

**T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI ISIL İŞLEMLER UYGULANMIŞ 7075 ALÜMİNYUM
ALAŞIMININ ELEKTROKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Mustafa ÇAKI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgü BAYRAK

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

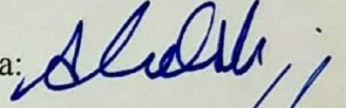
**ERZİNCAN
2019
Her Hakkı Saklıdır.**

Kabul ve Onay Sayfası

Dr. Öğr. Üyesi Özgü BAYRAK danışmanlığında, Mustafa ÇAKI tarafından hazırlanan bu çalışma 08/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği (3/3) ile kabul edilmiştir.

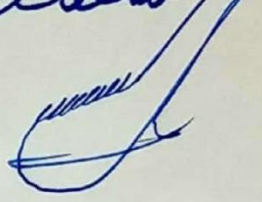
Başkan : Prof. Dr. Ayhan ÇELİK

İmza:



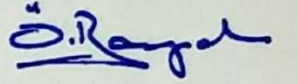
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hüccet KAHRAMANZADE

İmza:

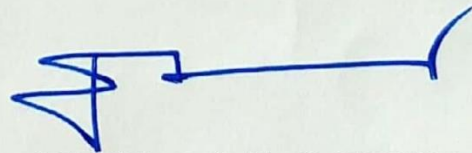


Üye : Dr. Öğr. Üyesi Özgü BAYRAK

İmza:



Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 23 / 08 / 2019 tarih ve 33 / 6 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



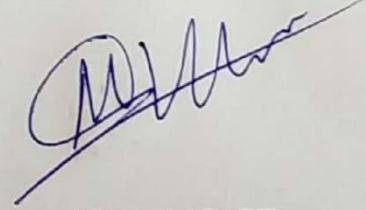
Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Farklı Isıl İşlemler Uygulanmış 7075 Alüminyum Alaşımının Elektrokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 08/08/2019



Mustafa ÇAKI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI ISIL İŞLEMLER UYGULANMIŞ 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ ELEKTROKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa ÇAKI

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgü BAYRAK

Alüminyum doğada en çok bulunan elementlerden biri olup, yüksek korozyon direncine sahiptir. Saf alüminyum hafif olmasına rağmen çok yumuşaktır ve mukavemeti düşüktür. Bu nedenle başka metallerle karıştırılarak çeşitli alaşımlar elde edilir. Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri ısı ve mekanik işlemler ile daha üst seviyelere çıkartılır. Alüminyum alaşımları, yüksek özgül dayanım, kolay şekillendirilebilme, kolay işlenebilme, yüksek termal ve elektrik iletkenliği, hafifliği, yüksek sünekliği, yüksek korozyon ve aşınma direnci sayesinde günümüz endüstrisinde çok geniş kullanım alanına sahiptir. Uçak endüstrisi, otomobil, vinç, köprü, savunma sanayi ve takım üretiminde çelik yerine kullanılır. Alüminyum yüksek bir kimyasal aktiviteye sahiptir. Alüminyum alaşımlarının birçoğu yüzeylerinde hızla oluşan oksit tabakasından dolayı doğal atmosfer ve doğal sularda korozyona karşı dirençlidirler. Öte taraftan oluşan oksit tabakası çok ince olduğundan, kimyasal ve mekanik etkilere karşı direnci düşüktür. 7075 Alüminyum alaşımının mekanik ve korozyon dayanım özellikleri farklı ısı işlemlere göre değişmektedir. Bu çalışmada, iki farklı ısı işlem görmüş 7075 Alüminyum alaşımının klor iyonu ihtiva eden korozif ortamlardaki elektrokimyasal davranışları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında tam tavlama işlemi yapılmış 7075-O ve çözeltiye alınarak yapay yaşlandırma işlemi uygulanmış 7075-T6 alüminyum alaşımının, farklı molaritelerdeki NaCl çözeltilerinde açık devre potansiyeli, çevrimsel polarizasyon, polarizasyon öncesi ve sonrasında Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ölçümleri yapılmış ve malzemenin gördüğü ısı işlemlerin korozyon kinetikleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

2019, 71 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Çinko-Alüminyum Alaşımları, Elektrokimya, Isıl İşlem

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF 7075 ALUMINUM ALLOY WITH DIFFERENT HEAT TREATMENTS

Mustafa ÇAKI

Erzincan Binali Yıldırım University
Institute of Natural and Applied Science
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Özgü BAYRAK

Aluminum is one of the most common elements in nature and has high corrosion resistance. Although pure aluminum is light, it is very soft and low in strength. Various alloys are obtained by mixing with other metals. Mechanical properties of aluminum alloys are increased by thermal and mechanical treatments. Aluminum alloys are widely used in today's industry thanks to their high specific strength, easy forming, easy processing, high thermal and electrical conductivity, low weight, high ductility, high corrosion and abrasion resistance. It is used instead of steel in aircraft industry, automobile, crane, bridge, defense industry and tool manufacturing. Aluminum has a high chemical activity. Many aluminum alloys resist to corrosion in natural atmosphere and natural waters due to the rapidly forming oxide layer on their surfaces. On the other hand, since the oxide layer is very thin, its resistance to chemical and mechanical effects is low. Mechanical and corrosion resistance properties of 7075 aluminum alloy varies according to different heat treatments. In this study, electrochemical behavior of 7075 aluminum alloys with different heat treatments in corrosive environments containing chlorine ions was investigated. In this study, fully annealed 7075-O and solution treated and artificially 7075-T6 aluminum alloys were subjected to, open circuit potential, cyclic polarization pre and post Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) measurements and it was determined that the heat treatment of the material effective on the corrosion kinetics.

2019, 71 Pages

Keywords: Electrochemistry, Heat treatment, Zinc-aluminum alloys

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı bana öneren, tezimin yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Özgü BAYRAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışma sırasında Erzurum Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nün laboratuvarlar imkanlarından faydalanmamı sağlayan Prof. Dr. Ayhan ÇELİK'e ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarından dolayı Arş. Gör. Yusuf Burak BOZKURT'a ayrıca çalışmam boyunca beni her zaman destekleyen İnş. Yük. Müh. Selçuk ÖZYER'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi hiçbir desteği benden esirgemeyen aileme, her konuda sabırla yardımcı olan sevgili eşim ile çocuklarıma minnet ve şükranlarımı sunarım.

Mustafa ÇAKI

Ağustos, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. KURAMSAL TEMELLER.....	8
3.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	8
3.1.1. Alüminyum alaşımlarının gruplandırılması	9
3.1.1.1. Dövme alüminyum alaşımları.....	9
3.1.1.2. Dökme alüminyum alaşımları.....	10
3.1.2. Alüminyum kullanım alanları	11
3.1.2.1. İnşaat alanında kullanımı	11
3.1.2.2. Ambalaj alanında kullanımı.....	12
3.1.2.3. İçecek kutuları alanında kullanımı.....	12
3.1.2.4. Elektrik elektronik alanında kullanımı	12
3.1.2.5. Ulaşım endüstrisi alanında kullanımı	13
3.1.2.6. Diğer mühendislik alanlarında kullanımı	14
3.1.3. Alüminyum ve alaşımlarında ısı İşlem mekanizmaları.....	14
3.2. Korozyon ve Korozyon Çeşitleri	16
3.2.1. Korozyon.....	16
3.2.2. Korozyon çeşitleri	16
3.2.2.1. Üniform korozyon.....	16
3.2.2.2. Tabakalanma korozyonu	17
3.2.2.3. Çukurcuk korozyonu.....	17
3.2.2.4. Galvanik korozyon (Metal çifti korozyonu)	18
3.2.2.5. Çatlak korozyonu (Aralık korozyonu).....	18
3.2.2.6. Kabuk altı korozyonu.....	19
3.2.2.7. Filiform korozyonu	19

3.2.2.8.	Seçimli korozyon	19
3.2.2.9.	Taneler arası korozyon.....	20
3.2.2.10.	Erozyonlu korozyon.....	20
3.2.2.11.	Aşınmalı korozyon.....	21
3.2.2.12.	Gerilmeli korozyon (Stres korozyon)	21
3.2.2.13.	Yorulmalı korozyon.....	22
3.2.2.14.	Kaçak akım korozyonu	22
3.2.2.15.	Kavitasyon korozyonu	22
3.2.2.16.	Hidrojen Kırılabilirliği.....	23
3.2.2.17.	Mikrobiyolojik korozyon.....	24
3.2.3.	Alüminyum alaşımlarında korozyon.....	25
3.3.	Korozyon Ölçme Metotları	25
3.3.1.	İşletme koşullarında yapılan ölçümler	25
3.3.2.	Arazide yapılan ölçümler	26
3.3.3.	Laboratuvar ölçümleri.....	26
3.3.4.	Elektrokimyasal ölçümler	26
3.3.4.1.	Tafel ekstrapolasyon yöntemi.....	27
3.3.4.2.	Doğrusal polarizasyon (polarizasyon direnci) yöntemi.....	28
3.3.4.3.	Potansiyodinamik polarizasyon	31
3.3.4.4.	Çevrimsel polarizasyon.....	31
3.3.4.5.	Galvanik eşleme.....	32
3.3.4.6.	Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS).....	33
3.4.	Korozyon Hızının Hesaplanması	35
3.4.1.	Akım yoğunluğu	35
3.4.2.	Kütle kaybı	36
3.4.3.	Penetrasyon	36
4.	MATERYAL ve YÖNTEM.....	37
5.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	42
5.1.	Yapısal Analiz.....	42
5.2.	Elektrokimyasal Analizler	45
6.	SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR	65	
EKLER.....	70	
Ek-1.	Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar	71



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Alüminyumun kullanım alanlarına göre dağılımı.....	11
Şekil 3.2. Genel korozyon.....	16
Şekil 3.3. Tabakalanma korozyonu.....	17
Şekil 3.4. Çukur korozyonu.....	17
Şekil 3.5. Galvanik korozyon.....	18
Şekil 3.6. Çatlak korozyonu.....	18
Şekil 3.7. Filiform korozyon.....	19
Şekil 3.8. Dezinsifikasyon korozyonu.....	20
Şekil 3.9. Kaynak yapılan bölgede taneler arası korozyon.....	20
Şekil 3.10. Erozyonlu korozyon sonucu metal yüzeyin görünüşü.....	21
Şekil 3.11. Vibrasyon nedeni ile aşınma.....	21
Şekil 3.12. Stres korozyon çatlama.....	22
Şekil 3.13. Yorulmalı korozyon ile oluşan çatlama.....	22
Şekil 3.14. Kavitasyon olayının meydana gelişi.....	23
Şekil 3.15. Kavitasyon korozyonu sonucu oluşan çukurlar.....	23
Şekil 3.16. Metal içinde hidrojen penetrasyonu.....	24
Şekil 3.17. Mikrobiyolojik korozyon oluşumu.....	24
Şekil 3.18. Metalin elektrokimyasal olarak çözünmesinin şematik gösteri.....	27
Şekil 3.19. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri.....	28
Şekil 3.20. Doğrusal polarizasyon yöntemi ile akım potansiyel eğrisi.....	30
Şekil 3.21. Çevrimsel polarizasyon eğrisi.....	32
Şekil 3.22. Sinüzoidal potansiyel uyarısı ve cevabı.....	33
Şekil 3.23. Nyquist grafiği ve eşdeğer devresi.....	34
Şekil 3.24. Bode grafiği ve eşdeğer devresi.....	35
Şekil 4.1. T6 ısıtım işlem grafiği.....	37
Şekil 4.2. Deney düzeneği.....	38
Şekil 4.3. Elektrokimyasal potansiyostat sistemi.....	39
Şekil 4.4. Standart gümüş, gümüş klorür elektrotu gösterimi.....	39
Şekil 4.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm sistemi.....	40
Şekil 4.6. X-Işınları difraktometresi.....	41
Şekil 4.7. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	41

Şekil 5.1. Yapay yaşlandırılmış (T6) ve tam tavllanmış (O) Al 7075 alaşımına ait XRD grafiği.....	43
Şekil 5.2. Kimyasal dağlama sonrası yüzeylere ait optik mikroskop görüntüleri.....	43
Şekil 5.3. Yapay yaşlandırılmış (T6) ve tam tavllanmış (O) Al 7075 alaşımına ait EDS grafikleri	44
Şekil 5.4. Yapay yaşlandırılmış (T6) ve tam tavllanmış (O) Al 7075 alaşımına ait mikro sertlik değerleri	45
Şekil 5.5. Açık Devre Potansiyeli ölçümleri.....	46
Şekil 5.6. Isıl işlem etkisini gösteren dar aralıklı potansiyodinamik tarama eğrileri.....	47
Şekil 5.7. Konsantrasyonun etkisini gösteren dar aralıklı potansiyodinamik tarama eğrileri.....	48
Şekil 5.8. Korozyon oranları, korozyon akım yoğunlukları ve korozyon potansiyelleri	49
Şekil 5.9. Isıl işlem etkisini gösteren çevrimsel polarizasyon eğrileri.....	50
Şekil 5.10. Konsantrasyon etkisini gösteren çevrimsel polarizasyon eğrileri.....	51
Şekil 5.11. Polarizasyon öncesi ve sonrasındaki yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	52
Şekil 5.12. Al 7075-O polarizasyon öncesi ve sonrasındaki yüzey SEM görüntüleri	53
Şekil 5.13. Al 7075-T6 polarizasyon öncesi ve sonrasındaki yüzey SEM görüntüleri...	56
Şekil 5.14. Polarizasyon testleri öncesinde elde edilen Nyquist eğrileri	57
Şekil 5.15. Polarizasyon testleri sonrasında elde edilen Nyquist eğrileri	58
Şekil 5.16. Eşdeğer elektrik devresi.....	59
Şekil 5.17. Polarizasyon testleri öncesinde elde edilen Bode eğrileri.....	60
Şekil 5.18. Polarizasyon testleri sonrasında elde edilen Bode eğrileri	61

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Saf alüminyumun özellikleri.....	8
Tablo 3.2. Dövme alüminyumlarda yaşlandırma durumu	10
Tablo 3.3. Dökme alüminyumlarda yaşlandırma durumu	10
Tablo 3.4. Alüminyum alaşımlarının ısıtıl işlem gösterimleri	14
Tablo 3.5. Alüminyum alaşımlarında ısıtıl işlemler için kullanılan temper simgeleri.....	15
Tablo 4.1. 7075 Alüminyum alaşımının bileşenleri.....	37
Tablo 5.1. Eşdeğer elektrik devresi elemanlarının sayısal değerleri.....	62



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

$\%$	Yüzde
$^{\circ}\text{C}$	Celsius Derece
<i>cal</i>	Kalori
<i>cm</i>	Santimetre
E_{kor}	Korozyon Potansiyeli
<i>gr</i>	Gram
<i>Hz</i>	Hertz
<i>I</i>	Akım
I_{kor}	Korozyon Akımı
<i>kHz</i>	Kilo Hertz
<i>mA</i>	Mili Amper
<i>mHz</i>	Mega Hertz
<i>ml</i>	Mili Litre
<i>MPa</i>	Mega Paskal
<i>mV</i>	Mili Volt
<i>Psi</i>	İnc Kareye Pound Cinsinden Uygulanan Kuvvet
<i>V</i>	Volt
<i>s</i>	Saniye

Kısaltmalar

Cc	Metalin Korunan Bölgelerinin Sığası
Cf	Metalin Korunmayan Bölgelerinin Sığası
COD	Crystallography Open Database
ÇE	Çalışma Elektrotu
EDS	Enerji Dağılım Spektrometresi
EIS	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
HSP	Heksgonal Sıkı Paket
KE	Karşıt Elektrot
M	Molar
OCP	Açık Devre Potansiyeli (ADP)
RE	Referans Elektrot
Rf	Polarizasyon Direnci
Rpo	Porozite Direnci
Ru	Çözelti Direnci

SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X Işınımı Kırınım Ölçer
YMK	Yüzey Merkezli Kübik



1. GİRİŞ

Alüminyum 19.yüzyılda keşfedilmesine rağmen, cevherden üretimi için gereken yüksek enerji ihtiyacı nedeniyle 20.yüzyılın başlarına kadar üretimi sınırlı seviyelerde kalmıştır. Enerji üretim maliyetlerinin düşmesiyle birlikte üretimi katlanarak artmış ve kullanım alanları çoğalarak teknolojinin geliştiğinde çok önemli rol oynamıştır. Gün geçtikçe daha geniş kullanım alanları kazanan alüminyum, hafif olması ve mukavemetindeki tatmin edici seviyeler sayesinde demirden sonra en çok kullanılan metal olmuştur.

