştır.

48 saat boyunca asit yağmuruna maruz kalan AA6060 ve AA6082 alaşımlarına ait DEIS yöntemiyle elde edilen verilerin Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de 3D grafikleri görülmektedir. Nyquist diyagramlarının zamana bağlı olarak küçüldüğü görülmektedir. Büyütülerek Şekil 3.15 ve 3.16'nın sağ tarafında gösterildiği (zoom yapılan bölge) gibi R_{ct} değeri 3 saat asit yağmuru içerisinde kalmasına rağmen stabil hale gelememiştir.

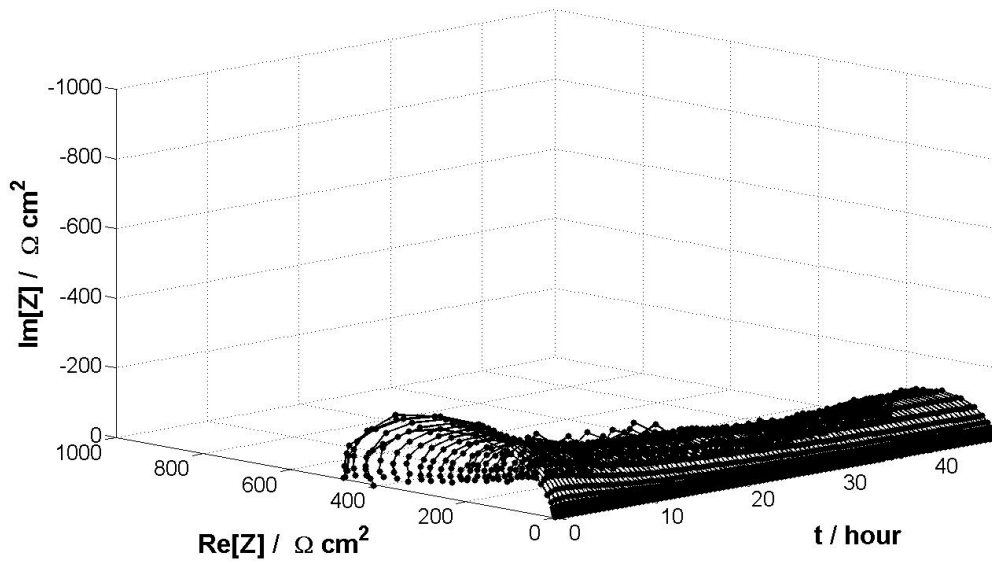
48 saat sonunda elde edilen veriler Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. AA6060 değerindeki değişimin AA6082'ye göre daha az olduğu görülmektedir. Çalışılan sistemde TP, LP, EIS ve hatta 5 saat yapılan DEIS deney sonuçları AA6060 alaşımının, AA6082 alaşımına göre daha uygun olduğunu göstermektedir. 48 saat DEIS verileri zamana bağlı olarak AA6082 alaşımının R_{ct} değerinin %50 oranında azaldığını ve asit yağmurdan daha çok etkilendiğini göstermektedir.

Çizelge 3.6. 48 saat sonunda DEIS yöntemi ile elde edilen veriler.

Metal Adı	E (mV)	Q (CPE)	R_{ct} (Ω)
AA6060	-0,361	1,09E-05	633,2
AA6082	-0,405	3,11E-05	296,2

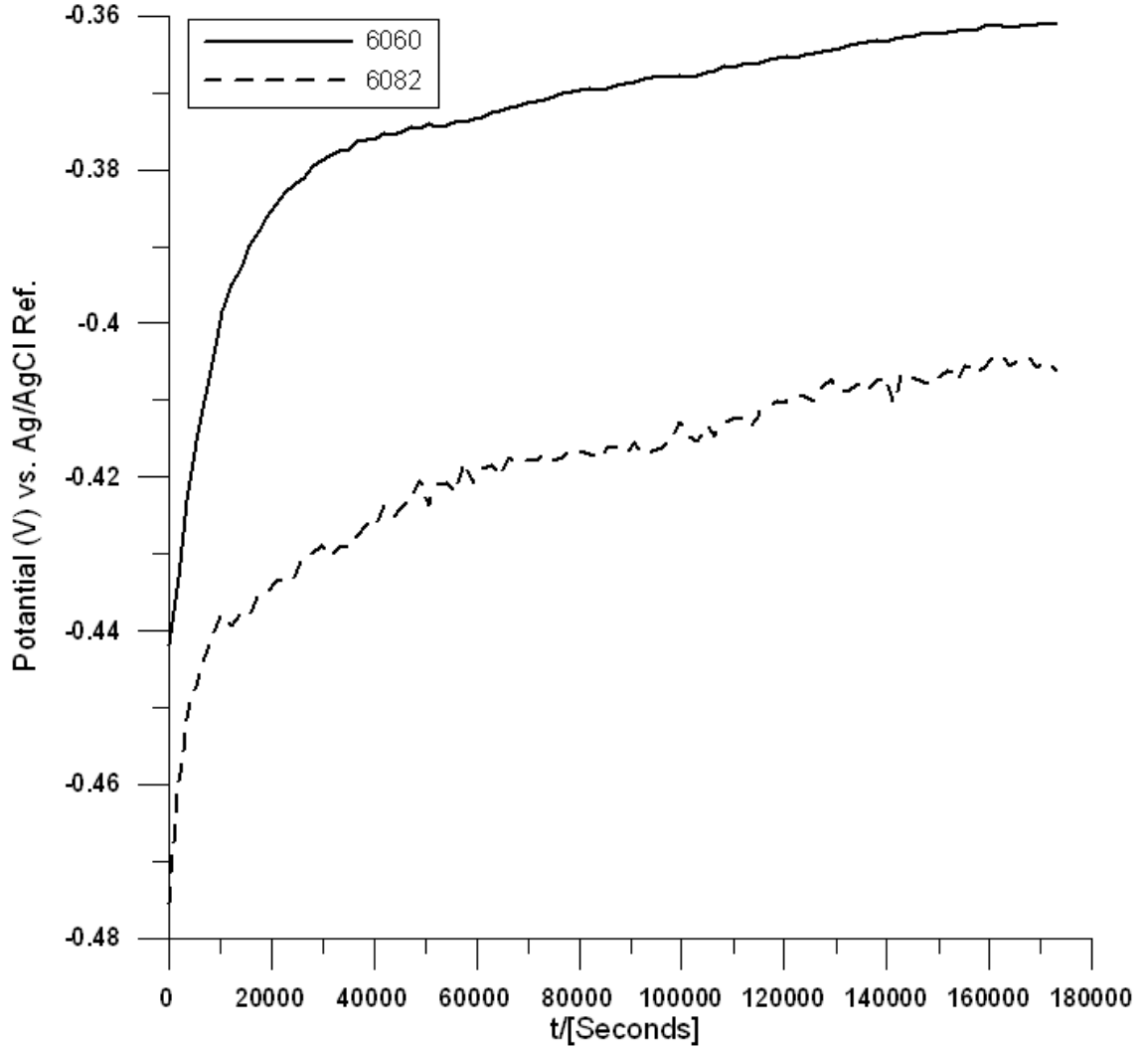


Şekil 3.17. 48 saat asit yağmuruna maruz kalan AA6060 alaşımının DEIS sonucunun 3D gösterimi.

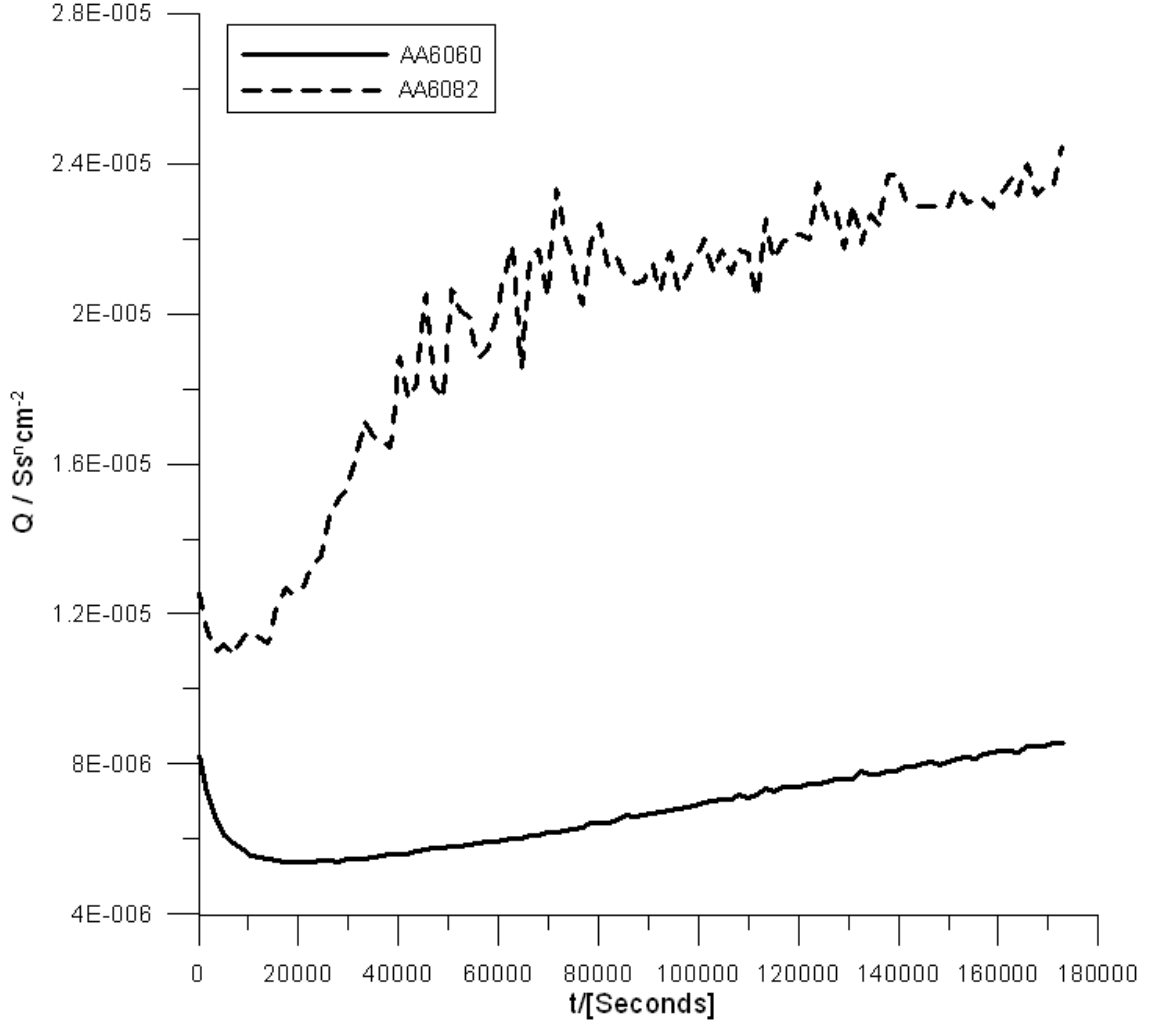


Şekil 3.18. 48 saat asit yağmuruna maruz kalan AA6082 alaşımının DEIS sonucunun 3D gösterimi.

Şekil 3.19’da AA6060 ve AA6082 metallerinin potansiyel (E) diyagramları görülmektedir. Potansiyel değişimleri birbirine başlangıçta yakınken, zamanla bu makasın arttığı görülmektedir. Bu değişim Şekil 3.20’de gösterilen Q ve 3.21’de gösterilen R_{ct} değişiminde de gözlemlenmektedir. Bunun sebebi, zamanla AA6082 alaşımının daha çok korozyona uğramasıdır.