Gelişen teknoloji alanında ve sosyal yaşamda önemli derecede kullanılan alüminyumun en belirgin özelliği hafifliğidir. Magnezyum ve berilyum metallere sonra gelen en hafif metaldir. Alaşımlarının yoğunluğu saf alüminyuma göre daha fazladır. Fakat alaşımlarının mekanik özellikleri önemli oranlarda artmaktadır. Çeşitli metallere ihtivası ile oluşturulan alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri kullanılacak alana uyumluluğu sağlanabildiğinden çok farklı endüstri kollarında gereksinimleri karşılamaktadır. Sıklıkla kullanılan alaşım metalleri, bakır, silisyum, mangan, magnezyum ve çinkodur. Günümüzde alüminyum ve alaşımları makine imalat, metal endüstrisi, elektrik-elektronik sektörü, kimya endüstrisi, otomotiv sektörü, havacılık sektörü, inşaat sektörü, uzay endüstrisi, ambalaj ürünleri ve diğer birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının birçoğu yüzeylerinde hızla oluşan oksit katmanından dolayı doğal ortamlarda korozyona karşı dirençlidirler. Oluşan bu oksit katmanı 4-9 pH aralığında kararlıdır. Öte taraftan oluşan oksit katmanı çok ince olduğundan, kimyasal ve mekanik etkilere karşı direnci düşüktür. Sıklıkla kullanılan bir Al-Mg-Zn alaşımı olan yaşlandırılabilir 7075 alaşımı klor iyonu içeren ortamlarda korozyon dayanıklılığını yitirmektedir. 7075 alüminyum alaşımı numunelerin bu özellikleri farklı ısı işlemlere göre değişmektedir. Çalışmada, farklı ısı işlem görmüş 7075 alüminyum alaşımlarının klor iyonu ihtiva eden ortamlardaki elektrokimyasal davranışları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında tam tavlama işlemi yapılmış 7075-O ve çözeltiliye alınarak suni yaşlandırma işlemi uygulanmış 7075-T6 alüminyum alaşımları kullanılmıştır. Numunelerin farklı molaritedeki NaCl çözeltilerinde açık devre potansiyeli, çevrimsel polarizasyon, polarizasyon öncesi ve sonrasında Elektrokimyasal

Empedans Spektroskopisi (EIS) ölçümleri yapılmış ve malzemenin gördüğü ısı işlemlerin korozyon kinetikleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Alüminyum alaşımları kullanılarak ısıtıl işlem ve korozyon üzerine yapılan çalışmalarının bazıları şu şekilde özetlenebilir.

Yue vd. (2005), yaptıkları çalışmada 7075 alüminyum alaşımı yüzeyine bir lazer işlemi uygulamış ve lazerle bir tabaka oluşturmuşlardır. Daha sonra %3,5'lik NaCl çözeltisi içerisinde malzemenin gerilmeli korozyon direncini araştırmışlardır. Yapılan deneyler neticesinde, lazer işlemiyle yapılan tabakanın korozyon direncini artırdığı ve taneler arası korozyon saldırılarının da azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Cirik (2007), yüksek dayanımlı alüminyum alaşımlarında ön korozyon ve anodik oksit kaplamanın eğme yorulma dayanımına olan etkisi 95 Hz frekansta bir seri döner eğme yorulma testleri uygulayarak araştırmıştır. Yorulma ömründeki azalma miktarı çukurlanmanın şiddetine bağlı olup, çukurlanmanın etkisiyle yorulma dayanımında yaklaşık % 60'lık azalma tespit etmiştir. Oksit kaplı numunelere ait test sonuçları, oksitlemenin yorulma dayanımını azaltıcı eğilime sahip olduğu ve artan kaplama kalınlığı ile yorulma dayanımındaki azalma miktarını artırdığını göstermiştir. Oksitleme işlemi çukurcuk korozyonunu azaltmaktadır. Maksimum ön korozyon süresi olan 240 saat için anodik kaplamanın faydalı etkisi uzun ömürlü yorulma bölgesinde elde edilmiştir.

Saçkesen (2007), çalışmasında belirgin olarak yaşlanma etkilerine maruz kalmış 7075 alüminyum alaşımının yorulma ve korozyon özelliklerini iyileştirmek için, geliştirilmiş bir ısıtıl işlem olan yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma (RRA) işlemi yanında, ısıtıl işlemle mekanik yüzey işlemi birleştirilerek termomekanik bir proses geliştirmiştir. Numuneler üzerinde yapılan ölçümlerden, özellikle termomekanik işlemin yorulma ömrü üzerinde önemli olumlu etkileri saptamıştır. Ancak bu olumlu yorulma özellikleri elde edilirken korozyon direnci büyük ölçüde yitirilmiştir. RRA işleminin ise etkileri her iki arzu edilen özellik açısından da benzer doğrultuda ancak daha sınırlı bir aralıkta gerçekleşmiştir. Çalışmada korozyon dayanımı en düşük numune, termomekanik işlem yapılmış numunedir. RRA işlemleri yapılan numunenin korozyon dayanımı, işlem yapılmamış numuneden bir miktar düşük bulunmuştur.

Özkara (2009), çalışmasında mikro ark oksidasyon yöntemiyle 2024 alüminyum alaşımı üzerinde oluşturduğu oksit tabakasının yapısı ve mikro ark oksidasyon işlem parametrelerinin değiştirilmesinin kaplama yapısına etkisi araştırılarak uygulanan farklı voltajlar, akım yoğunlukları, bekleme süreleri ve zamanın etkisiyle oksit tabakasındaki morfolojik ve mekanik özelliklerinin değişimini incelemiştir. Elde edilen sonuçlarda oluşturulan tabakaların korozyon direncini iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Soyyigit (2009), yaptığı çalışmada çukurcuk korozyonu korozif ortamın etkisi altındaki çelik ve yüksek dayanımlı alüminyum alaşımlarında gözlenmekte olduğunu ve yorulma çatlağının potansiyel başlangıcı olduğunu tanımlamıştır. Bu çalışmada farklı derinliklere yapay olarak çukurcuk açılmış numunelerin dönel eğme zorlanması altındaki yorulma davranışları sistematik olarak incelenmiştir. Yapılan test sonuçları yapay çukurların 7075-T6 alüminyum alaşımının yorulma ömrü üzerine önemli bir etkisi bulunduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde, birincil çukurların derinliğinin artışına bağlı olarak yorulma dayanımının azaldığı, ikincil çukurun, birincil çukuruğa göre yorulma dayanımında daha büyük düşüşlere yol açtığı deneysel olarak belirlenmiştir.

Şişmanoğlu (2009), çalışmasında anodik oksidasyon işlemi yöntemiyle yüzeylerinde oksit tabakası oluşturulmuş 2024, 6082 ve 7075 alüminyum alaşım numunelerinin yüzey özelliklerine farklı voltaj değerlerinin etkisi incelenmiş ve karşılaştırmalar yapmıştır. Anodik oksidasyon işlemi uygulanmış ve uygulanmamış numunelere, optik ve taramalı elektron mikroskop çalışmaları, yüzey pürüzlülüğü testi, islanabilirlik testi, sertlik testi, EDS analizi, korozyon ve aşınma testleri uygulamıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda anodik oksidasyon işlemi uygulanmış alaşım numunelerine ait korozyon dirençlerinin, işlem görmemiş alaşım numunelerine göre azaldığını bildirmiştir. Bunun nedenini artan pürüzlük olarak ifade etmiştir. Ayrıca anodik oksidasyon işlemi ve tespit işlemi uygulanmış 2024 ve 6082 alaşım numunelerinin korozyon dirençlerine önemli bir katkısı olmadığını, 7075 alaşımında ise korozyon direncini arttırdığı sonucuna ulaşmıştır.

Zupanc ve Grum (2010), yaptıkları çalışmada, bilyeli dövme ile yüzey sertleşmesinin, bir klorür çözeltisinin aşındırıcı ortamında yüksek mukavemetli 7075-T651 alüminyum alaşımının elektrokimyasal kararlılığını ve korozyon yorulma özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çukur gerilmelerini ortadan kaldırmak veya azaltmak için, bilyeli

dövme ile soğuk yüzey sertleşmesi önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yapılan bilyeli dövme işleminin korozyon yorulma özelliklerine olumlu bir etki gösterdiği yönündedir. Yüzey tabakasında oluşan indüklenmiş artık gerilmeler, yorulma çatlaklarının başlamasını geciktirdiği için yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarından yapılmış yapısal elemanların yorulma ömrünün iyileşmesi gözlenmiştir.

Kibar (2010), çalışmasında 7075 Alüminyum alaşımına yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulamıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ile optimum yeniden çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi ile yeniden yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin belirlenmesini amaçlamıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma uygulanan numunelerin sertlik, çekme dayanımı, çentik darbe direnci ve aşınma direncinde sıcaklık ve süreye bağlı olarak artış olduğu tespit etmiştir.

Başak vd. (2011), çalışmalarında 7075 alüminyum alaşımını bakır, polipirol ve bakır (tabaka altı) / polipirol (üst tabaka) kaplanmış ve numunelerinin korozyon davranışını % 3.5'lik NaCl çözeltisi içinde araştırmıştır. Yüzey morfolojileri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile incelemiş ve numunelerin korozyon davranışını elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve anodik polarizasyon eğrileri ile değerlendirmiştir. Elde edilen veriler, bakır katmanının üstünde polipirol sentezinin, korozif ortamın saldırılarına karşı bir bariyer etkisi sergileyerek alüminyum alaşımının korozyon direncini önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir.

Xiangqi vd. (2013), çalışmalarında deniz suyunda 7075 alüminyum alaşımının yorulmalı korozyon çatlak büyüme davranışı incelenmiştir. Sonuçlar, çözelti konsantrasyonunun, pH değerinin, sıcaklığın ve yük frekansının, yorulmalı korozyon çatlak büyüme oranını büyük ölçüde etkilediğini göstermiştir. 7075 alüminyum alaşımındaki yorulma korozyon çatlağı büyüme hızı, çözeltisi konsantrasyonu, artırdığında sıcaklık yükseldiğinde veya pH değeri düştüğünde artmıştır. Bu üç faktör, yüzey akım yoğunluğuyla basitçe ifade edilmiştir.

Özkıran (2014), Alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozif ortamlarda nasıl davrandıkları, hem gerilme ve hem de korozyon etkisi altında incelemiştir. Bu çalışmada üç farklı alüminyum alaşımının (2024, 6061, 7075), üç farklı korozif ortamda

gerilmeli korozyon dirençleri belirlemiştir. Alaşımlara klor iyonları içeren asidik, bazik ve nötr ortamlarda gerilmeli korozyon deneyleri uygulanmış ve hava ortamındaki değerlerle karşılaştırma yapmıştır. Elde ettiği araştırma bulgularına göre en iyi gerilmeli korozyon direnci bazik ortamda iken en düşük gerilmeli korozyon direnci asidik ortamdadır. Deneyde kullanılan alüminyum alaşımları içerisinde en iyi gerilmeli korozyon direncini 2024 alüminyum alaşımı sergilerken, 7075 alüminyum alaşımının en düşük gerilmeli korozyon direncine sahip olduğunu belirlemiştir.

Sravanti ve Manjunatha (2017), çalışmalarında SiC ve grafit ile döküm ve ısıl işlem uygulanmış 7075 alüminyum alaşımının korozyon davranışı, 7 gün 24 saat boyunca oda sıcaklığında klorik asit, sülfürik asit, nitrik asit ve nötr klorür ortamında ağırlık kaybı yöntemi ile incelemiştir. Yoğunluğa bağlı olarak karışım formülleri kuralı kullanılarak korozyon oranı tespit edilmiştir. Çalışmalar 7075 alüminyum alaşımlarının korozyona uğrama oranının, ısıl işlem görmüş numunelerde, döküm numunelere kıyasla daha düşük olduğunu ve aynı zamanda, hem döküm hem de ısıl işlem görmüş numunelerin diğer asit ortamlarına kıyasla, nötr klorür ortamındaki korozyon uğrama oranının daha düşük olduğunu göstermiştir.

İmran ve Anwar Khan (2017), çalışmalarında takviye malzemelerin eklenmesiyle 7075 alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini, tribolojik özelliklerini ve korozyon davranışlarını incelemiştir. SiC, Al₂O₃, Gr, TiO₂, vb. gibi takviye malzemeler kullanmışlardır. Sonuçlar mekanik özelliklerde önemli bir iyileşme olduğu ortaya çıkartmıştır. Üstün aşınma ve korozyon direncine ayrıca geleneksel alaşımlara kıyasla düşük ısıl genleşme katsayısına ulaşılmıştır.

Leng vd. (2018), 7075 alüminyum alaşımının yorulma dayanımını optimize etmek için, farklı yaşlanma koşulları altında sertlik, çekme ve yorulma testleri ile mikro yapı gözlemleri yapmıştır. Sonuçta, yaşlanma süresi arttıkça, çökeltme aralığının önce azaldığı ve sonra arttığı tespit edilmiş, bunun da sertliği ve gerilme kuvvetini önce arttırdığını ve sonra azalttığını göstermiştir.

Pankade vd. (2018), Yaptıkları bu çalışmada yeniden çözültüye alma ve yeniden yaşlanma (RRA) ve dubleks yaşlanma gibi farklı ısıl işlemlerin, 7075-T6 alüminyum alaşımının korozyon performansı ve elektrik iletkenliği üzerindeki etkisini

araştırmışlardır. Çalışma sonucu dubleks yaşlanma işleminin elektriksel iletkenlik ve korozyon direnci için daha iyi sonuçlar gösterdiğini ortaya koymuştur.

Kumar vd. (2018), çalışmalarında taban malzemesi olarak plaka alüminyum alaşımı 7075-T651 kullanmış ve TiC partiküllü bir takviye yüzey modifikasyonu uygulamışlardır. Alüminyum alaşımlarına göre seramik gibi partiküllerle güçlendirilmiş alüminyum / alüminyum alaşımlı matris kompozitler daha yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptir. Değişik molaritelerde (1M, 2M ve 3M NaCl) korozyon çalışmaları yapılmıştır. Korozyon hızları, Tafel ekstrapolasyonunun yardımıyla polarizasyon teknikleri kullanılarak, korozyon akımı yoğunluğundan hesaplanmıştır. TiC takviyesinin mikroyapısal gelişme, sertlik ve korozyon davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Alüminyum alaşımı 7075-TiC kompozitinin korozyon direncinin Alüminyum alaşımı 7075-T651'den daha yüksek olduğu görülmüştür. NaCl konsantrasyonunun artmasıyla aşınmış yüzeyde açığa çıkan çukurların sayısının da arttığı görülmüştür.

3. KURAMSAL TEMELLER

Bu çalışma için alüminyum ve elektrokimyasal özellikleri hakkında kuramsal temeller araştırılmış, literatürden gerekli bilgiler edinilerek çalışma yöntemi seçilmiş ve çalışmalar yürütülmüştür.

3.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum ve alaşımları üretim ve sosyal yaşamda gelişen teknolojiyle birlikte çok değişik alanlarda önemli miktarlarda kullanılmaktadır. Demirden sonra en çok kullanılan metaldir. En belirgin özellikleri yüksek mukavemetine/ağırlık oranlarının yüksek oluşudur. Saf alüminyuma göre alaşımlarının mukavemeti önemli derecede artmaktadır. Sıklıkla kullanılan alaşım metalleri, bakır, silisyum, mangan, magnezyum ve çinkodur. Günümüzde alüminyum ve alaşımları makine imalat, metal endüstrisi, elektrik-elektronik sektörü, kimya endüstrisi, otomotiv endüstrisi, hava araçları endüstrisi, inşaat alanı, uzay endüstrisi, ambalaj sanayiinde ve diğer birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Saf alüminyumun özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Saf alüminyumun özellikleri (Sun, 1998)

Yoğunluğu	2,7 gr/cm ³
Atom ağırlığı	26,97 gr/mol
Atom numarası	13
Ergime noktası	658 °C
Kristal yapısı	Yüzey merkezli kübik
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	150-300°C
Kayma modülü	27x10 ³ MPa
Elastisite modülü	72x10 ³ MPa
Özgül ısısı	0,224 cal/gr (100°C)
Akma mukavemeti	10-30 MPa
Çekme mukavemeti	40-90 MPa
Kopma uzaması	%30-40

Alüminyumun ve alaşımlarının sahip olduğu hafifliği, korozyona direnci, geri dönüştürülebilir oluşu, elektrik ve ısı iletkenliği, parlamama ve alev almama özelliği, kolay işlenebilirliği, iyi yüzey işlenebilirliği, yüksek mukavemeti, zehirleyici olmaması, dekoratif görünüme sahip olması, yüksek sünekliği ve aşınma direnci gibi mekanik özellikleri alüminyum mühendislik uygulamaları ve sosyal yaşama damga vuran bir metal yapmıştır. (William 2001).

3.1.1. Alüminyum alaşımlarının gruplandırılması

Alüminyum alaşımları, üretim yöntemlerine göre sınıflandırılabilir. Alüminyum alaşımlar üretim yöntemlerine göre dövme ve döküm alüminyum alaşımları olarak iki ana grupta incelenebilir. Plastik deformasyon ile şekillendirilen dövme alüminyum alaşımlarının mikro yapısı ve kimyasal içeriği döküm alaşımlarına göre oldukça farklıdır. Her ana grup içindeki alaşımlar, ısı işlem yapılabilir ve ısı işlem yapılamaz alaşımlar olmak üzere, iki alt grupta incelenmektedir. Saf alüminyuma katılan en yaygın alaşım elementleri; magnezyum, silisyum, bakır, çinko, kurşun ve nikel dir (Fakıoğlu, 2012; Akça, 2006; Avşar, 2011).

3.1.1.1. Dövme alüminyum alaşımları

Dövme alüminyum alaşımları, külçe ya da kütük biçiminde imal edilir ve sonra sıcak, soğuk ya da sıcak ve soğuk olarak mekanik uygulama işlemleri yapılır. Dövme alüminyum alaşımları haddeleme, ekstrüzyon veya dövme gibi uygulamalarla istenilen şekilde biçimlendirilerek elde edilirler (Askeland vd., 2010). Dövülmüş halde üretilen alüminyum alaşımları içerdikleri ana alaşım elementine göre sınıflandırılırlar. Tablo 3.2'de dövme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması ve yaşlandırma işlemin uygulanma durumu verilmiştir.