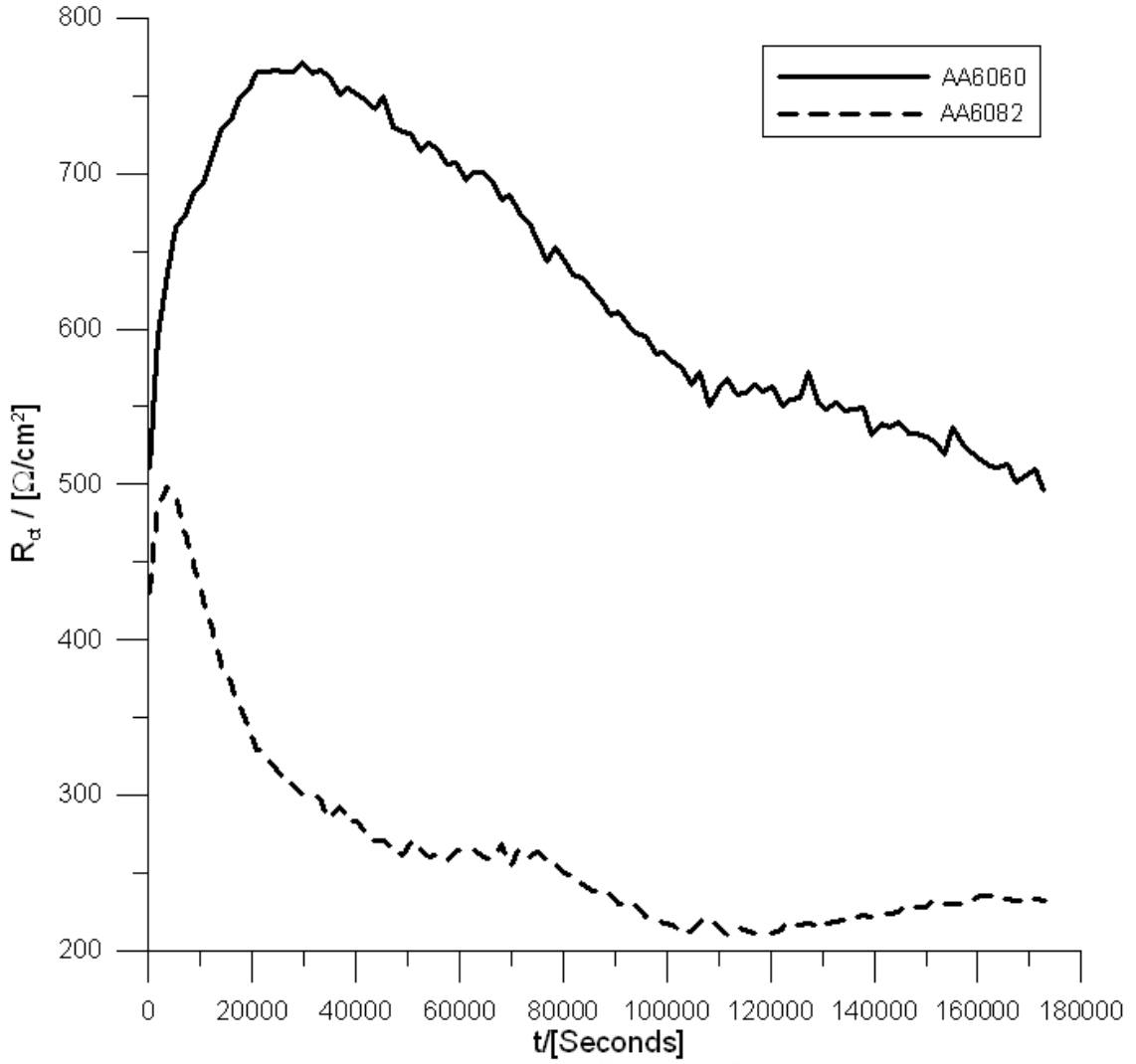


Şekil 3.19. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 48 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı potansiyel değişim grafiğinin gösterimi.



Şekil 3.20. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 48 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı Q grafiğinin gösterimi.

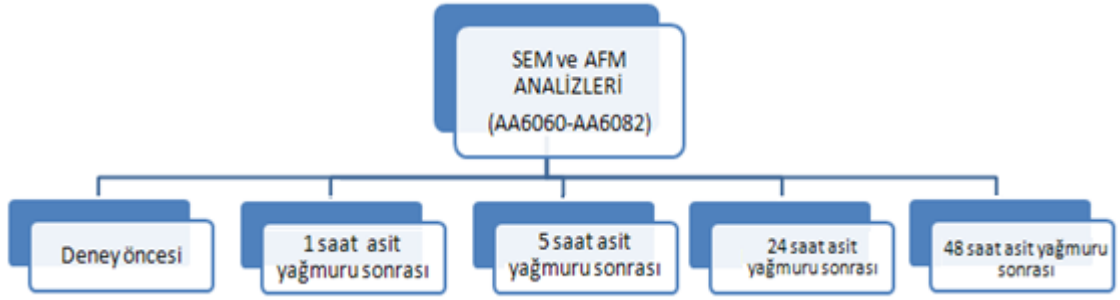
Şekil 3.20’de Q değerinin zamana bağlı değişimi gözlemlenmektedir. Q, ideal olmayan kapasitans davranışı olarak tarif edilmektedir. Zamanla gözlenen Q değerindeki azalma yüzeyde oluşan film tabakasına bağlanmaktadır [Gerengi ve diğ. 2009]. AA6060 alaşımına ait Q değerleri AA6082 ye göre daha düşüktür. AA6082 alaşımına ait Q değerleri de 1,2E-05’ten 2,5E-05’e doğru zamanla artmaktadır. Aynı doğrultudaki değişim Şekil 3.21’de gösterilen R_{ct} değişiminde de görülmektedir. AA6060 metalinin R_{ct} değerinin AA6082 metaline oranla yüksek olduğu ve AA6082 metalinin sistemden daha çok etkilendiği görülmektedir.



Şekil 3.21. AA6060 ve AA6082 alaşımlarının 48 saatlik DEIS yöntemi sonucu zamana karşı R_{ct} grafiğinin gösterimi.

3.5. YAPAY ASİT YAĞMURU ÇÖZELTİSİNDE AA6060 VE AA6082 ALAŞIMLARININ FARKLI ZAMAN ARALIKLARINDA YAPILAN SEM VE AFM ANALİZLERİ

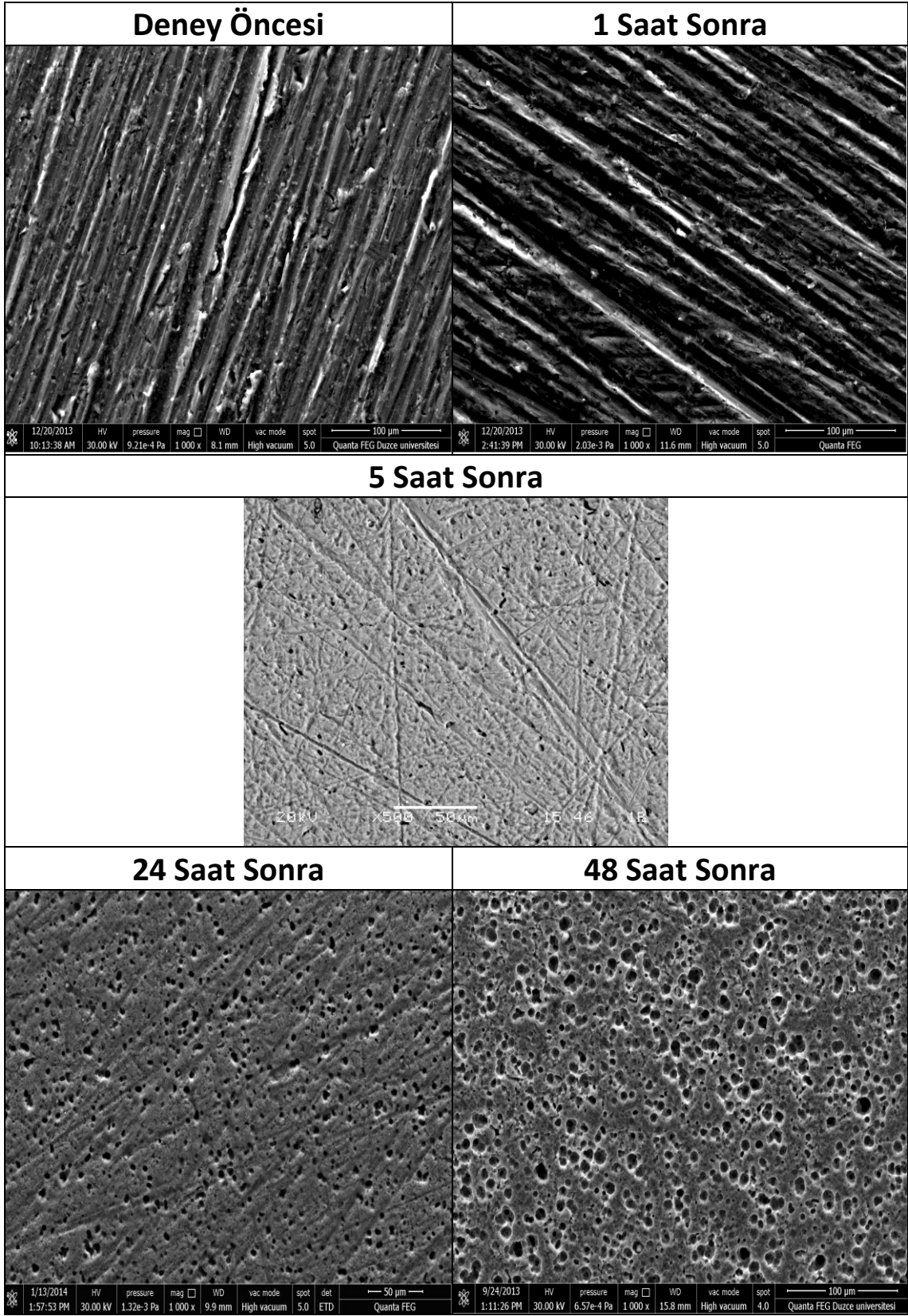
SEM ve AFM analizleri farklı zaman aralıklarında ve online olarak korozyon davranışlarını inceleme imkanı sağladığı için Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemi sonunda metal numunelerin yüzeyinden çekilerek incelenmiştir. Şekil 3.22’de görüldüğü gibi SEM ve AFM analizlerinin iş planı akışı görülmektedir.



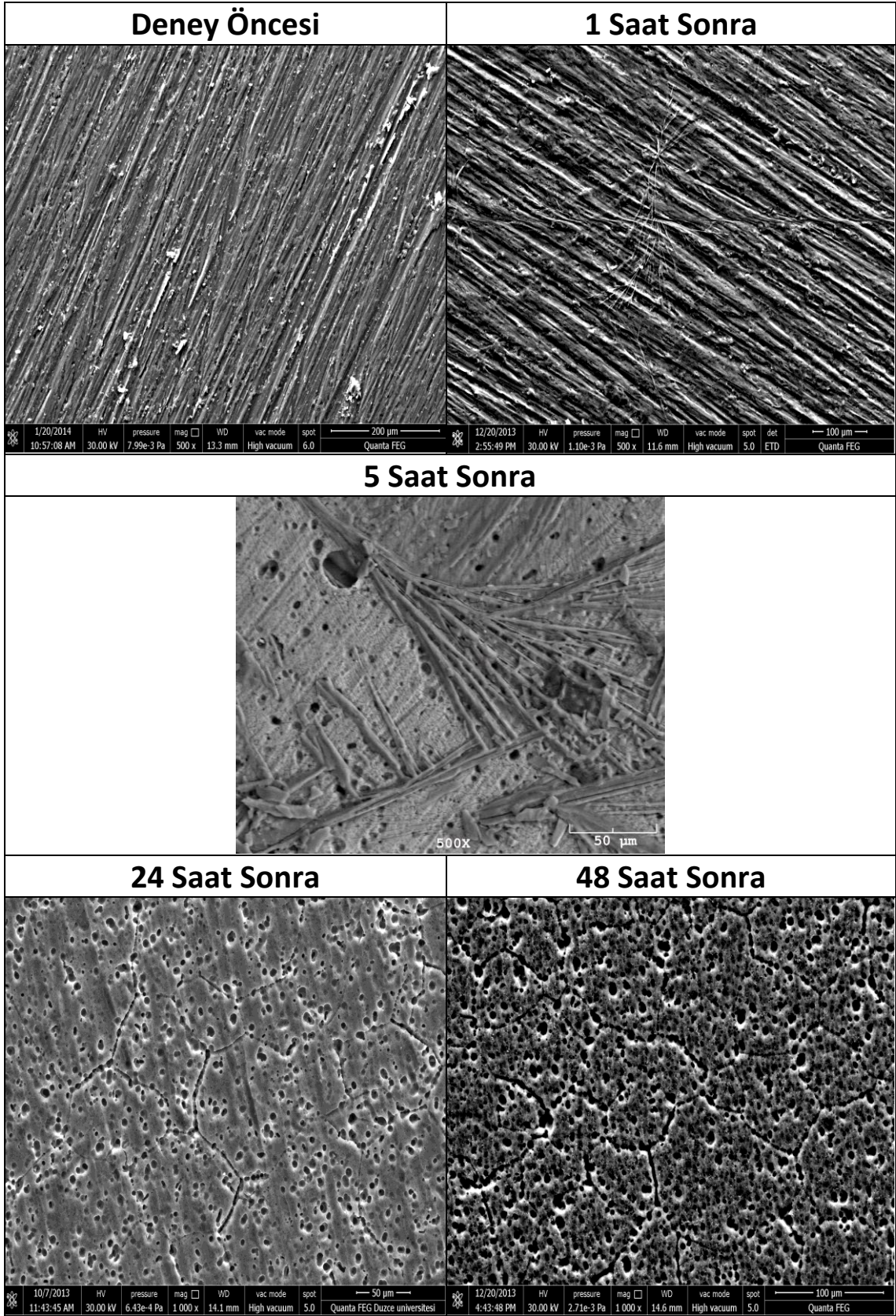
Şekil 3.22. SEM ve AFM analizlerinin iş planı akışı.

Şekil 3.23 ve 3.24’te görüldüğü gibi deney öncesi ve 1 saat sonundaki SEM resimlerinde metal yüzeyinin hazırlanmasına bağlı olarak oluşan yüzey çizikleri fark edilmektedir. Çalışılan her iki alaşımın 1 saat sonundaki SEM resimlerinden bu sürenin çukur (pitting) oluşumu için yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.25 ve 3.26’da AFM analizlerinden bu daha belirgin görülmektedir. 5 saat sonunda metal yüzeyinde bozulmaların ve çukurların oluştuğu görülmektedir. AA6060 alaşımının yüzeyinde oluşan çukurların AA6082’ye göre daha sık fakat küçük olduğu görülmektedir. Bu farklılığın sebebi alaşımların intermetalik faz farkından kaynaklandığı düşünülmektedir [Nisancıoğlu 1990].