Tablo 3.2. Dövme alüminyumlarda yaşlandırma durumu (Askeland vd., 2010)

Dövme Alüminyum Alaşımları		
1XXX	Saf alüminyum(>%99)	Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4XXX	Si ve Cu veya Mg ana alaşım elementidir	Eğer Mg varsa yaşlandırılabilir
5XXX	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XXX	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7XXX	Al-Zn	Yaşlandırılabilir
8XXX	Al-Li	Yaşlandırılabilir

3.1.1.2. Dökme alüminyum alaşımları

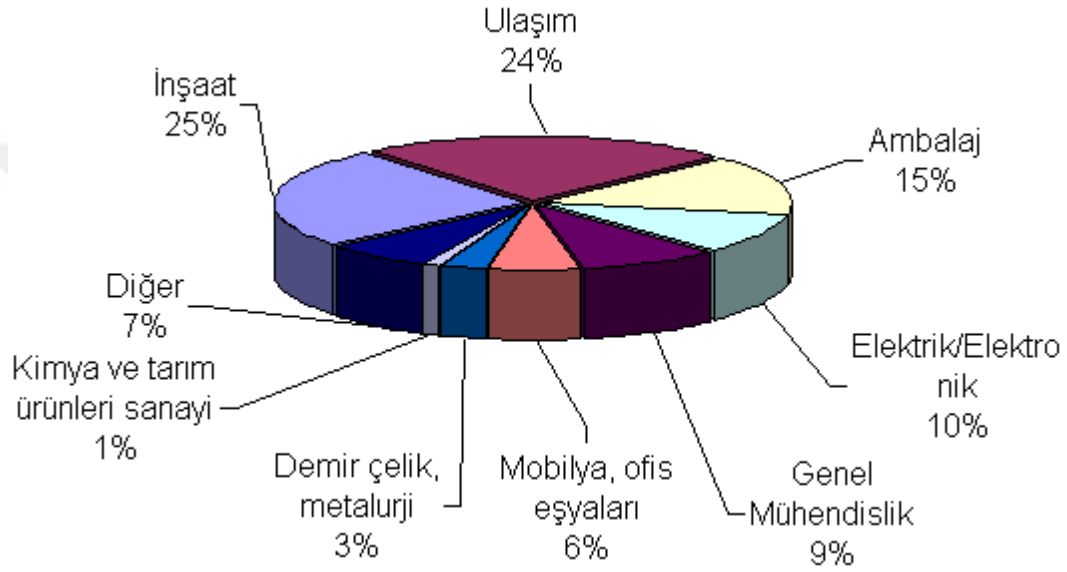
Dökme alüminyum alaşımları, kalıp, kumlama veya basınçlı kalıp dökümü gibi işlemler yapılarak son ürün olacak şekilde dökülürler (Bozkurt, 2019). Döküm alaşımlarının sınıflandırılması ve isimlendirilmesi içerdikleri ana alaşım elementine göre yapılmaktadır. Alüminyum alaşımların sınıflandırılmasında uluslararası geçerliliği olan gösterim “U.S. Aluminium Association” tarafından yapılmıştır. (Demir, 2008). Tablo 3.3’te dövme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması ve yaşlandırma işlemin uygulanma durumu verilmiştir.

Tablo 3.3. Dökme alüminyumlarda yaşlandırma durumu (Askeland vd., 2010)

Dökme Alüminyum Alaşımları		
1XX.X	Ticari saflıkta alüminyum	Yaşlandırılmaz
2XX.X	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XX.X	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Kısmen yaşlandırılabilir
4XX.X	Al-Si	Yaşlandırılmaz
5XX.X	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XX.X	Kullanımda değil	-
7XX.X	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
8XX.X	Al-Sn	Yaşlandırılabilir

3.1.2. Alüminyum kullanım alanları

Günümüzde alüminyum ve alaşımları makine imalat, metal endüstrisi, elektrik-elektronik sektörü, kimya endüstrisi, ulaşım sektöründe, inşaat alanı, uzay endüstrisi, ambalaj sanayiinde ve diğer birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. (MMMO 24.Dönem Çalışma Raporu, 2004). Alüminyum metalinin kullanım alanlarının dağılımı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Alüminyumun kullanım alanlarına göre dağılımı (MMMO 24.Dönem Çalışma Raporu, 2004)

3.1.2.1. İnşaat alanında kullanımı

İnşaat alanında, cephe giydirmeleri, karayolları, dekoratif radyatörler, uzay çatılar, seralar, yapılarda kapı pencere doğramaları, çatı kaplamaları, merdivenler ve aksesuarlar gibi ürünlerde kullanılır. Hafifliği, mukavemeti, yüksek korozyon direnci, düşük bakım maliyetleri, geri dönüştürülebilmesi ve dekoratif olarak işlenebilmesi en büyük tercih sebepleridir. Doğal rengi veya renkli anodik oksidasyon kaplama ya da lake boyama ile alüminyum; inşaat sektöründe zengin kullanım seçenekleri sunar (MMMO 24.Dönem Çalışma Raporu, 2004).

Köprülerde diğer yapı malzemelerine göre ağırlık mukavemet oranını avantajı olması ve korozyon dayanımı sayesinde kullanım kapasitesi arttırmaktadır. Alüminyumun bu

özellikleri köprülerin bakım masraflarını azaltarak kullanım ömrünü uzatır. Alüminyum bir köprünün kendi ağırlığını azaltmaktadır, üzerinde taşıyacağı ağırlığı arttırmaktadır. (MMMO 24.Dönem Çalışma Raporu, 2004).

3.1.2.2. Ambalaj alanında kullanımı

Alüminyum ambalaj malzemesi olarak son yıllarda daha çok tercih edilmeye başlamıştır. Diğer malzemelere göre daha az miktarda gerekli korumayı sağlamaktadır. Alüminyumun kâğıt şeklinde imal edilebilmesi hava geçirmezliği, istenilen şekle getirilebilmesi, geçirimsiz yapısı (su, gaz, ışık, mikroorganizmalar vb.), hava değişiminden etkilenmemesi, homojen yapısı sayesinde özellikle gıda ve ilaç sektöründe çok kullanışlı bir ambalaj malzemesi haline gelir (MMMO 24.Dönem Çalışma Raporu, 2004).

3.1.2.3. İçecek kutuları alanında kullanımı

İçecek kutularında da alüminyum ve alaşımları hafifliği, darbeye dayanıklılığı, ısı transfer kabiliyeti, geri dönüşümlülüğü, zehirsiz oluşu ve geçirimsizlik gibi özelliklerinden dolayı çok yaygın olarak kullanılır. Geri dönüşüm özelliği sayesinde çevreci bir ürün olan alüminyum geri kazanım programların teşvik edildiği ülkelerde daha büyük pazar oranına sahiptir (MMMO 24.Dönem Çalışma Raporu, 2004).

3.1.2.4. Elektrik elektronik alanında kullanımı

Alüminyumun iletkenli oldukça yüksektir. Alüminyum kullanımının ortalama % 10'u bu sektöre aittir. Çelik özlü alüminyum iletkenler, yüksek voltajlı elektrik nakil hatlarıdır. Yeraltı kablolarında, elektrik borularında ve motor bobin sarımında da önemli ölçüde kullanılmaktadır. Şaseler, yongalar, transistor soğutucuları, veri kayıt diskleri ve cihaz kasaları alüminyumun elektronikteki ana kullanım alanlarıdır (MMMO 24.Dönem Çalışma Raporu, 2004).

3.1.2.5. Ulaşım endüstrisi alanında kullanımı

Alüminyumun ve alaşımlarının hafif olmasına karşın yüksek dayanıma sahip olması, ulaştırma alanında kullanımını hızla arttırmaktadır. Kara taşıtları, hava taşıtları, demir yolu taşıtları ve deniz taşıtlarında gittikçe artan oranlarda alüminyum kullanılmaktadır.

Küresel rekabet gereği ve ekolojik dengenin korunması gibi nedenlerden dolayı otomotiv sektörü yeni arayışlara girmiştir. Maliyet hesapları yapılırken, verimliliğin korunması, geri dönüşümün sağlanması, güvenilirliğin ön planda tutulması, konforun artırılması ve daha az yakıt tüketen araçlar üretilmesi için çalışılmaktadır. Otomobillerde hafif olduğu için alüminyum alaşımları kullanımını artmasıyla alüminyum sektörde vazgeçilmez bir metal olmuştur. Alüminyum ve alaşımları taşıtlarda genellikle motor, vites, kafes, jant, tampon, enerji sönmüleyici çarpma kutuları, iç ve dış panel üretiminde kullanılmaktadır (Başer, 2012).

Havacılık alanında, kaldırma kuvveti, sürtünme, ani hızlanma veya yavaşlamalar, aerodinamik yükler, iniş sırasında maruz kalınan yükler, silah atışı sırasındaki geri tepmeler ve aracın kendi ağırlığı gibi kuvvetler altında çalışan hava araçlarında emniyet ve güvenilirlik çok önemli bir unsurdur. Hava araçlarının yapımlarında gövde bölgesinin önemli bir bölümünün imalatında kullanılır. Alüminyum ve alaşımlarını uygun ve ekonomik kılan özelliklerin başında; görünümü, hafifliği, işlenebilirliği, fiziksel ve mekanik özellikleri ve yüksek korozyon dayanımı gelir. Alüminyumun çoğu saldırgan ortamda yüksek korozyon dayanımı vardır. Hava araçlarında korozyonun kontrol altına alınması önemli bir olgudur. Genellikle hava araçlarında korozyondan kaynaklı hasarlar meydana gelir. Bu sebeple kullanılacak malzemeleri seçerken korozyon dayanımının da dikkate alınması gerekmektedir (Yurdakul vd., 2012).

Alüminyum alaşımlarının yüzeyinde oluşturduğu oksit tabakası sayesinde dış şartlara karşı oldukça dayanıklıdır. Çelikle karşılaştırıldığında alüminyum pahalıda olsa bir tekne imalatında çelik yerine alüminyum kullanılırsa ortalama tekne ağırlığı yarı yarıya azalır, korozyona karşı önlem ve boya gerektirmediğinden ve tekne gövdesinde kullanılan malzeme bedeli bitmiş teknenin az bir kısmını oluşturduğundan, toplam maliyette çelikten yapılan tekneye göre % 10-15 daha pahalı bir çözümdür. Tekne sektöründe kullanılan alüminyum alaşımlarında, genellikle mangan ve silisyum

elementleri kullanılır. Alüminyum galvanik korozyona çok yatkın bir malzemedir. Bu nedenle alüminyum alaşımlarından yapılan tekne gövdeleri diğer metallere karşı korozyona uğrayacağı için gerekli önlemler alınmalıdır. Alüminyum alaşımın kullanıldığı teknelerin bakım maliyetlerinin az olması, boyaya bile ihtiyaç duymamaları, kolay işletilmeleri ve hafiflikleri yanında dayanıklılıkları gibi özellikleri olduğundan pahalı tekneler, lüks yatlarda çok rastlanan bir üründür. (Bayındır, 2005).

Alüminyum alaşımlarının demir yolu taşıtlarında kullanımı hızla artmaktadır. Hızlı tren endüstrisine alüminyum alaşımlarının büyük katkısı olmuştur. Hızlı tren şasesi ve vagon gövdeleri yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlardan üretilmektedir (MMMO 24.Dönem Çalışma Raporu, 2004).

3.1.2.6. Diğer mühendislik alanlarında kullanımı

Alüminyum ve alaşımları soğutucu ürünlerde, havalandırma ürünlerinde, spor ekipmanları ve küçük ev aletlerinde de kullanılmaktadır. Alüminyum-sülfür pilleri gibi pil üretiminde de kullanılmaya başlamıştır. Ayrıca alüminyum savunma sanayiinde de önemli ölçüde kullanılmakta ve kullanımı artarak devam etmektedir. Roket ve füze sistemlerinde de kullanılmaktadır (MMMO 24.Dönem Çalışma Raporu, 2004).

3.1.3. Alüminyum ve alaşımlarında ısıtım işlem mekanizmaları

Genel olarak beş tür ısıtım işlem göstergesi kullanılmaktadır. Bu gösterimler Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Alüminyum alaşımlarının ısıtım işlem gösterimleri (Askeland vd., 2010)

F	Fabrikasyon hali.
O	Tavlınmış (en yüksek süneklik, en düşük dayanım).
H	Soğuk şekillendirilmiş.
W	Solüsyona alma.
T	Yaşlandırılmış.

Alüminyum alaşımlarında ısıtım işlemleri tanımlamak için kullanılan temper simgeleri Tablo 3.5' de verilmektedir.

Tablo 3.5. Alüminyum alaşımlarında ısıl işlemler için kullanılan temper simgeleri (Baydoğan, 2003)

Temper Simgesi	Açıklama
T1	Ekstrüzyon ya da döküm gibi bir yüksek sıcaklık işlemlerinden sonra soğutulmuş ve kararlı bir hale ulaşacak şekilde doğal yaşlandırılmış
T2	Sıcak işlemde sonra soğutulur, soğuk işlemde geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.
T3	Çözeltiye alındıktan sonra düzeltme ya da doğrultmayla soğuk deformasyon uygulanmış
T36	Çözeltiye alındıktan sonra % 6 soğuk deformasyon uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış
T4	Çözeltiye alındıktan sonra doğal yaşlandırılmış
T42	Daha önceki işlemlere bakılmaksızın çözeltiye alındıktan sonra doğal yaşlandırılmış (sadece 2014 ve 2024 alaşımlarına uygulanır)
T351	Çözeltiye alınmış ve alaşıma bağlı olarak %1-3 arasında kalıcı deformasyon oluşturmak amacıyla gererek gerilme giderme uygulanmış
T5	Sıcak işlemde sonra soğutulur ve yapay yaşlanma ile sertleştirilir
T6	Çözeltiye alındıktan sonra yapay yaşlandırılmış
T62	Daha önceki işlemlere bakılmaksızın çözeltiye alındıktan sonra yapay yaşlandırılmış (sadece 2014 ve 2024 alaşımlarına uygulanır)
T652	Çözeltiye alınmış, basma deformasyonu uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış
T651	Çözeltiye alınmış, % 1-3 arasında kalıcı deformasyon oluşturmak amacıyla gererek gerilme giderme uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış
T7	Çözeltiye alındıktan sonra aşın yaşlandırılmış
T8	Çözeltiye alındıktan sonra soğuk deformasyon uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış
T/4	Çözeltiye alındıktan sonra düzeltme ya da doğrultmayla soğuk deforme edilmiş ve yapay yaşlandırılmış
T86	Çözeltiye alındıktan sonra % 6 deformasyon uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış
T9	Çözeltiye alındıktan sonra yapay yaşlandırılmış ve soğuk deformasyon uygulanmış
T10	Yüksek sıcaklık şekillendirme işlemlerinden sonra soğutulmuş, yapay yaşlandırılmış ve soğuk deformasyon uygulanmış

3.2. Korozyon ve Korozyon Çeşitleri

3.2.1. Korozyon

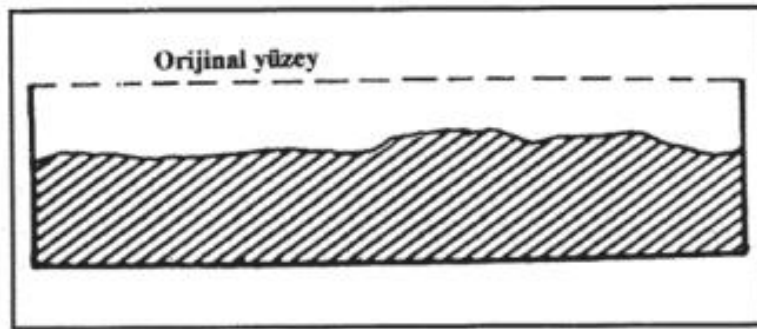
Çok farklı alanlarda çalışan malzemelerin, saldırgan ortamlar altında kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan tahribat ya da fiziksel çözünme olayıdır. Korozyonun hem maliyet hem de güvenlik açısından istenmeyen bir olaydır. Korozyonun malzemeye verdiği zararı durdurmak için korunma maliyeti ya da zarar gören malzemenin değiştirilmesi için gereken maliyet ekonomik olarak verdiği zararlarıdır. Fakat güvenlik ekonomiden daha önemli bir konudur. Korozyona uğrayan malzemeler beklenmedik anlarda kırılmaları, parçalanmaları insan hayatı ve sağlığını tehlikeye atar (Üneri, 2011; Yalçın ve Koç, 2014; Doruk, 2014).

3.2.2. Korozyon çeşitleri

Korozyon mekanizması, görülme halleri, ortamları ve sebepleri gibi olgular korozyon oluşumunda birbirinden oldukça farklılıklar gösterir. Genel olarak bilinen ve ayırt edilebilen korozyon türleri aşağıda sıralanmıştır (Yalçın ve Koç, 1997; Üneri, 2011).

3.2.2.1. Üniform korozyon

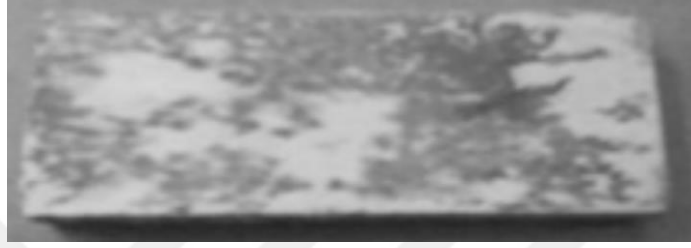
Uzun süreçlerde metalin her noktasında homojen şekilde ilerlediği kabul edilen korozyon çeşididir. Homojen olarak korozyona uğrayan metalin kalınlığı her bölgede yaklaşık olarak aynı derecede incelir. Diğer korozyon çeşitlerine göre ağırlık olarak metal kaybı en fazla olan korozyon türüdür.