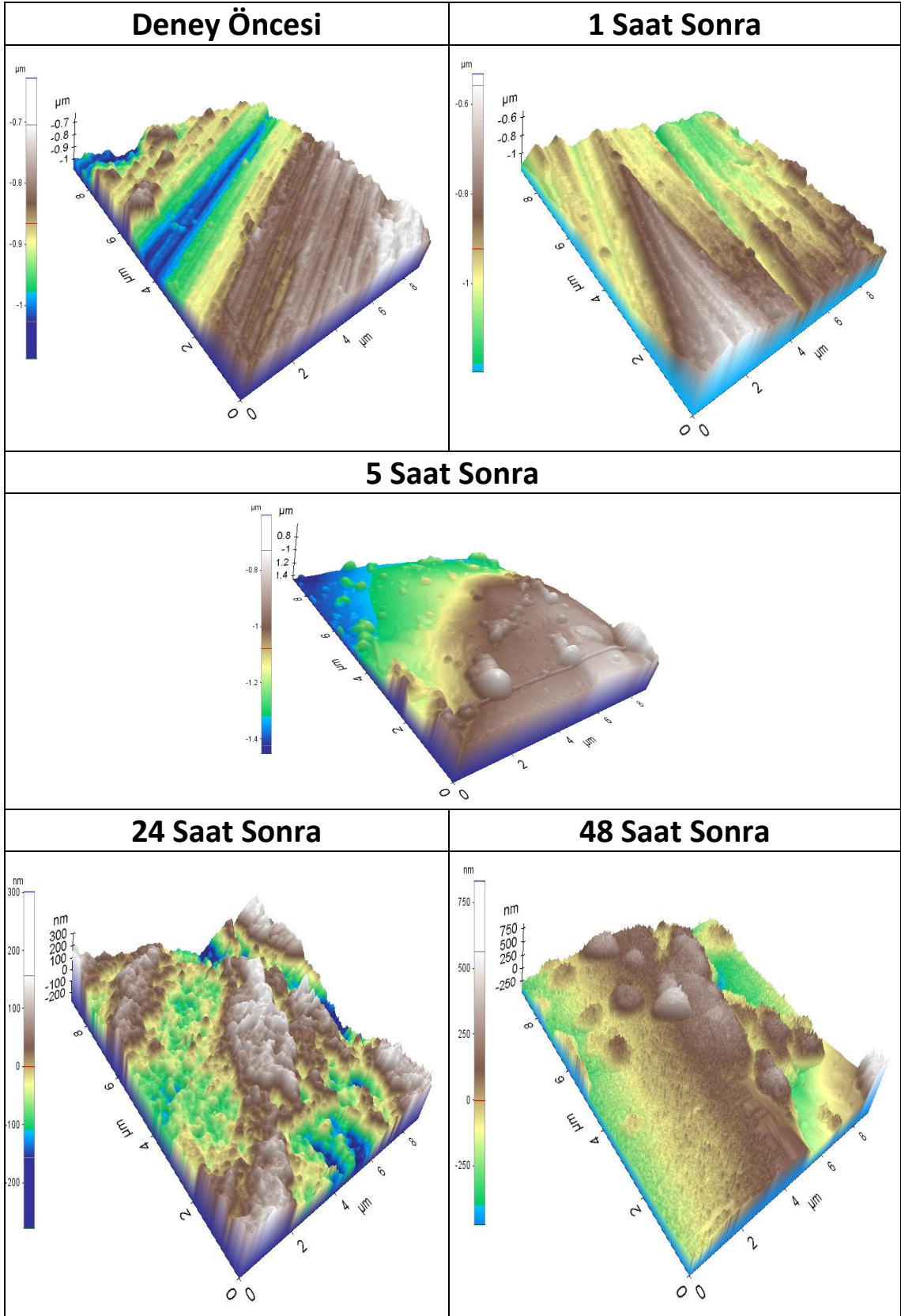
AA6060 ve AA6082 numunelerin yüzeyinde zamana bağlı olarak çukurların sayısının arttığını görmekteyiz. 48 saatin sonunda yüzeyde oluşan çukurlar arasında kılcal çatlaklar oluştuğu yine SEM ve AFM analizlerinden anlaşılmaktadır. Bu çatlaklar AA6082 yüzeyinde daha derin ve büyüktür. 48 saat sonunda elde edilen veriler AA6082 alaşımında R_{ct} değişiminin çok daha fazla olmasının sebebi de budur.



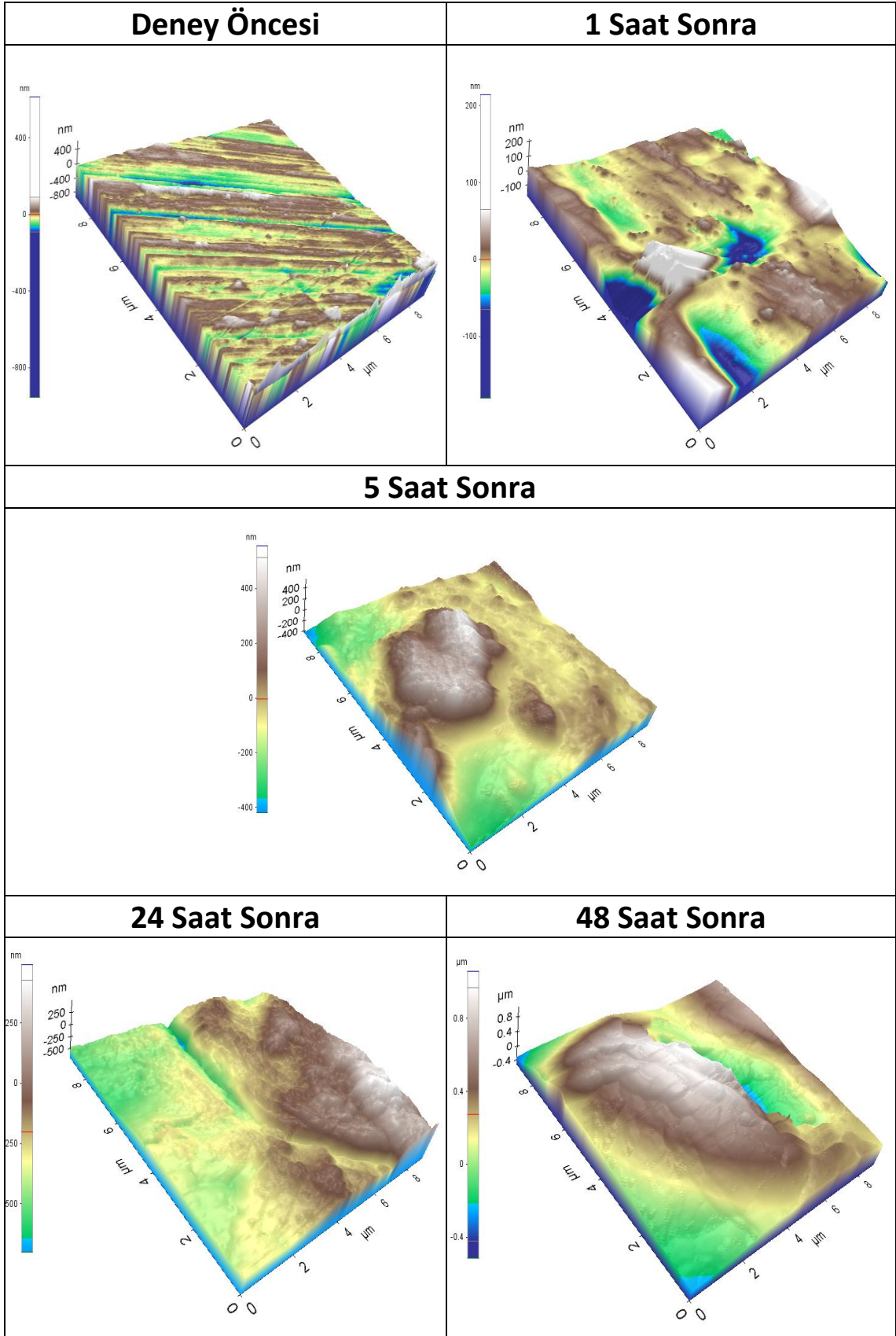
Şekil 3.23. AA6060 alaşımının DEIS yöntemi sonucu elde edilen SEM görüntüleri.



Şekil 3.24. AA6082 alaşımının DEIS yöntemi sonucu elde edilen SEM görüntüleri.



Şekil 3.25. AA6060 metaline ait DEIS yöntemi sonrası elde edilen AFM analizleri.



Şekil 3.26. AA6082 metaline ait DEIS yöntemi sonrası elde edilen AFM analizleri.

Şekil 3.25 ve 3.26'da görüldüğü gibi deney öncesi AFM analizi görüntüsünde AA6060 ve AA6082 alaşımlarının zamana bağlı olarak yüzey şekillerinin değiştiği görülmektedir. Deney öncesi çalışılan her iki alaşımın yüzeyinde parlatma izleri belirginleşmiş yani klasik bir abrasif aşınma yüzeyi oluşmuştur. 1 Saat sonunda yapılan AFM analizinde ise parlatma sonucu oluşan yivlerin derinliğini azalmış, yiv etrafındaki alüminyum esaslı tepcilerde ovalleşmiş tümsekler kararsız olduğu için öncelikle bu bölgelerde malzeme kayıpları oluşmaya başlamıştır. 5 ve 24 saat sonunda yapılan AFM analizinde parlatma sonrası oluşan paralel yivler tamamen kaybolmuş bu durum korozyonun parlatma sonrası oluşan yüzeyin altına kadar devam ettiğini göstermektedir. Yüzeyde görünen yarı küreler ortalama 300-1000 nm arasında boyuta sahip olduklarından bu küreciklerin alüminyum alaşımında var olan çökelti partikülleri olduğuna inanılmaktadır. 48 saat sonunda yapılan AFM analizinde ise çok uzun süre bekletme sonucu aşırı şekilde korozyon meydana gelmiştir. Yüzeyde görülen tepciler ve bunları çevreleyen derin çukurcuklar oyuklu (pitting) türde korozyonun meydana geldiğine işaret etmektedir.

Şekil 3.22.'de gösterilen iş planı çerçevesinde AA6060 ve AA6082 alaşımlarının AFM analiz sonuçları Çizelge 3.7'de gösterilmiştir. R_a yüzeyde meydana gelen pürüzlülük değerlerinin ortalamasını, R_z on noktadan alınan pürüzlülük değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir [Strzałkowskia ve diğ. 2014]. AA6082 metalinin ortalama pürüzlülük değerindeki yüzde değişimin AA6060'a göre daha fazla olduğu görülmektedir. Zamanla AA6082 alaşımına ait R_a ve R_z değerlerinin %39,43 ten %87,92'ye çıktığı görülmektedir. SEM resimleri de (Şekil 3.24) AA6082 alaşımının zamanla yüzeyinin daha çok bozulduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.7. AFM analiz sonuçları.

Ortam	AA6060			AA6082		
	R_a (μm)	R_z (μm)	% Değişim(R_a)	R_a (μm)	R_z (μm)	% Değişim(R_a)
Deney Öncesi	0,065	0,226	-	0,043	0,211	-
1 Saat Sonra	0,099	0,228	34,34	0,071	0,215	39,43
5 Saat Sonra	0,117	0,349	44,44	0,179	0,599	75,97
24 Saat Sonra	0,118	0,427	44,91	0,227	0,644	81,05
48 Saat Sonra	0,211	0,881	69,19	0,356	0,866	87,92

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. DEIS yöntemi ilk defa bu tez çalışmasıyla deney hücresine uzun süre madde ilavesi yapılarak uygulanmıştır.
2. Uygulanan diğer elektrokimyasal korozyon ölçme metotlarına (LP, TP, EIS) nazaran DEIS yönteminin sistem hakkında daha detaylı bilgi verdiği bir kez daha bu tez çalışmasıyla kanıtlanmıştır.
3. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar alüminyum alaşımlarındaki metallerin, alüminyumun korozyon davranışı için önemli olduğunu göstermektedir.
4. AA6060 ve AA6082 metallerinin yapay asit yağmuru çözeltisindeki korozyon davranışları birbirine benzer mekanizmayla yürüdüğü LP, TP, EIS ve DEIS ile ispatlanmıştır. Zamana bağlı olarak yapılan DEIS analizleri ile SEM ve AFM analizleri paralellik göstermektedir.
5. Çalışılan AA6060 ve AA6082 alaşımlarının bulunduğu deney hücresine asit yağmuru damlatılmaya başladıktan 3-5 saniye sonra hemen pasif filmin oluştuğu DEIS ölçümlerinden anlaşılmaktadır.
6. Asit yağmuru etkisiyle oluşan korozyon mekanizması AA6060 ve AA6082 için ilk 5 saate kadar yaklaşık aynı değerde iken özellikle 48 saat sonra iki alaşımın korozyon mekanizması açısından büyük farklılık gösterdiği DEIS, SEM ve AFM analizlerinden anlaşılmaktadır. Büyük yatırımlar yapılmadan önce sistem hakkında genel bilgileri edindiğimiz kısa süreli (1 veya 2 saat sonra yapılan) analizlerden sonra uzun süreli korozyon ölçümlerinin de yapılması gerektiği ortaya konulmuştur.
7. Yapılan korozyon ölçüm yöntemleri sonucunda elde edilen verilerde yapay asit yağmuru çözeltisinde AA6060 metalinin korozyon dayanıklılığının AA6082 metaline göre daha fazla olduğu görülmektedir.
8. Bu sonuçlara dayanarak korozyon direncinin fazla olması bakımından alüminyum giydirme cephe sistemlerinde AA6060 metalinin kullanılmasının daha uygun olduğu önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

Alan S., Alüminyum raporu, *Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği*, (2008) 1-27.

Aydın H., Bayram A., Farklı ısıtım koşullarındaki 2024 alüminyum alaşımlarının korozyon sonrası mekanik özelliklerindeki kaybın belirlenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15 (1) (2010) 159-168.

Aytaç A., Bilgiç S., Gece G., Ancın N., Öztaş S. G., Experimental and theoretical study of the inhibition effects of some schiff bases as corrosion inhibitors of aluminium in HCl, *Materials and Corrosion*, 63 (8) (2012) 729-734.

Bardal E., Corrosion and Prevention, *Springer* (2003) 255.

Bereket G., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, *Doktora ders notları*, (2014).

Brunoro G., Frignani A., Colledan A., Chiavari C., Organic films for protection of copper and bronze against acid rain corrosion, *Corrosion Science*, 45 (2003) 2219-2231.

Cogger N. D., Evans N. J., An Introduction to electrochemical impedance measurement technique report, No: 6, *Solartron Instrument*, (1999).