Şekil 3.2. Genel korozyon (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.2. Tabakalanma korozyonu

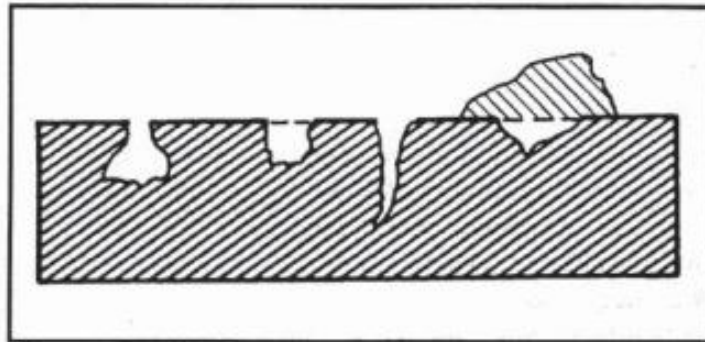
Taneler arası korozyon, ekstrüzyon veya hadde yüzeyine paralel olarak gerçekleşirse buna tabakalanma korozyonu denir. Alüminyum ve alaşımlarında meydana gelen bu tür korozyonda malzemeye verilen zarar, haddeleme yönünde uzamış tane sınırında meydana gelir. Korozyona uğramış metal tabakalar birbirinden ayrılır ve oluşan korozyon ürünleri malzemeden tabakalar halinde dökülür.



Şekil 3.3. Tabakalanma korozyonu (Pankade vd., 2018)

3.2.2.3. Çukurcuk korozyonu

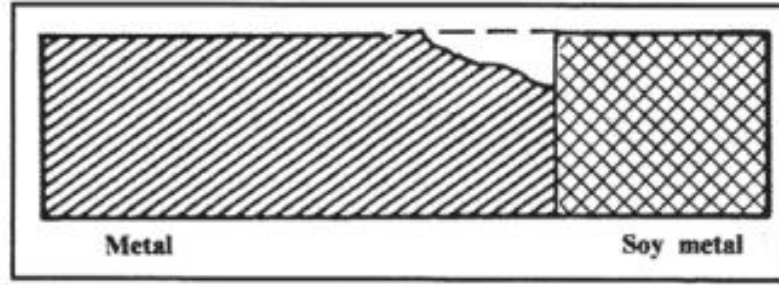
Metal yüzeyi üzerinde, çukurcuklar oluşturarak meydana gelen korozyon türüdür. Oluşan çukurların çapları birbiri ile aynı ya da farklı boyutta ve derinlikte olabilir. Bu korozyon türünde anot ve katot bölgelerinin birbirinden ayrıldığı çok belirgindir. Anot, yüzeyin herhangi bir noktasında açılan çukurun içindeki dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki çok geniş bir alandır. Korozyon çukur oluşan bölgelerde büyüyerek çok hızlı ilerler ve ani delinmelere yol açar. Paslanmaz çeliklerde çok görülen bir korozyon türüdür. Çok tehlikeli bir korozyon türü olarak kabul edilir (Üneri, 2011).



Şekil 3.4. Çukur korozyonu (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.4. Galvanik korozyon (Metal çifti korozyonu)

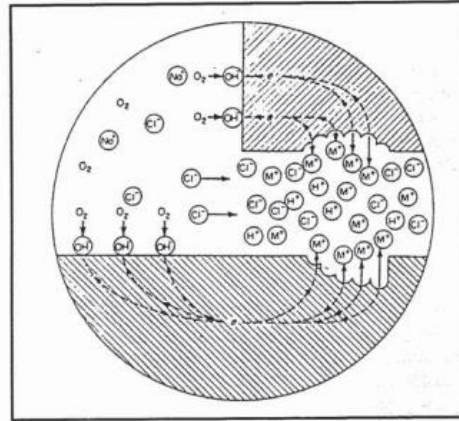
Farklı potansiyele sahip iki farklı metalin aynı ortamda kullanımını sonucu ileri gelen bir korozyon türüdür. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot olur. Böylece bir korozyon hücresi meydana gelir ve anot olan metal korozyona uğrar. Korozyon hızı, metallerin arasındaki potansiyel fark ve oluşan korozyon hücresinin toplam direncine bağlıdır (Palmanak, 2009).



Şekil 3.5. Galvanik korozyon (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.5. Çatlak korozyonu (Aralık korozyonu)

Korozyon ortamındaki metalin yüzeyinde bulunan çatlak, yarık, aralık veya cep gibi çözeltinin durgun halde kaldığı bölgelere oksijen transferi güçleşir. Bunun sonucu olarak bu bölgeler anot, çatlağın çevresindeki metal yüzeyleri katot olur. Çatlak korozyonu yalnız metal yüzeyinde bulunan bir çatlakta değil, ağaç, plastik, kauçuk, tekstil gibi malzemeler ile metal yüzeyi arasında da meydana gelebilir (Soyyigit, 2009; Üneri, 2011; Yalçın ve Koç, 2014).



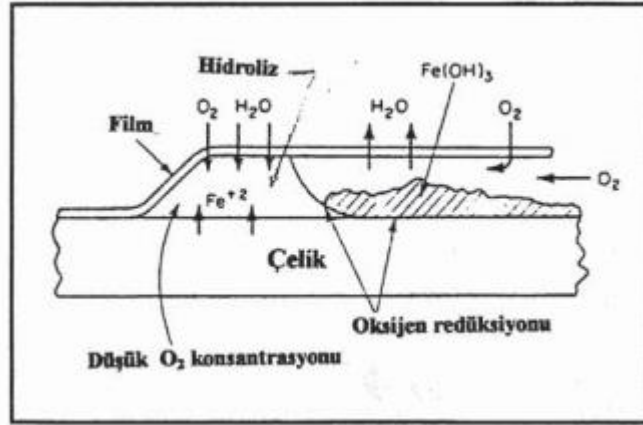
Şekil 3.6. Çatlak korozyonu (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.6. Kabuk altı korozyonu

Kabuk altı korozyonu metallerin yüzeyinde oluşan bir kabuk altında gerçekleşen korozyon türüdür. Bu korozyon olayı kabuk altında bulunan nemden ve yeteri kadar oksijen alamamasından kaynaklanır. Kabuk altında sıvı hareketi yoktur. Sonuç olarak çatlak korozyonuna benzer bir ortam oluşur. Oluşan bu ortamda kabuğun altı anot, kabuk çevresi ise katot olur. (Yalçın ve Koç, 2014).

3.2.2.7. Filiform korozyonu

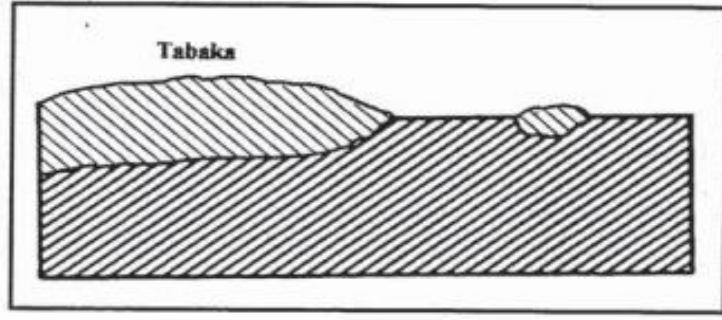
Boya veya kaplama tabakası altındaki metal ile bu kaplama arasında oluşan bir korozyon olayıdır. Filiform korozyonu, başlangıçta çatlak korozyonuna benzer şekilde oluşur. (Yalçın ve Koç, 2014).



Şekil 3.7. Filiform korozyon (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.8. Seçimli korozyon

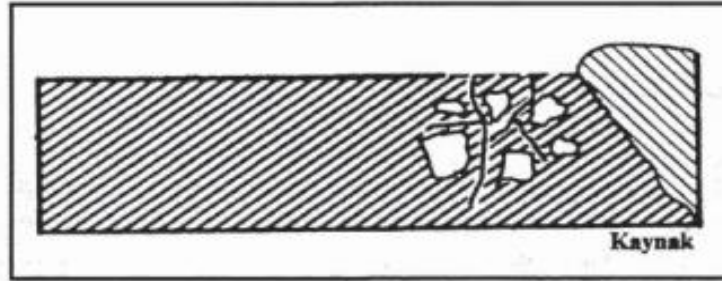
Alaşımı oluşturan elementlerden birinin korozyona uğrayarak aşınması ile oluşan korozyon olayıdır. Bu tip korozyona en iyi örnek, pirinç alaşımı içinde bulunan çinkonun bakırdan önce korozyonla uzaklaşmasıdır. Bu seçimli korozyona özel olarak Dezinsifikasyon adı verilir. Bu korozyon türüne kısmi aşınmada denilebilir (Üneri, 2011).



Şekil 3.8. Dezinsifikasyon korozyonu (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.9. Taneler arası korozyon

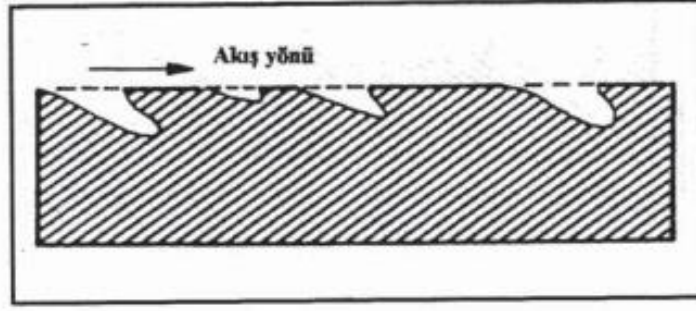
Bir metalin ya da alaşımın tane sınırlarının korozyona uğrama yatkınlığı diğer kısımlarına göre daha fazladır. Korozyon olayı bazı şartlarda tanelerin sınır çizgisi boyunca oluşur. Bu tür korozyona taneler arası korozyon denir. Taneler arası korozyon yerel aşınmalara neden olur ve malzeme parçalanır ya da dayanım gücünü kaybeder. Bu tür korozyonun en tipik örneği paslanmaz çeliklerde görülür ve kromun krom karbür oluşturarak azalması olayıdır (Üneri, 2011).



Şekil 3.9. Kaynak yapılan bölgede taneler arası korozyon (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.10. Erozyonlu korozyon

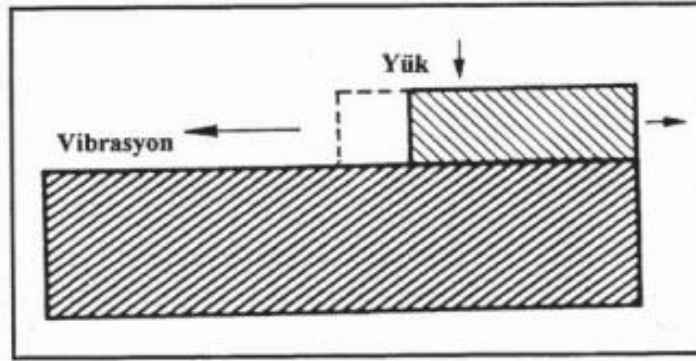
Metal malzeme ile ortamdaki akışkan haldeki korozif çözelti arasında, korozyon olayının yanında erozyon da meydana gelir. Bu erozyon olayı korozyonun daha da hızlı ilerlemesine neden olur. Bu korozyon hızındaki artış, oluşan korozyon ürünlerinin akışkan tarafından sürüklenerek bulunduğu yerden uzaklaştırılmasıdır. Erozyonlu korozyon olayı daha çok hareketli korozif çözeltilerin bulunduğu ekipmanlarda, akışkanın yön değiştirdiği bölgelerde (boru hatlarında, dirseklerde, valflerde, pompalarda, vb.) söz konusu olabilir (Soyyigit, 2009).



Şekil 3.10. Erozyonlu korozyon sonucu metal yüzeyin görünüşü (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.11. Aşınmalı korozyon

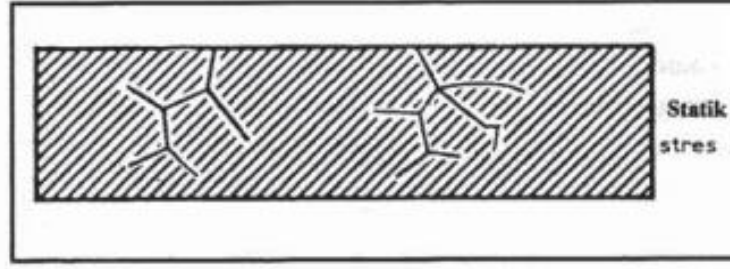
Birbiri üzerinde hareket eden iki yüzeyin birlikte aşınması ile gerçekleşir. Daha çok üst üste yığılmış metallerin nakliyesi sırasında ve yumuşak bağlantı yapılmış elemanlar arasında görülür. Su bulunmayan ortamlarda bile bu korozyon türü gerçekleşebilir. Alüminyum ve galvaniz kaplamalı malzemeler bu korozyon türüne daha çok uğrar (Yalçın ve Koç, 2014).



Şekil 3.11. Vibrasyon nedeni ile aşınma (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.12. Gerilmeli korozyon (Stres korozyon)

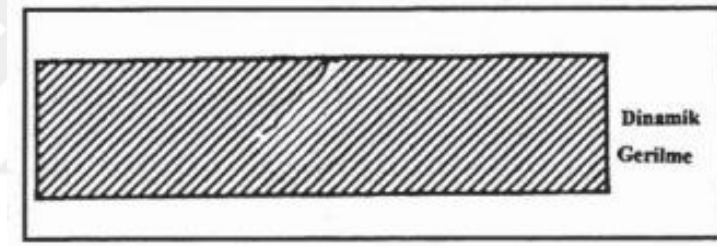
Korozif ortamda bulunan makine parçaları ya da metaller aynı zamanda bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması, korozyonun başlaması için uygun bir ortam oluşturur. Normal şartlarda korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturduğu halde, gerilme altında iken korozyon ürünleri bir tabaka oluşturamaz. Sonuç olarak korozyon hızlı bir şekilde devam ederek metalin o bölgede çatlamasına neden olur (Soyyigit, 2009).



Şekil 3.12. Stres korozyon çatlaması (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.13. Yorulmalı korozyon

Periyodik olarak yükleme - boşaltma şeklinde etkiyen dinamik bir gerilme altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Metal yorulmuş halde olduğu için daha küçük gerilmeler altında çatlatabilir. Yorulma ve korozyon metal üzerine birlikte etkisi sonucu metal daha çabuk çatlar. (Üneri, 1988).



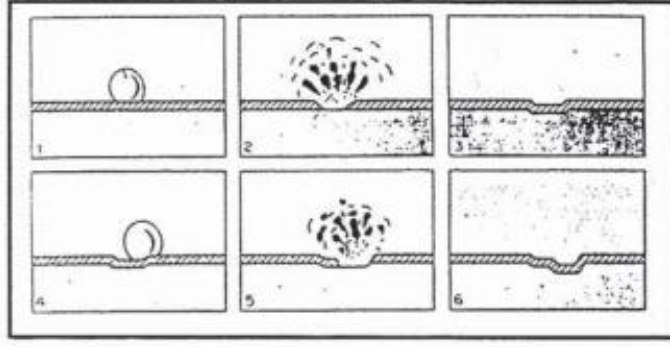
Şekil 3.13. Yorulmalı korozyon ile oluşan çatlama (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.14. Kaçak akım korozyonu

Raylı taşıt araçları gibi doğru akımla çalışan sistemlerde, yüksek voltajlı elektrik hatları ve kaynak makineleri zemin içine kaçak akım yayarlar. Oluşan bu kaçak akımlar çevredeki metallerde korozyona neden olurlar. Örneğin bir yeraltı tren hattına paralel giden boru hattında kaçak akım korozyonu meydana gelebilir. (Yalçın ve Koç, 2014).

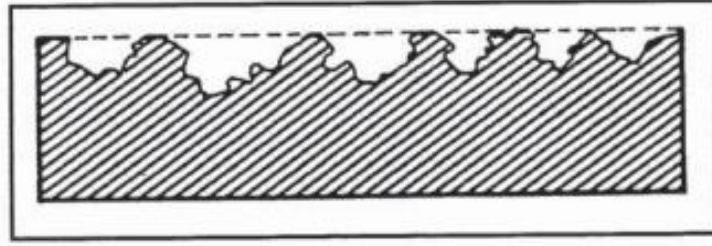
3.2.2.15. Kavitezyon korozyonu

Kavitezyon korozyonu, erozyonlu korozyon olayının özel bir şeklidir. Akışkan içinde gaz ve buhar parçacıklarının, metal yüzeyinde bulunan engellere çarparak patlaması sonucu bölgede yıpranmaya neden olabilirler.



Şekil 3.14. Kaviteasyon olayının meydana gelişini (Yalçın ve Koç, 1997)

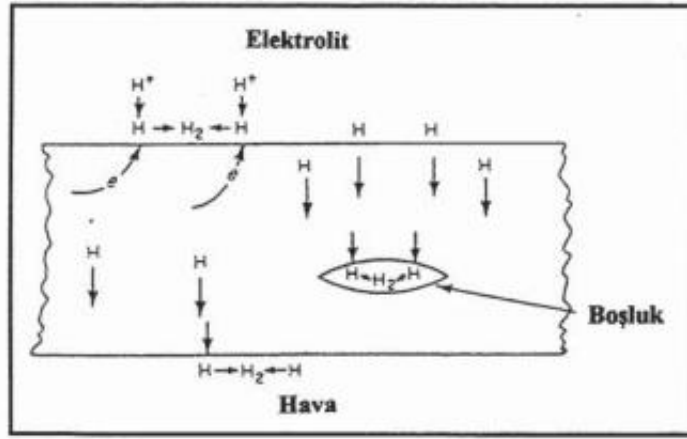
Kaviteasyon korozyonu çoğunlukla hidrolik türbinlerde, sıvı içinde çalışan pervanelerde ve pompa parçalarında meydana gelir. Hızla akan bir akışkan basınç düşüşü meydana gelen noktalarda buharlaşarak kabarcıklar oluşturur. Bu kabarcıkları yüzeyde bulunan engellere çarparak patlaması sonucu ve metalin bu bölgelerinde çukurlar oluşur.