Çakır A. F., Demir çelik ürünlerinin korozyonu ve galvanizleme, *Galvaniz Dünyası*, 1 (1) (2011) 4-5.

Çakır A. F., Korozyon ekonomisi ve demir çelik ürünlerinin korozyonu, *Galvaniz Dünyası*, 2 (12) (2013) 20-22.

Dana Z., Takigawa S., Muto I., Hara N., Applicability of constant dew point corrosion tests for evaluating atmospheric corrosion of aluminium alloys, *Corrosion Science*, 53(5) (2011) 2006–2014.

De Graeve I., Terryn H., Tompson G. E., Influence of heat transfer on anodic oxidation of aluminium, *J. Appl. Electrochem.* 32 (2002) 73-83.

De Graeve I., Terryn H., Tompson G. E., Heating effects during anodizing of aluminium studied in a wall-jet electrode reactor, *Abstracts 3rd International*

Symposium 'Aluminium surface science and technology, Bonn, Germany, **(2003)** 18-22.

Doğan G., Gökaltun E., Metal yapı malzemelerinde atmosferik korozyonun oluşumuna ilişkin deneysel bir çalışma, *Uluslararası Korozyon Sempozyumu*, Cilt 1, Ankara, **(2004)** 264-271.

Eker A., Demir dışı metal ve alaşımlarının korozyonu, *YTÜ Korozyon ve Korunma Ders Notları*, **(2009)**.

Erbil M., *Korozyon İlkeler-Önlemler*, Korozyon Derneği, **(2012)**.

Eruysal E., Fertelli H. M., 2012 yılında enerji-dışı emtia piyasaları, ekonomik araştırmalar ve değerlendirme genel müdürlüğü, *T.C. Ekonomi Bakanlığı*, Mayıs **(2013)** 1-23.

Gedik D., Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının sodyum dikromat ve sülfürik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana **(2008)**.

Gerengi H., Tafel Polarizasyon (TP), Lineer Polarizasyon (LP), Harmonik Analiz (HA) ve Dinamik Elektrokimyasal impedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemleriyle düşük karbon çeliği (AISI 1026), pirinç-MM55 ve nikelium-118 alaşımlarının yapay deniz suyunda korozyon davranışları ve pirinç alaşımlarına benzotriazol'un inhibitör etkisinin araştırılması, *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, **(2008)**.

Gerengi H., Darowicki K., Bereket G., Slepski P., Evaluation of corrosion inhibition of brass-118 in artificial seawater by benzotriazole using Dynamic EIS, *Corrosion Science*, 51 **(2009)** 2573–2579.

Gerengi H., Akçay Ç., Güler C., Şahin H. İ. Orman ürünleri endüstrisinde kullanılan fenol ve melamin formaldehit tutkallarının paslanmaz çelik (AISI 316L) korozyonuna etkisi, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 13 **(2012)** 155-161.

Gerengi H., Slepski P., Ozgan E., Kurtay M., Investigation of corrosion behavior of 6060 and 6082 aluminum alloys under simulated acid rain conditions, *Materials and Corrosion*, **(2013)** DOI: 10.1002/maco.201307287.

- Gerengi H., Kurtay M., Teaching "corrosion and corrosion-resistant materials" class as a must course in material and material processing technologies program, *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 3 (2013) 67-71.
- Gerengi H., Kurtay M., Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS), *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (2014) 71-78
- Gökaltun E., Atmosferik kirleticilerin kireçtaşı mermerleri üzerindeki parlaklık kaybına etkisi, *Doktora Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, (2001).
- Gökaltun E., Metal yapı malzemelerinde korozyon ve etkileri”, *Prof. Dr. Yavuz Koşaner İçin Üç Kuşak Mimarlık Yazıları*, Anadolu Üniversitesi Basım Evi, (2010) 217-224.
- Hamdy A. S., Shenawy E. El, Bitar T. El., Electrochemical Impedance Spectroscopy study of the corrosion behavior of some niobium bearing stainless steels in 3,5% NaCl, *International Journal of Electrochemical Science*, (2006) 171-180.
- İrtem E., Tığ G., Giydirmeye cephe taşıyıcı sistem profilleri için optimum (ekonomik) kesit boyutlarının geliştirilmesi, 3. *Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, 17-18 Ekim (2006) İTÜ-İstanbul.
- Kaewmaneeikul T., Lothongkum G., Effect of aluminium on the passivation of zinc–aluminium alloys in artificial seawater at 80 °C, *Corrosion Science*, 66 (2013) 67–77.
- Kenneth R.T., *Corrosion for Science Engineering*, ISBN 978-0582238695 Longman pup, (1998) 125-225.
- Konuklu S., Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının sülfürik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, (2007).
- Li X., Nie X., Wang L., Northwood D.O., Corrosion protection properties of anodic oxide coatings on an Al–Si alloy, *Original Research Article Surface and Coatings Technology*, 200 (2005) 1994-2000.
- Liu J., Zhu X., Sudagar J., Diao W., Yu S., Increased corrosion resistance of closed-cell aluminum foams by electroless Ni-P coatings, *Materials Transactions*, 52 (12) (2011) 2282-2284.

- Lu Y., Wang Z., Ke W., Study on influence of native oxide and corrosion products on atmospheric corrosion of pure Al, *Corrosion Science*, 80 (2014) 169–176.
- Luo L.C., Zhao R.G., Meng J., Chen J.F., White anodic coating on aluminium surface for spacecraft, *Journal of Inorganic Materials*, (2002) 1269-1276.
- Mansfeld F., Chen C., Breslin C. B. and Dull D., Sealing of anodized aluminum alloys with rare earth metal salt solutions, *J. Electrochem. Soc.*, (1997) 602-620.
- Mansfeld F., Chen C., Breslin C. B. and Dull D., Sealing of anodized aluminum alloys with rare earth metal salt solutions, *J. Electrochem. Soc.*, 145 (1998) 2792-2798.
- Moutarlier V., Gigandet M.P., Pagetti J., Ricq L., Molybdate/sulphuric acid anodizing of 2024 aluminium alloy: Influence of inhibitor concentration on film growth and corrosion resistance, *J. Surface and Coating Technology*, 173 (2003) 87–95.
- Nagarajan S., Tamilselvi S., Rajendran N., Evaluation of localised corrosion behaviour of super austenitic stainless steels using dynamic electrochemical impedance spectroscopy, *Materials and Corrosion*, 58 (1) (2007) 33-38.
- Nisancioglu K., Electrochemical behavior of aluminum-base intermetallics containing iron, *Journal of The Electrochemical Society*, 137(1) (1990) 69-77.
- Onuchukwu A.I., Oppong-Boachie F.K, The corrosion behavior of aluminum alloy AA1060 in p-quinone and acetic acid media, *Corrosion Science*, 26 (1986) 919-926.
- Odabaş C., Alüminyum ve Alaşımların Kaynağı, *Askaynak*, (2007) 1-19.
- Özler S., Akdağ E., Asit yağmurları, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Ocak (2011) 64-67.
- Öztürk G., Düzce ilinde trafikten kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, (2006).
- Palta A., Yerde oluşturulmuş magnezyum silisit partikül takviyeli alüminyum-magnezyum-silisyum matrisli kompozitlerin aşınma ve korozyon davranışlarına titanyum ve bakırın etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, (2009).