Şekil 3.15. Kaviteasyon korozyonu sonucu oluşan çukurlar (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.16. Hidrojen Kırılğanlığı

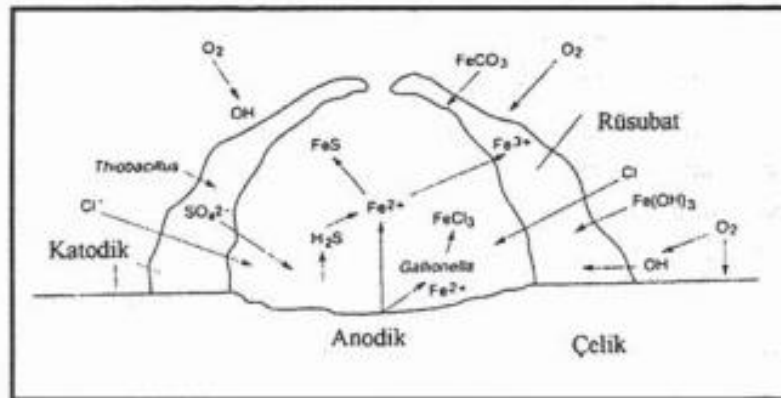
Korozyon ve katodik koruma sonucu metalin yüzeyinde oluşan hidrojen atomları birleşerek hidrojen molekülü oluşturur ve atmosfere karışır. Hidrojen atomlarının bir kısmı ise metalin bünyesine girerek boşluklara yerleşir. Bu bölgelerde birleşerek hidrojen molekülü oluşturur ve büyüyerek hacim artışına neden olur. Malzeme bünyesinden uzaklaştırılamayan hidrojen molekülleri boşluklarda büyük bir basınç oluşturur ve metali çatlatır (Yalçın ve Koç, 2014).



Şekil 3.16. Metal içinde hidrojen penetrasyonu (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.2.17. Mikrobiyolojik korozyon

Bu korozyon türü normal korozyon türleri ile benzer yapıda olup, mikroplar, bakteriler ve mantarlar gibi canlılar tarafından başlatılan veya hızlandırılan korozyondur. Bu canlıların gelişmesi ile meydana gelen sülfürler ve asitler korozyon hızını arttırıcı rol oynarlar. Bir asrı aşkın süre önce ortaya çıkarılan bu korozyon türünün, gelişen endüstriyel sistemler için önemli bir sorun olduğunun farkına son çeyrek asırda varılmıştır. Mikrobiyolojik korozyon, metal ve yapı malzemelerine olan korozyon zararlarının yaklaşık % 20'sini oluşturmaktadır. Enerji ve petrol endüstrisinde, bu tür korozyondan kaynaklanan yangın problemleri gibi olaylar zaman zaman ciddi hasarlarla sonuçlanan birçok soruna yol açmaktadır (Soyyigit, 2009; Yalçın ve Koç, 2014).



Şekil 3.17. Mikrobiyolojik korozyon oluşumu (Yalçın ve Koç, 1997)

3.2.3. Alüminyum alaşımlarında korozyon

Alüminyum alaşımlarının birçoğu yüzeylerinde hızla oluşan oksit katmanından dolayı doğal ortamlarda korozyona karşı dirençlidirler. Alüminyum yüzeyinde oluşan bu film daha çok amorf, su ve su buharı içerisinde ise daha çok kristalin yapıda yüzey filmi oluşur. Yüzeyde oluşan oksit katmanı ne kadar homojen ise, aynı koşullarda korozyon dayanımı da o kadar iyidir. Öte taraftan oluşan oksit katmanı çok ince olduğundan, kimyasal ve mekanik etkilere karşı direnci düşüktür (Özakın, 2014).

Saflığının (alüminyum oranı) %99,5'den yüksek olan malzemelerin korozyon direnci de yüksektir. Saf alüminyumun korozyon direnci alaşımlarından daha iyidir. Al-Zn-Mg alaşımları, Al-Cu-Mg alaşımlarından daha iyi korozyon dayanımına sahiptir ama Al-Mg ve Al-Mg-Si alaşımlarından daha azdır. Su buharı Al-Zn-Mg alaşımlarında şiddetli korozyona neden olur. Mg ve Zn elementlerin miktarı arttıkça korozyon duyarlılığı da artar (Özakın, 2014).

3.3. Korozyon Ölçme Metotları

Korozyon ölçümü deney metodunun seçiminde iki önemli faktör vardır. Bunlardan biri güvenlik, diğeri ise maliyettir. Ayrıca gerekli teçhizat ve yeterli zamanın bulunup bulunmadığı da önemlidir. Deneyin sonucunda ne hakkında bilgi edinilmek isteniyorsa bu bilinmeli ve metot bu doğrultuda seçilmelidir. Genel olarak endüstride uygulanan deneyler dört grupta toplanabilir. (Yalçın ve Koç, 2014).

3.3.1. İşletme koşullarında yapılan ölçümler

Bu deneyler işletmelerde çalışma aşamasında yapılan deneylerdir. Asıl malzeme yerine denenecek malzeme monte edilir. Belirli bir süre sonra deney malzeme alınarak incelenir. İşlemin maliyeti yüksektir. Deneyin süreside çok uzun olduğu için karışık sonuç verebilir. İşlem ortam koşullarında yapıldığı için sonuçların değerlendirilmesi kolaydır. Denenecek malzemenin deney yerine koyulması ve tekrar alınması işletmede kesintiye yol açabilir. Bu sebeple işletilen sisteme bir yan geçiş hattı eklenerek deney burada gerçekleştirilebilir (Yalçın ve Koç, 2014).

3.3.2. Arazide yapılan ölçümler

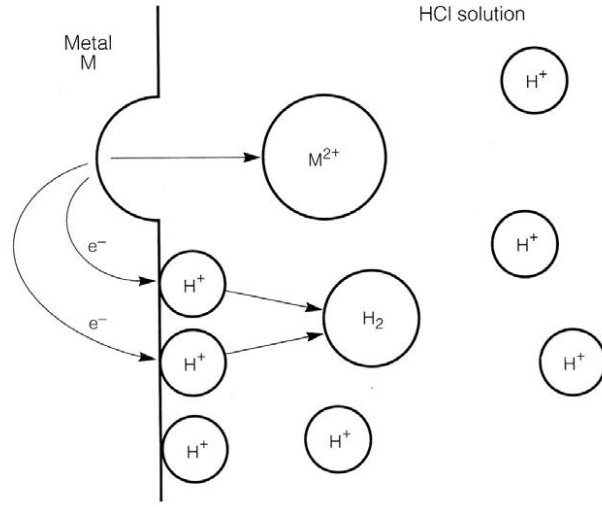
Bu ölçüm metodu da işletmede koşullarında yapılan deney kadar güvenli sonuç verir. Gerçek ortam şartlarına bırakılan numunelerin ağırlık kaybı veya elektriksel direnci ölçülerek gerçekleştirilir. Aynı anda çok fazla numune deneye tabi tutulabilir (Yalçın ve Koç, 2014).

3.3.3. Laboratuvar ölçümleri

Kullanılacak sisteme en uygun malzemeyi seçmek için yapılan korozyon deneyleridir. Genellikle iki tip deney uygulanır. Bunlar ‘‘Huey deneyi’’ ve ‘‘Tuz püskürtme deneyi’’dir. Bu deneylerde en büyük sorunlardan biri büyük boyutlu numunelerin kullanılması sonucu oluşan korozyon ürünlerinin çözeltileri kirletmesi ve sonuçları değiştirmesidir. Ayrıca kısa süreli testler olduklarından bazen sonuç gerçek durumu vermeyebilir. Bu deneylerin avantajı düşük maliyetli olması ve deney koşullarının istenildiği gibi ayarlanabilmesidir. Bazı özellikler daha derinlemesine incelenir. Bu deneyleri malzemeler arasında ön seçim yapmak amacıyla uygulamak daha uygundur (Yalçın ve Koç, 2014).

3.3.4. Elektrokimyasal ölçümler

Elektrokimyasal ölçümler genellikle ‘‘üç elektrot düzeni’’ adı verilen bir sistemde gerçekleştirilir. Bu elektrotlar, üzerinde çalışma yaparak incelenecek olan çalışma elektrotu (ÇE), devrenin katot tarafını oluşturan karşıt elektrot (KE) ve akım-gerilim ölçümlerinin yapılması için gerekli olan referans elektrottur (RE). Şekil 3.17’de gösterilen reaksiyon açık devre potansiyeli (OCP) veya korozyon potansiyelinde (E_{kor}) gerçekleşir. Bu durumda metale dışarıdan herhangi bir elektrik gerilimi uygulanmamaktadır. Sonuç olarak çalışma elektrotu üzerinden sadece korozyon akımı (I_{kor} veya I_0) geçmektedir (Duanjie, 2010; Bayrak, 2013).

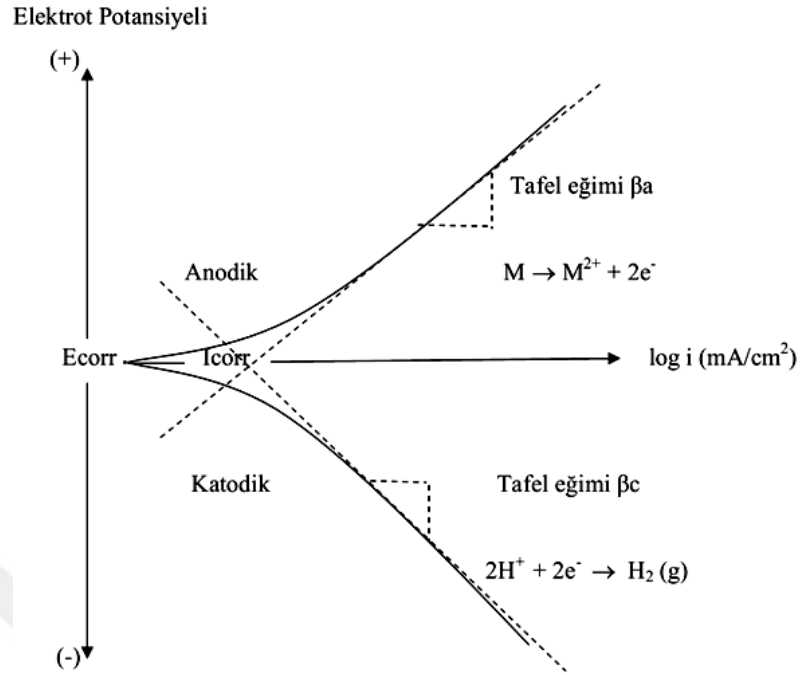


Şekil 3.18. Metalin elektrokimyasal olarak çözünmesinin şematik gösterimi (Duanjie, 2010)

Elektrokimyasal ölçümlerde kullanılan yöntemler aşağıda başlıklar halinde anlatılmıştır.

3.3.4.1. Tafel ekstrapolasyon yöntemi

Metalle çözelti arasında oluşan iki adet reaksiyonun dengeye gelmesiyle korozyon olayı gerçekleşir. Bu reaksiyonlardan biri anodik reaksiyon diğeri ise katodik reaksiyondur. Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile korozyon hızının belirlenmesinde, dışarıdan uygulanan akım, belirli bir değeri aştığı zaman polarizasyon eğrilerinde bir kırılma meydana getirir. Oluşan bu kırılma noktasından sonra grafikte bir lineer bölge başlar. Bu bölgeye tafel bölgesi, oluşan doğrunun eğimine ise tafel eğimi denir. Oluşan bu doğruların korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu sonucu, korozyon potansiyeli ile doğruların kesiştiği yer korozyon hızı olarak kabul edilir. Tafel ekstrapolasyonu yöntemi akım ya da potansiyelden biri değiştirilerek uygulanır ve diğeri kaydedilir. Sabit potansiyelde akım değerlerinin ölçülmesi potansiyostatik yöntem, değiştirilen potansiyellere karşılık gelen akım şiddetlerinin ölçülmesi ise potansiyodinamik yöntemdir. Bu eğriler deneysel olarak elde edilirler (Taş, 2007; Yalçın ve Koç 2014; Doruk, 2014).



Şekil 3.19. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri (Topkaya, 2014).

Bu yöntemlerde deneysel olarak oluşturulan grafiklerden korozyon hızına ulaşılır. Anodik ve katodik tafel eğrilerinin lineer olan kısımlarının korozyon potansiyeline estrapolasyonu sonucu, bulunan kesim noktalarından korozyon hızı ve korozyon potansiyeli tespit edilir. Metal yüzeyinde anodik ve katodik reaksiyonlar aynı anda gerçekleşir. Gerçekleşen bu reaksiyonlarla elektrot potansiyeli karma bir potansiyel değere yani E_{kor} 'a ulaşır ve bu değere karşılık gelen akımda I_{kor} korozyon akımı olur (Yalçın ve Koç 2014; Doruk, 2014).

3.3.4.2. Doğrusal polarizasyon (polarizasyon direnci) yöntemi

Başka bir korozyon hızını belirleme yöntemi ise polarizasyon direnci yöntemidir. Stern ve Geary aktivasyon polarizasyonu ile denetlenen bir sistemde korozyon potansiyeli civarında uygulanan ΔI akımı ile oluşan ΔE potansiyel farkı arasında aşağıdaki doğrusal bağıntı vardır (Yakar, 2006).

$$\Delta I / \Delta E = (\beta_a \beta_k) / [2,303(\beta_a + \beta_k)] \quad (3.1)$$

Denklemden I_{kor} yerine yazılıp çekilirse,

$$I_{kor} = \left(\frac{1}{R_p}\right) \times (\beta_a \beta_k) / [2,303(\beta_a + \beta_k)] \quad (3.2)$$

Burada;

R_p : Polarizasyon direnci, $(dE/dt)_{i \rightarrow 0}$ polarizasyon eğrisinin eğimi

β_a : Anodik Tafel eğimi, $\beta_a = 2,303RT/\alpha_a ZF$,

β_k : Katodik Tafel eğimi, $\beta_k = 2,303RT/\alpha_k ZF$

R gaz sabiti, T mutlak sıcaklık, α_a ve α_k anodik ve katodik transfer katsayıları Z ilgili elektrot reaksiyonu için elektron sayısını, F ise faraday sabitini göstermektedir.

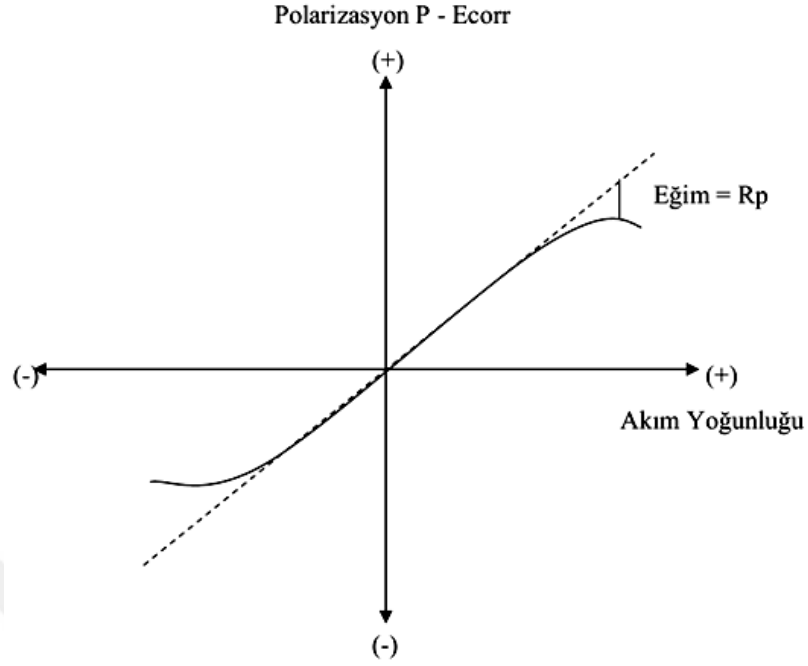
Bazı ihmaller ve kabuller yapılarak aşağıdaki eşitlik elde edilir (Taş, 2007).

$(\beta_a \times \beta_k) / [2,303(\beta_a + \beta_k)]$ yerine B yazılırsa,

$$I_{kor} = B \Delta I / \Delta E \quad (3.3)$$

Buradan I_{kor} deneysel değerlerin denklemde yerine koyulması ile bulunabilir. Doğru sonuçlar için β_a ve β_k polarizasyon eğrilerinden elde edilmelidir. Yaklaşık sonuçlarda ise β_a ve β_k 0.12 V yani $B = -0.026$ V kabul edilerek I_{kor} tespit edilebilir. Metot hem doğru hem de alternatif akım tekniklerine uygulanabilir.

Alternatif akım tekniklerinde $\Delta E / \Delta I = R_p$ alınıp denklem (3.3) yerine yazılırsa $I_{kor} = B / R_p$ bulunur. R_p yi hesaplamak için $\Delta E - \Delta I$ eğrileri çizilmelidir. Bu da değişken bir direnç sağlayan güç kaynağından elektrot ile karşı elektrot arasında potansiyeller uygulayıp akım değerleri ölçülerek yapılır. Potansiyelin hızı 0,1–10 mV arasındadır. Potansiyel değişimleri yavaş yapılırsa sonuç daha doğru elde edilir (Asan, 2002).



Şekil 3.20. Doğrusal polarizasyon yöntemi ile akım potansiyel eğrisi (Topkaya, 2014)

Korozyon akım yoğunluğuyla kütle kaybı arasındaki bağıntı şu şekilde verilebilir (Taş, 2007);

$$I_{kor} = \frac{\Delta m \times F \times n}{\Delta t \times M_k} \quad (3.4)$$

Burada;

Δm : Kütle değişimi

F : Faraday Sabiti

n : Korozyonu söz konusu olan metalin çözültüye geçme değeri

M_k : Metalin mol gramının kütlesi

Δt : Zaman değişimi

$I_{kor} = B / R_p$ denklemi ile 3.4 denklemi birleştirilirse (Taş, 2007);

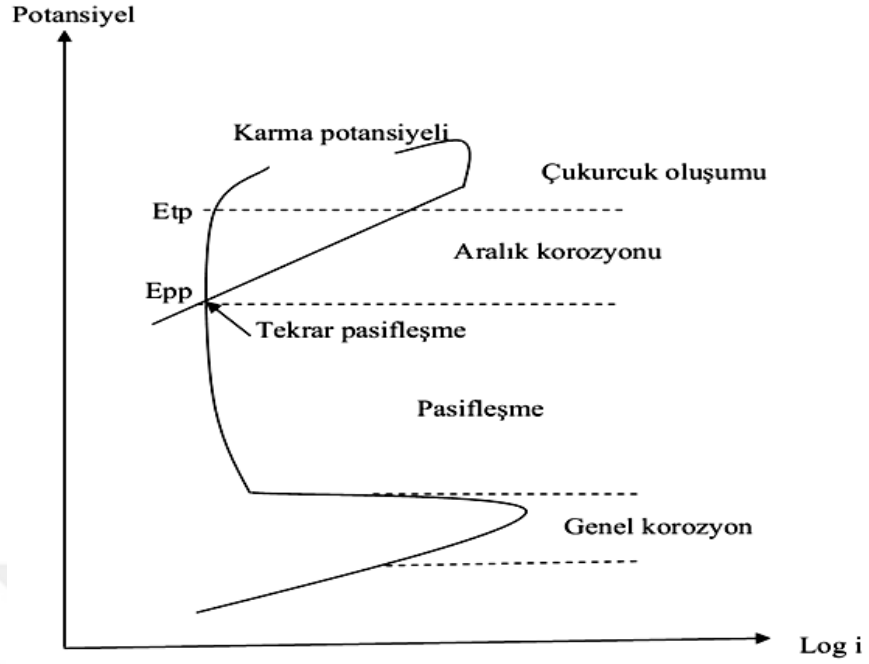
$$\Delta m = \frac{\Delta t \times \Delta i \times B \times M_k}{\Delta E \times F \times n} \text{ eşitliği elde edilir.} \quad (3.5)$$

3.3.4.3. Potansiyodinamik polarizasyon

Potansiyostatın voltajı bir cihaz ile sürekli değiştirilirken buna karşılık gelen akım ölçülür ve kaydedilir. Potansiyodinamik polarizasyon yöntemi genel olarak pasifleşme davranışını ve özelliklerini incelemeye kullanılır. Yapılan tarama işlemi süresince elektrot yüzeyinde farklı reaksiyon gerçekleşebilir. Çoğunlukla anodik polarizasyonda aktif pasif trans pasif ve yeniden pasifleşme gibi çeşitli bölgeler oluşur. Oluşan bölgelerden metal için I_{kor} , E_{kor} , pasifleşme kararlılığı ya da polarize edilerek pasifleştirilebileceği hakkında bilgi edinilebilir. Pasif bölgenin akımı ve trans pasif bölgenin potansiyeli bulunarak pasifleşme ölçüsü ve pasif filmin kararlılığı ile ilgili bir bilgiye ulaşılabilir. Kararlı bir hal için düşük tarama hızları kullanılmalıdır (Asan, 2002; Yakar, 2006).

3.3.4.4. Çevrimsel polarizasyon

Çevrimsel polarizasyon yöntemi, dönüşümlü voltametri çalışma yöntemiyle aynıdır. Korozyonun gerçekleştiği çözelti ortamında metalin çukurcuk korozyonu yatkınlığının ölçüsünü nitel olarak belirlemek amacıyla kullanılan yöntemdir. Potansiyel taraması korozyon potansiyelinden başlayarak anodik yönde yapılır. Ölçülen akımın ani artış gösterdiği veya belirli potansiyele ulaştığı potansiyelden katodik yönde geri tarama yapılır. İleri yöndeki taramada akımın ani artış gösterdiği potansiyele çukurcuk potansiyeli denir. Bu potansiyelden sonra genellikle çukurcuklar şeklinde çözünmeler olur. Geri yöndeki tarama ile ileri yöndeki taramanın kesiştiği potansiyele koruma potansiyeli denir. Çukurcuk potansiyeli ile koruma potansiyeli arasında çukurcuklar büyür ama yeni çukurcuklar oluşmaz. İleri yöndeki tarama ile geri yöndeki tarama arasındaki fark arttıkça metalin çukurcuk korozyonuna yatkınlığı da artar (Asan, 2002).



Şekil 3.21. Çevrimsel polarizasyon eğrisi (Taş, 2007)

Şekil 3.21’ de görüldüğü üzere gerilim değeri açık devre potansiyelinden pozitif yönde ilerledikçe önce korozyon oranının arttığı gözlemlenir. İlk pasifleşme gerilimine (E_{ip}) ulaşıldığında ise korozyon akımının ani olarak düştüğü ve pasif bölge olarak ifade edilen aralık boyunca yaklaşık sabit kaldığı görülür. Bunun sebebi malzeme yüzeyinde oluşan ince ve koruyucu oksit filmidir. Gerilim arttıkça film parçalanır ve akımda yeniden ani bir artış meydana gelir. Bu bölgeye “pasif üstü bölge” adı verilir (Bayrak, 2013).

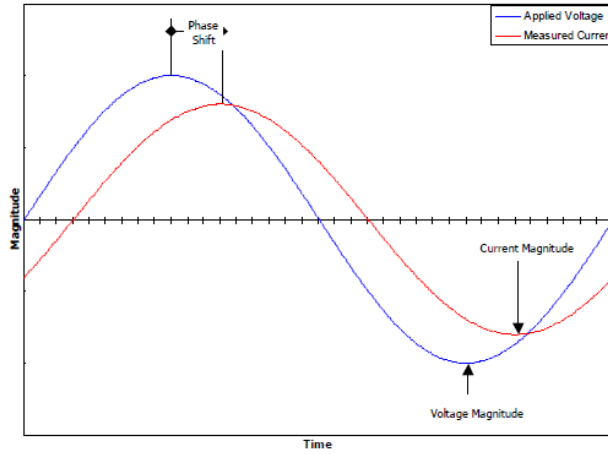
3.3.4.5. Galvanik eşleme

Bu yöntemin amacı metalin korozyona uğrayıp uğramayacağını derinlemesine inceleyip bilgi edinilmesidir. Korozyon ortamında bulunan iki farklı metalin aralarında oluşan potansiyel fark nedeni ile elektron transferi gerçekleşir. Daha soy metal olan anot ve diğer metal ise katot olarak reaksiyon gerçekleşir ve bu korozyonun ölçümünde sıfır dirençli ampermetre kullanılır. Ampermetre iki metal arası geçen akım ve potansiyeli aynı anda ölçer. Korozyon sırasında oluşan farklı polarizasyon davranışları sebebiyle farklı akımlar kaydedilir ve zamana karşı akım grafikleri çizilerek, grafiklerin yorumundan galvanik korozyonun olup olamayacağı hakkında çeşitli bilgiler edinilebilir (Asan, 2002; Yakar, 2006).

3.3.4.6. Elektrokimyasal empedans spektrokopisi (EIS)

Alternatif akımın direncine elektrokimyasal empedans denir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi korozyon çalışmalarında çok sayıda parametre saptadığı için korozyon süreçlerinin incelenmesinde artarak kullanılmaktadır. Bu teknik korozyon hızı, inhibitör etkinliği, kaplama performansı, yüzeyde oluşan pasif tabakanın incelenmesinde, malzeme seçimini gibi korozyonla ilgili kavramların incelenmesinde kullanılır. Çok fazla parametre hakkında bilgi vermesine rağmen anlamlı sonuçlar elde etmek için gelişmiş tekniklere ihtiyaç vardır. Alternatif akım uygulanarak gerçekleşen bu teknik malzemenin yüzey yapısına zarar vermemektedir. Tafel ekstrapolasyonu ve polarizasyon direnci gibi yöntemler doğru akımla gerçekleştiği için malzeme yüzeyi zarar görmektedir (Yakar, 2006; Taş, 2007; Doruk, 2014).

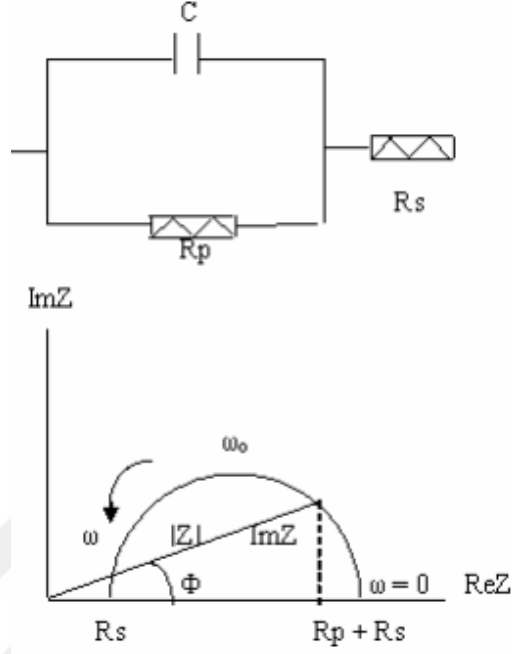
EIS yönteminin temeli, yüzeye farklı frekanslarda (0,001 ~ 100 000 Hz) küçük genlikli sinüzoidal gerilim (5 ~ 50 mV) uyarıları göndermek ve yüzeyin bu uyarılara karşı verdiği cevabı eş zamanlı olarak gözlemlemektir. Gönderilen uyarı ile gelen cevap arasında Şekil 3.22’de gösterildiği gibi bir faz kayması olmaktadır (Gamry, 2010).



Şekil 3.22. Sinüzoidal potansiyel uyarısı ve cevabı (Gamry, 2010)

Bu yöntemle elektrokimyasal hücreyi gösteren bir elektronik devre tasarlanabilir. Şekil 3.23’te elektrokimyasal reaksiyonun gerçekleştiği elektrot, direnç ve sığadan (kapasitör) oluşan tipik bir devre vardır. Elektronların geçişini engelleyen zorluk olarak adlandırılan empedans büyüklükleri kompleks sayı ile ifade edilir. Direnç kompleks sayının reel kısmını, Kapasitans (X_C) ve indüktans (X_L) imajiner kısmını oluşturur.

Empedans ölçmede kullanılan bir devrede imajiner empedans ile reel empedansın değişimi Nyquist eğrisi ile verilmiştir (Yakar, 2006; Taş, 2007).



Şekil 3.23. Nyquist grafiği ve eşdeğer devresi (Topkaya, 2014)

R_p ; polarizasyon direnci, R_s ; çözültü direnci ve Z ; empedans.

$$Z = \frac{R_p}{1+(\omega CR_p)^2} - j \frac{\omega CR_p^2}{1+(\omega CR_p)^2} + R_s \quad (3.2)$$

Z' : reel (gerçek) empedans , Z'' : kompleks (hayali) empedans olmak üzere

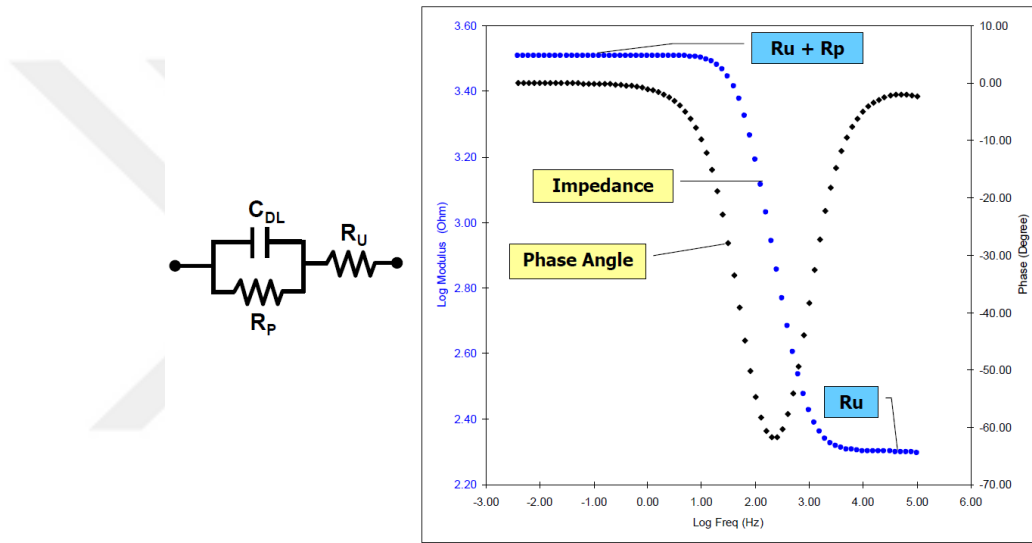
$$Z' = \frac{R_p}{1+(\omega CR_p)^2} , Z'' = \frac{R_p}{1+(\omega CR_p)^2} \quad (3.3)$$

Denklemden (2.9) Z' ve Z'' yazılıp ω yok edilirse aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\frac{[Z'-(R_s+R_p/2)]^2}{(R_p/2)^2} + \frac{(Z'')^2}{(R_p/2)^2} = 1 \quad (3.3)$$

Yukarıdaki bağıntı yarım dairenin bir fonksiyonudur. R_p değeri büyüdükçe yarım dairenin çapı da büyür ve dolayısıyla bu kıyaslama ile yüzeyin korozyona karşı olan direnci hakkında bilgi edinmek mümkün olur (Yakar, 2006; Taş, 2007).

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi analizlerinden elde edilen sonuçların farklı bir gösterimi de Bode grafikleri ile yapılmaktadır. Bode grafikleri, yapılan analizlerde elde edilen sonuçların yüzeye uygulanan elektriksel uyarının frekansına olan bağıllığı ve faz açılarını da gösteren grafiklerdir. Şekil 3.24'te örnek bir Bode grafiği ve eşdeğer devresi gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Bode grafiği ve eşdeğer devresi (Gamry, 2010)

3.4. Korozyon Hızının Hesaplanması

Pratik olarak korozyon hızı, metalin birim yüzeyinden birim zamanda ayrılan metal kütlesi olarak tanımlanmaktadır. Birim metal yüzeyinden geçen akım miktarı korozyon hızının hesaplamasında kullanılır (Yalçın ve Koç, 2014).

3.4.1. Akım yoğunluğu

Bilimsel çalışmalarda akım yoğunluğu ifadesi çalışma elektrotunun yüzey alan büyüklüğü etkisinin ortadan kaldırılması amacıyla, anotun birim yüzey alanından geçen akım miktarı olarak ifade edilir (Yalçın ve Koç, 2014).

3.4.2. Ktle kaybı

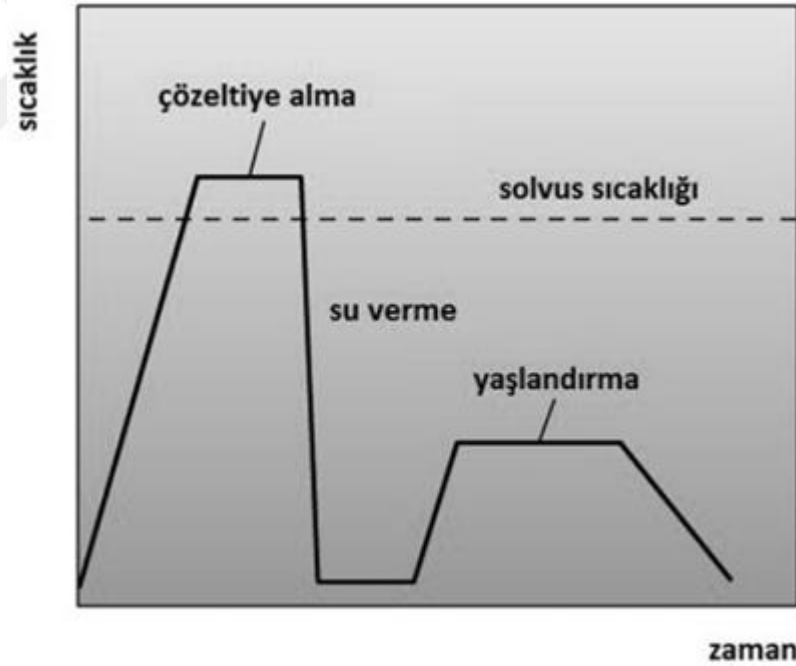
Korozyon olayı sonucu metallerde ktle kayıpları oluşur. Ktle kaybı ile akım yoğunluğu arasındaki bağıntı Faraday Yasası olarak bilinir. Belirli bir akım yoğunluğunda farklı metallerin ktle kayıpları farklı olur (Yalçın ve Koç, 2014).

3.4.3. Penetrasyon

Korozyon hızı metalde oluşan derinlik olarak tanımlanır. Yani korozyon ile yüzeyinden uzaklaşan metalin kalınlığıdır. Örneğin metal yüzeyinden yılda uzaklaşan mm olarak metal kalınlığıdır. Derinlikten ktle kaybına geçmek için metalin yoğunluğu kullanılır. Buda her metal için ayrı olarak hesaplanma yapılması gerektiğini gösterir (Yalçın ve Koç, 2014).

4. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada tam tavlama ısıl işlemi yapılmış 7075-O ve çözeltiye alınarak yapay yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış 7075-T6 alüminyum alaşımının, 0,1M NaCl, 0,5M NaCl ve 1M NaCl çözeltilerinde elektrokimyasal özellikleri araştırılmıştır. 7075 alüminyum alaşımı tam tavlama işlemi için 420°C'de 2 saat süre ile tutulmuş ve fırın içerisinde soğutulmuştur (Oğuz, 1990). 7075 alüminyum alaşımına T6 ısıl işlemi, 480°C'de 2 saat süre ile çözeltiye almayı takip eden suda soğutma, 1 saat oda sıcaklığında doğal yaşlandırma ve son olarak da 120°C'de 24 saat yapay yaşlandırma kademeleri ile uygulanmıştır (Yılmaz, 2012). T6 ısıl işlem grafiği Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Sırasıyla açık devre potansiyelleri ölçülmüş, çevrimsel polarizasyon deneyleri yapılmış, polarizasyon deneyleri öncesi ve sonrasında Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ölçümleri yapılmıştır.