- Petrucci and Harwood, *General Chemistry: Principles and modern applications*, 7th ed. Upper Saddle River, NJ: *Prentice Hall*, (1997) 614-615.
- Ragab Kh. A., Abdel-Karim R., Farag S., El-Raghy S.M., Ahmed H.A., Influence of SiC, SiO₂ and graphite on corrosive wear of bronze composites subjected to acid rain, *Tribology International*, 43 (2010) 594-601.
- Revie R. Winston, Uhlig Herbert H., *Corrosion and corrosion control*, Wiley-Interscience, (2008) 384.
- Strzałkowska K., Kuleszab S., Zakrzewski J., Malinski M., Surface investigations of ZnBeMnSe mixed crystals by means of the piezoelectric spectroscopy and the AFM technique, *Applied Surface Science*, 290 (2014) 27–34.
- Svenningsen G., Lein J. E., Bjørgum A., Nordlien J. H., Yu Y., Nişancıoğlu K., Effect of low copper content and heat treatment on intergranular corrosion of model AlMgSi alloys, *Corrosion Science*, 48 (2006) 226–242.
- Svenningsen G., Larsen M. H., Nordlien J. H., Nişancıoğlu K., Effect of high temperature heat treatment on intergranular corrosion of AlMgSi(Cu) model alloy, *Corrosion Science*, 48 (2006) 258–272.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Temiz Hava Eylem Planı 2010-2013.
- Tekin K. C., Çakmak E., Malayoğlu U., Plazma elektrolitik oksitlenme yöntemiyle hafif metallerin kaplanması, *Mühendis ve Makine*, 49 (582) (2008) 3-9.
- Trdan U., Grum J., Evaluation of corrosion resistance of AA6082-T651 aluminium alloy after laser shock peeling by means of cyclic polarization and EIS methods, *Corrosion Science*, 59 (2012) 324–333.
- Tsangaraki-Kaplanoglou I., Theohari S., Dimogerontakis Th., Wang Y. M., Kuo H., Kia S., Effect of alloy types on the anodizing process of aluminum, *Original Research Article Surface and Coatings Technology*, 200 (2006) 2634-2641.
- Türkiye demir ve demir dışı metaller meclisi sektör raporu 2011*, Afşaroğlu Matbaası, (2012) 1-88.

- Ulucak T., Alüminyum ekstrüzyon profil özellikleri, *Teknik Makale*, (2014).
- Üneri S., *Korozyonun temel ilkeleri*, SAGEM, (1998) 462.
- Varga Z., Hargittai M., Structures and thermodynamic properties of aluminum oxyhalides: a computational study, *Structural Chemistry*, 19(4) (2008) 595-602.
- Yang L., Zhang Y., Zeng X., Song Z., Corrosion behaviour of superplastic Zn–Al alloys in simulated acid rain, *Corrosion Science*, 59 (2012) 229–237.
- Yang W. J., Yang P., Li X. M. and Feng W. L., Influence of tensile stress on corrosion behaviour of high strength galvanized steel bridge wires in simulated acid rain, *Materials and Corrosion*, 63(5) (2012) 401-407.
- Zeren M. A., *Elektrokimya*, ISBN:975-511-156-5, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1999).

6. EKLER

6.1. BU TEZDEN YAPILAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

1. H. Gerengi, P. Slepski, E. Ozgan, M. Kurtay, Investigation of corrosion behavior of 6060 and 6082 aluminum alloys under simulated acid rain conditions, *Materials and Corrosion*, DOI: 10.1002/maco.201307287 (2013).
2. H. Gerengi, P. Slepski, E. Ozgan, M. Kurtay, Evaluation of corrosion behaviour of 6060 and 6082 type aluminum alloys in simulated acid rain using dynamic EIS, *EUROCORR 2013 European Corrosion Congress*, Italy, (2013) oral presentation.
3. H. Gerengi, M. Kurtay, Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS), *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2 (2014) 71-78.
4. H. Gerengi, G. Bereket, M. Kurtay, AFM study of corrosion process of 6060 aluminum alloy under simulated acid rain conditions, *13. Uluslararası Korozyon Sempozyumu*, Elazığ, (2014) Kabul Edilen Sözel bildiri [<https://korseml3.firat.edu.tr/>].
5. H. Gerengi, M. Kurtay, İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum alaşımlarında asit yağmurlarının etkisiyle oluşan korozyonun incelenmesi, *IV. Fiziksel Kimya Kongresi*, Denizli, (2014) Kabul Edilen Sözel bildiri [<http://fizikselkimya4.pau.edu.tr/>].

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Kurtay Mine
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 11.01.1990 Bakırköy
E-posta : mine_kurtay@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Düzce Üniversitesi Yapı Öğretmenliği	2012
Lise	Bağcılar Mehmet Niyazi Altuğ Lisesi	2007

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. H. Gerengi, Y. Kocak, A. Jazdzewska, M. Kurtay, H. Durgun, 2013, "Electrochemical investigations on the corrosion behavior of reinforcing steels in diatomite and zeolite-containing concretes in 0.5 M H₂SO₄ solution", *Construction & Building Materials*, Volume:49, Page:471–477.
2. H. Gerengi, P. Slepki, E. Ozgan, M. Kurtay, 2013, "Investigation of corrosion behavior of 6060 and 6082 aluminum alloys under simulated acid rain conditions", *Materials and Corrosion*, DOI: 10.1002/maco.201307287.
3. H. Gerengi, M. Kurtay, 2013, Teaching "Corrosion And Corrosion-Resistant Materials" Class As A Must Course In Material And Material Processing Technologies Program", *Electronic Journal of Vocational Colleges*, Volume:3, Page: 67-71.
4. H. Gerengi, M. Kurtay, 2014, " Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı:2, Sayfa: 71-78.

5. H. Gerengi, P. Slepki, E. Ozgan, M. Kurtay, 2013, Evaluation of corrosion behaviour of 6060 and 6082 type aluminum alloys in simulated acid rain using dynamic EIS, oral presentation, *EUROCORR 2013 European Corrosion Congress*, Italy.
6. H. Gerengi, G. Bereket, M. Kurtay, 2014, AFM study of corrosion process of 6060 aluminum alloy under simulated acid rain conditions, *13. Uluslararası Korozyon Sempozyumu*, Elazığ, Kabul Edilen Sözel bildiri [<https://korsem13.firat.edu.tr/>].
7. H. Gerengi, M. Kurtay, 2014, İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum alaşımlarında asit yağmurlarının etkisiyle oluşan korozyonun incelenmesi, *IV. Fiziksel Kimya Kongresi*, Denizli, Kabul Edilen Sözel bildiri [<http://fizikselkimya4.pau.edu.tr/>].