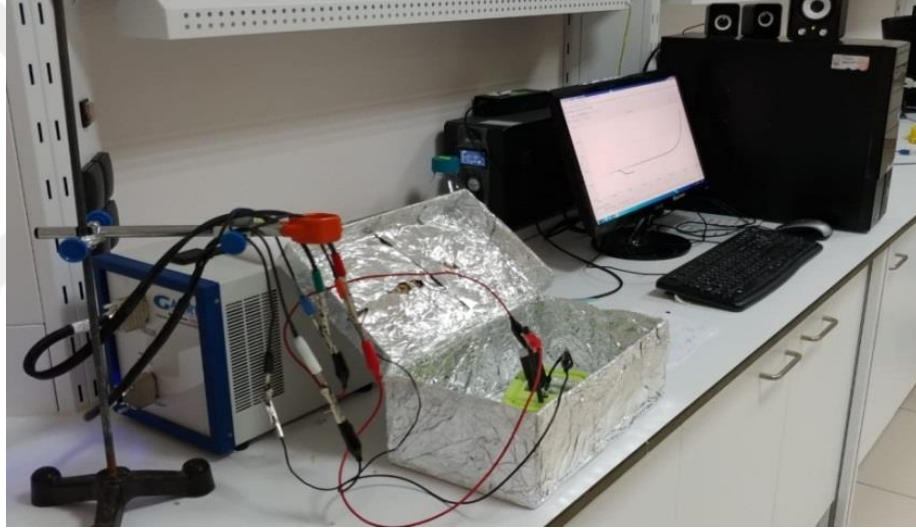
Şekil 4.1. T6 ısıl işlem grafiği (Dışpınar, 2019)

7075 Alüminyum alaşımı Zn, Mg, Cu alaşım elementleri ihtivası ile uygun ısıl işlemler sonunda alüminyum alaşımları arasında en yüksek mukavemete sahiptirler ve kimyasal bileşenleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. 7075 Alüminyum alaşımının bileşenleri (Alcoa Global Cold Finished Products, 2009)

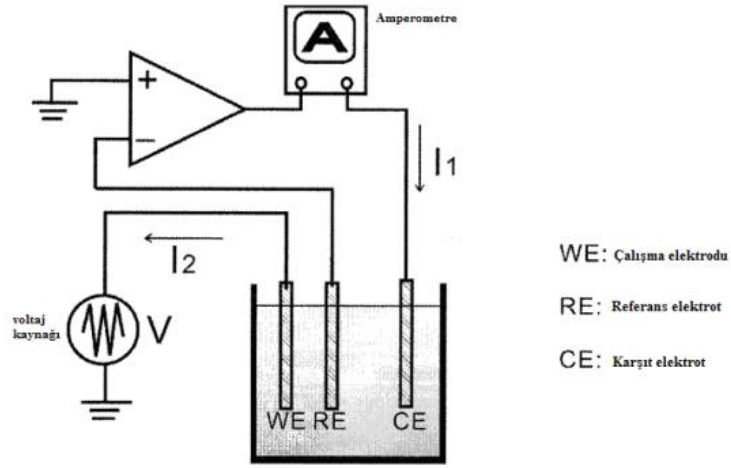
Bileşen	Al	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Ti	Mn	Cr
% Ağırlık	Kalan	5,1-6,1	2,1-2,9	1,2-2,0	Max 0,5	Max 0,4	Max 0,2	Max 0,3	0,18-0,28

Çalışma elektrotu olarak, 20x25 mm ölçülerine sahip 5 mm kalınlığında levha 7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Çalışma elektrotları ölçümlerden önce sırası ile 220, 600 ve 1200 numaralı SiC zımpara kağıtları ile zımparalanarak mekanik olarak hazırlanmış ve saf suyla yıkanmıştır. Elektrokimyasal özelliklerin tespitinde fotoğrafı Şekil 4.2’de verilmiş olan Gamry Reference 3000 potansiyostat/galvanostat/ZRA cihazı kullanılmıştır.



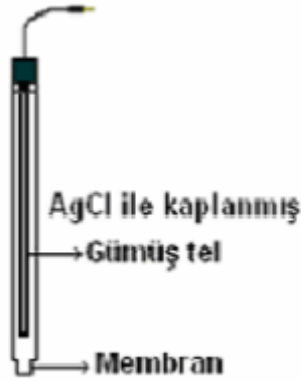
Şekil 4.2. Deney düzeneği

Ölçümler ortam sıcaklığında alınmıştır. Deneylerde şematik gösterimi Şekil 4.3’te verilen üç elektrotlu hücre modeli oluşturulmuştur. Referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrot kullanılmıştır. Şekil 4.4’te gösterilmiş olan referans elektrot, 0,1M potasyum klorür çözeltisi içeren bir elektrottur. Bu elektrotun 25°C’deki potansiyeli hidrojene göre +0,288 V’dur. Karşıt elektrot olarak ise 6 mm çapa sahip grafit çubuk kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Elektrokimyasal potansiyostat sistemi (Batır, 2009).

Sistem çalışma elektrotunun $0,38 \text{ cm}^2$ 'lik alanı elektrolit ile temas edecek şekilde tasarlanmıştır. Çalışma hücresi olarak, 250 ml hacimli çözelti ile doldurulabilen hücre kullanılmıştır. Hücre içerisine, referans elektrot, karşıt elektrot ve çalışma elektrotu yerleştirilmiştir.

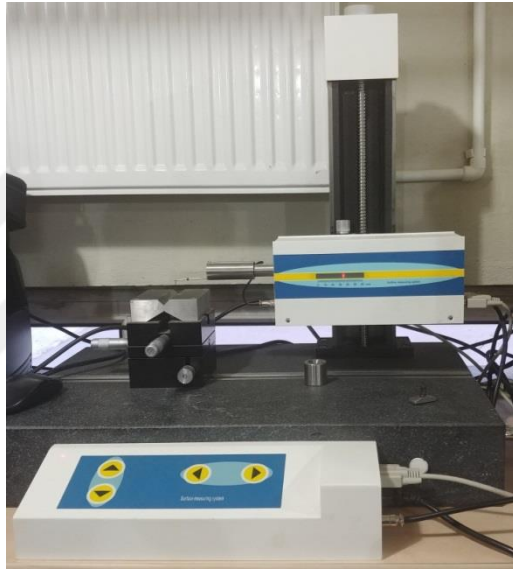


Şekil 4.4. Standart gümüş, gümüş klorür elektrotu

0,1M, 0,5M ve 1M olmak üzere üç farklı molaritedeki NaCl çözeltisi elektrolit olarak kullanılmıştır. Her bir molarite için olmak üzere 3600 saniye boyunca Açık Devre Potansiyeli ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sistemin dengeye ulaşmış olduğu teyit edildikten sonra çevrimsel polarizasyon deneyleri Açık Devre Potansiyelinin katodik yönde (negatif) 200 mV uzağından başlanmak sureti ile 1 mV/sn hızda anodik yönde (pozitif) 1V potansiyele veya $25 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ akım yoğunluğuna ulaşıncaya kadar ileri yönde yapılmış, bu sınır noktalardan birine ulaşıldığında geri tarama otomatik olarak aynı hızda başlamış ve Açık Devre Potansiyeline gelinceye kadar devam etmiştir.

Numunelere çevrimsel polarizasyon uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonra başlangıç frekansı 100 kHz ve bitiş frekansı 0,01 Hz olmak üzere elektrokimyasal empedans spektroskopisi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar numunelerin yüzey durumunun bir elektriksel devre ile ifade edilerek korozyondan önceki ve sonraki korozyon dirençleri ve mekanizmalarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Çevrimsel polarizasyon öncesinde ve sonrasındaki yüzey pürüzlülüğü değişimleri Şekil 4.5'te gösterilmiş olan Qualitest TR1900 yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 4.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm sistemi

Tam tavllanmış ve yapay yaşlandırılmış alüminyum alaşımı numunelerin faz analizleri Şekil 4.6'da gösterilen PANalytical X-ışınları kırınım cihazı kullanılarak 20° ile 100° açı aralığında tarama ile yapılmıştır. XRD ölçümlerinde $\lambda = 1,54059 \text{ \AA}$ dalga boyuna sahip Cu-K α ışınımı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Crystallography Open Database (COD) standart verileri ile karşılaştırılarak oluşan fazların kimyasal kompozisyonları tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. X-Işınları difraktometresi

Mikro sertlik ölçümleri Shimadzu HMV-G20D test cihazında 100g sabit yük altında 10s süre ile yapılmıştır.

Numunelerin içyapısı, korozyon öncesi ve sonrası yüzey görünümleri Nikon Eclipse MA200 optik metal mikroskobu ve Şekil 4.7’de gösterilen FEI Quanta FEG-450 SEM-EDS taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir.

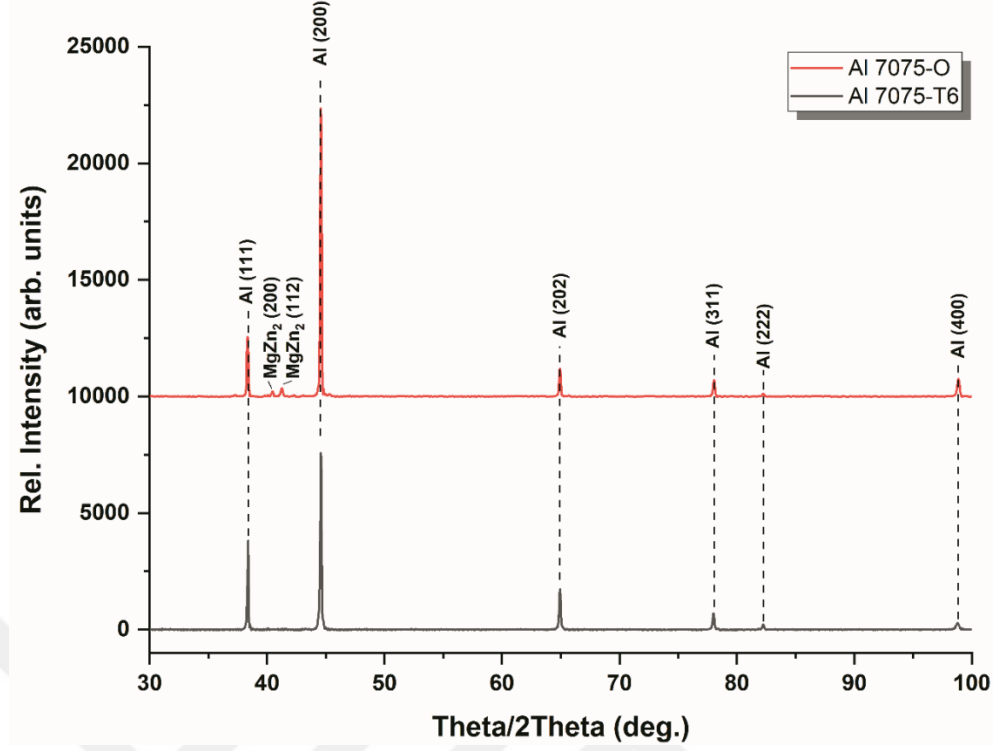


Şekil 4.7. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

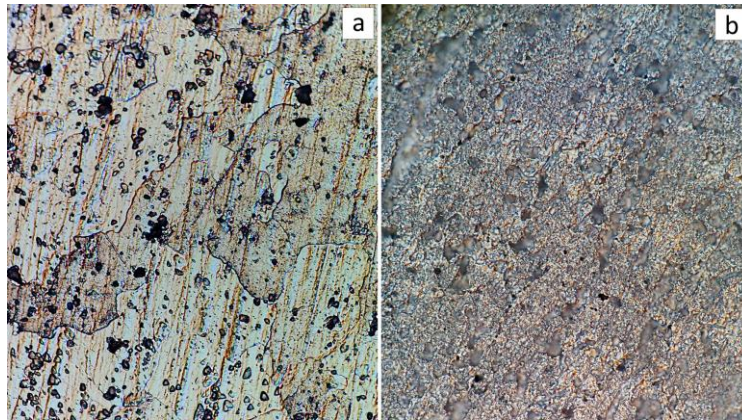
5.1. Yapısal Analiz

Yapay olarak yaşlandırılmış (T6) ve tam tavllanmış (O) Al 7075 alaşımına ait XRD desen grafiği Şekil 5.1’de verilmiştir. Al 7075 alaşımı Yüzey Merkezli Kübik (YMK) yapıya sahip olup (COD # 96-431-3218) Magnezyum ve Çinko yönünden de zengin bir alaşım olduğundan, bünyesinde Mg-Zn çökeltileri barındırır. Bu metalik ara fazlar farklı yapılarda olabilir ancak en sık karşılaşılan faz Heksagonal Sıkı Paket (HSP) yapısındaki $MgZn_2$ (COD #96-591-0079) fazıdır (Flores vd., 2010). Söz konusu faz tane sınırlarında çökelmekte olup her iki ısıtma işlemi durumunda da mevcuttur. Ancak tam tavllanmış durumda bu faza ait XRD yansıması gözlenirken, T6 ısıtma işleminde bu yansıma görülmemektedir. Yavaş soğuma koşullarında $MgZn_2$ fazı Al matrisin tane sınırlarında kaba taneler olarak mikro segregasyon ile çökelirken, çözeltiye alma sonrası yapılan su verme ve yapay yaşlandırma işleminde çok ince taneler halinde çökelmektedir. Bu ince ve matris yapısına neredeyse homojen olarak yayılmış taneler XRD yansıması vermeyebilmektedir (Kumar vd., 2010). Dikkat çeken bir diğer husus da tam tavlama ısıtma işleminin (200) düzleminde tercihli yönelmeye neden olmasıdır. Mekanik olarak hazırlanmış yüzeylerde herhangi bir oksit fazına da rastlanmamıştır.



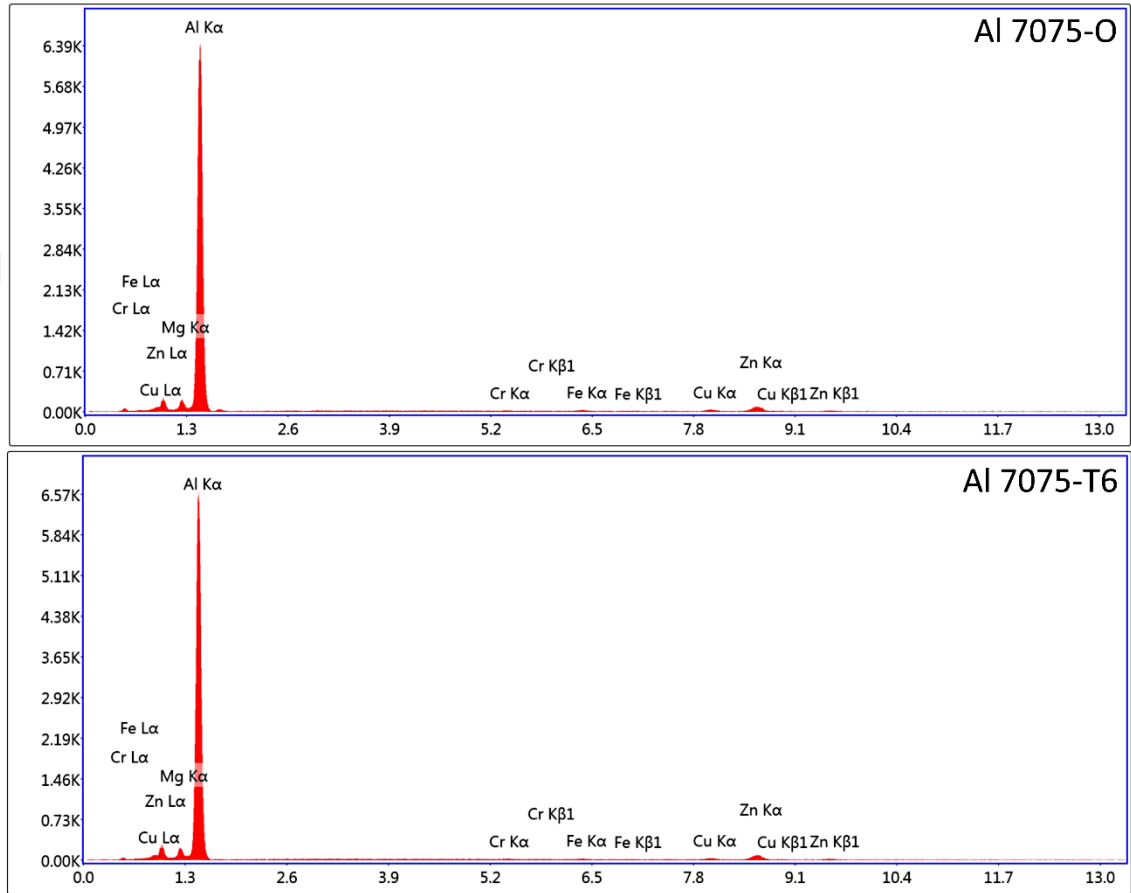
Şekil 5.1. Yapay yaşlandırılmış (T6) ve tam tavllanmış (O) Al 7075 alaşımına ait XRD grafiği

Yapay olarak yaşlandırılmış (T6) ve tam tavllanmış (O) Al 7075 alaşımına ait yüzeylerin kimyasal dağlama sonrası optik mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 5.2.a ve Şekil 5.3.b'de verilmiştir. Tam tavllanmış şartlarda tane sınırlarında mikro segregasyona uğramış kaba yapılı MgZn₂ fazı görülebilmektedir. Yapay yaşlandırma işlemi neticesinde ise bu fazın çok daha ince bir şekilde yapı içerisine dağılmış olduğu görülebilmektedir



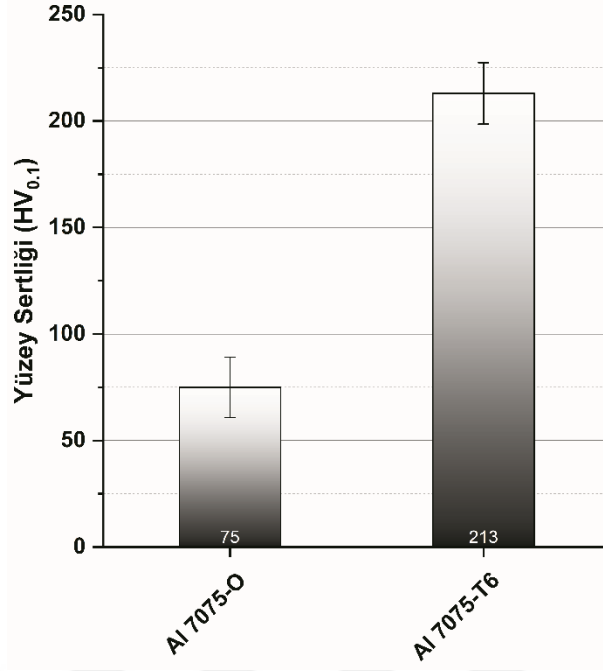
Şekil 5.2. Kimyasal dağlama sonrası yüzeylere ait optik mikroskop görüntüleri (a) Yapay olarak yaşlandırılmış (T6), (b) tam tavllanmış (O)

Yapay olarak yaşlandırılmış (T6) ve tam tavllanmış (O) Al 7075 alaşımına ait EDS ölçüm sonuçları Şekil 5.3'te verilmiştir. Buna göre, yapılan ısıl işlemlerin malzeme içindeki alaşım bileşenlerinin miktarları üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı görülebilmektedir. Diğer bir ifade ile gözlemlenecek olan bütün muhtemel farklılıklar tamamı ile faz yapısı ve fazların tane boyutu gibi fiziksel özellikleri ile ilgili olacaktır.



Şekil 5.3. Yapay yaşlandırılmış (T6) ve tam tavllanmış (O) Al 7075 alaşımına ait EDS grafikleri

Şekil 5.4'te T6 ve O ısıl işlem koşullarındaki Al 7075 alaşımına ait mikro sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Görüldüğü üzere yapay yaşlandırma ısıl işlemi alaşımın mikro sertliğini neredeyse üç kat kadar arttırmıştır. Bunun sebebi, yapay yaşlandırma neticesinde çökelen başta $MgZn_2$ olmak üzere metaller arası fazların plastik deformasyonun temel mekanizması olan dislokasyon hareketleri için engel oluşturması yani çökelti sertleşmesi durumudur.



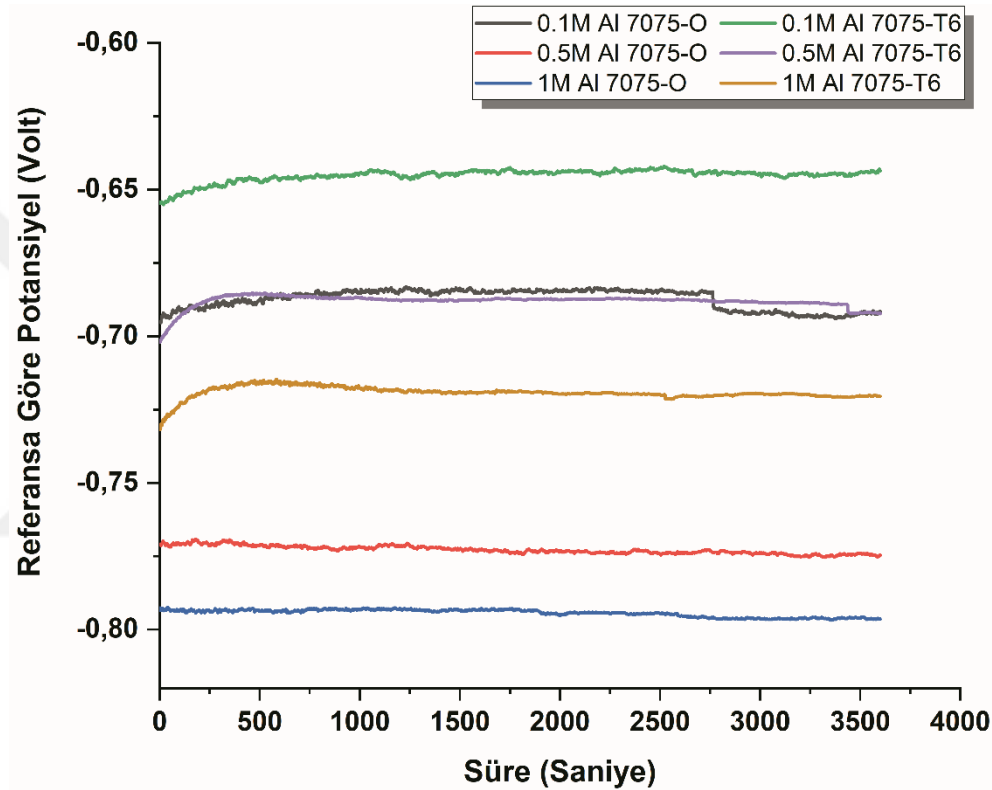
Şekil 5.4. Yapay yaşlandırılmış (T6) ve tam tavllanmış (O) Al 7075 alaşımına ait mikro sertlik değerleri

5.2. Elektrokimyasal Analizler

Yapay yaşlandırılmış (T6) ve tam tavllanmış (O) Al 7075 alaşımına ait elektrokimyasal özellikler üç farklı konsantrasyondaki elektrolit çözeltisi kullanılarak incelenmiştir. Yapılan tüm elektrokimyasal testlerde pozitif değerler anodik, negatif değerler ise katodik potansiyeli göstermektedir.

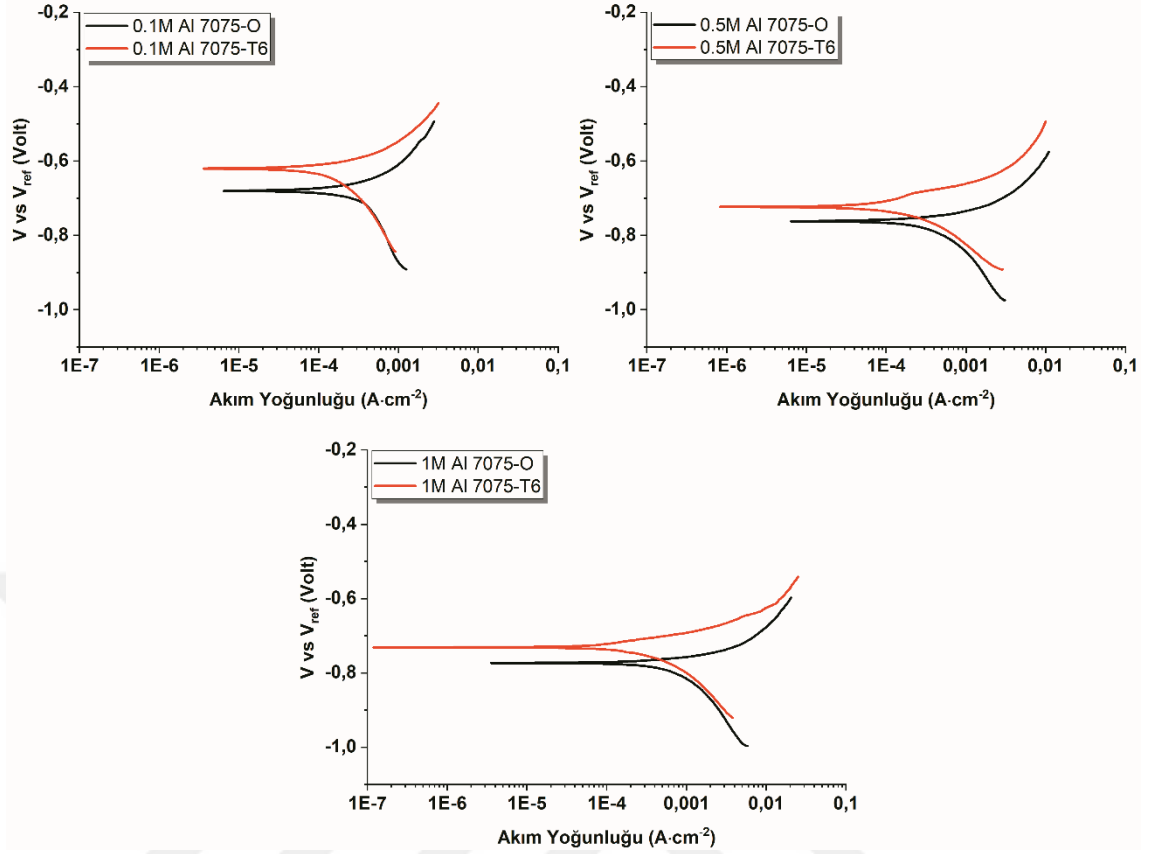
Test numunelerinden açık devre şartlarında yani sistem üzerinden herhangi bir cebri akım geçirilmeden elde edilen potansiyel değerleri (Açık Devre Potansiyeli, ADP) Şekil 5.5'te görülebilmektedir. Numuneler 3600 saniye açık devre şartlarında tutularak zamana karşı potansiyel değişimleri ölçülmüştür. Süre sonunda tüm numunelerin denge şartlarına ulaştığı görülmüştür. Molarite bazında değerlendirme yapılacak olursa, 0,1M çözeltide tam tavlama ısıl işlemi (O) uygulanmış numunenin daha soy davranış gösterdiği görülmektedir. 0,5M çözeltide de durum aynıdır. Yani Al 7075-O numunesi daha negatif potansiyele sahip olduğundan daha soy bir davranış sergilemektedir. 1M çözeltide de tam tavlama şartındaki numunenin hem aynı molaritedeki T6 ısıl işlemlenmiş numuneden hem de diğer bütün numunelerden daha soy bir karakterde olduğu görülmektedir. T6 ısıl işlemi görmüş numunelerin hepsinde okumanın yaklaşık ilk 500 saniyesinde potansiyelin arttığı ve bu noktadan itibaren yaklaşık sabit kaldığı

görülmektedir. Bu durum numune yüzeylerinde havadaki nem nedeniyle oluşan çok ince oksit tabakasının pasif tabaka olduğu, numuneler iyonik ortama yani elektrolit içine girdiğinde ise bu tabakanın daha aktif bir hale geldiği söylenebilir. Aynı ısıl işlem şartlarındaki farklı çözelti konsantrasyonları dikkate alındığında ise, molaritenin artmasıyla birlikte numunelerin daha pasif yüzey özellikleri gösterdiği görülmektedir.



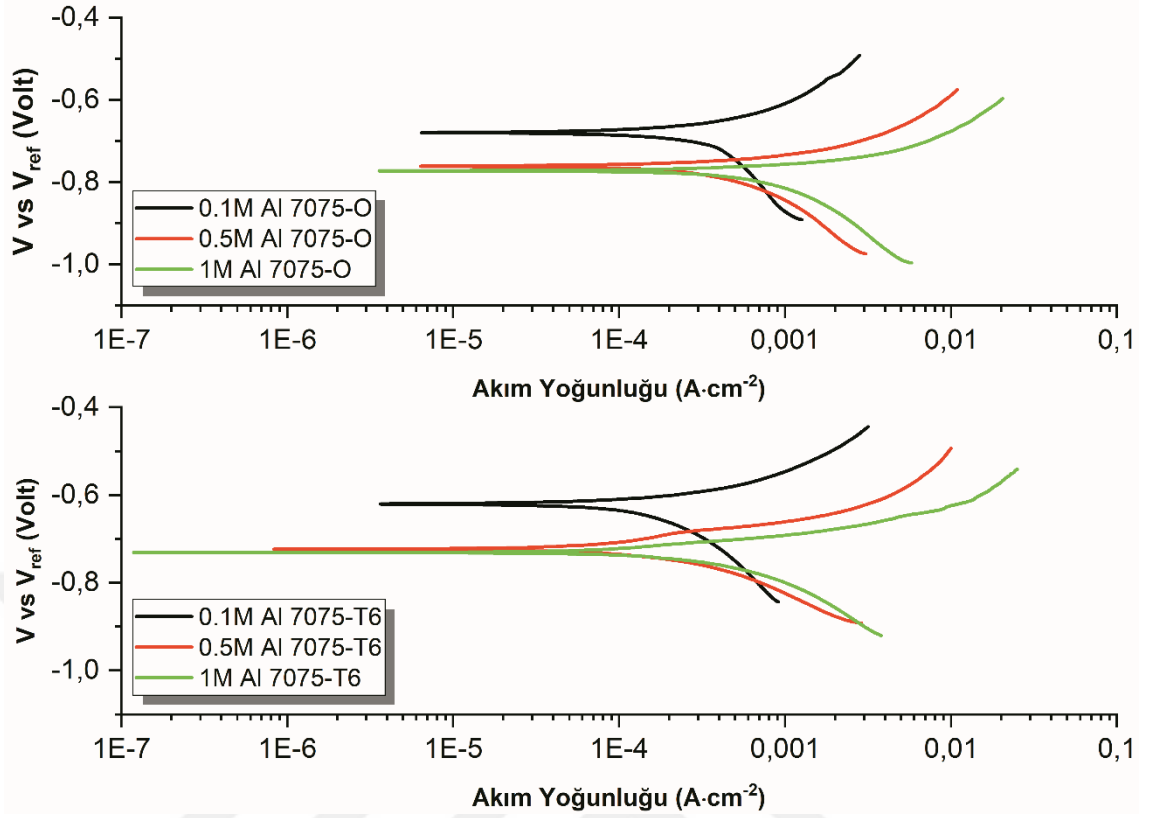
Şekil 5.5. Açık Devre Potansiyeli ölçümleri

Şekil 5.6’da numunelerin açık devre potansiyellerinin 200 mV altı (katodik bölge) ve 200 mV üstü (anodik bölge) arasında gerçekleştirilmiş olan potansiyodinamik tarama eğrileri verilmiştir. Verilen eğriler, ısıl işlem etkisini gösterecek şekilde gruplanmıştır. Buna göre, 0,1M çözeltide ısıl işlemler arasında yakın bir davranış söz konusu olup, T6 ısıl işlemi görmüş numunenin korozyon potansiyeli değeri (E_{kor}) daha yüksek olmasına rağmen daha düşük korozyon akım yoğunluğuna (I_{kor}) sahip olduğu görülmektedir. 0,5M ve 1M çözeltilerde de aynı durum söz konusudur. Ancak korozyon potansiyeli değerleri arasındaki fark daha küçük olup, korozyon akım yoğunluğundaki azalma molarite yükseldikçe daha belirgin hale gelmiştir.



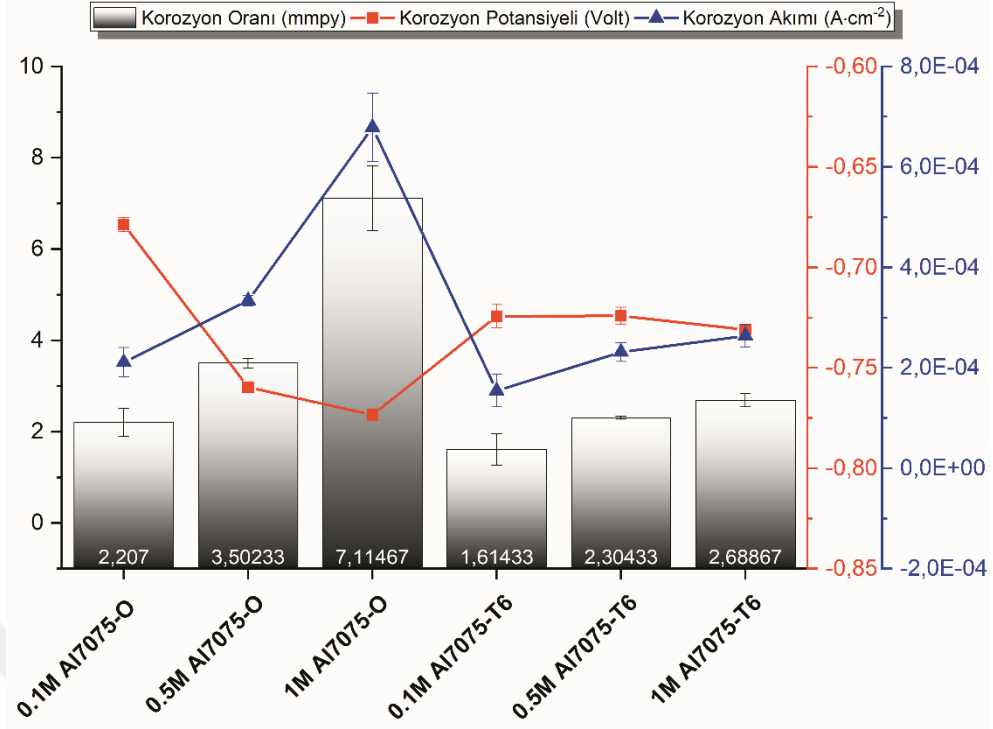
Şekil 5.6. Isıl işlem etkisini gösteren dar aralıklı potansiyodinamik tarama eğriler

Şekil 5.6’da verilmiş olan eğrilerin çözelti konsantrasyonunun etkisini gösterecek şekilde gruplanmış olduğu durum Şekil 5.7’de verilmiştir. Buna her iki ısıl işlem şartı için de benzer davranışlar göze çarpmaktadır. 0,1M çözeltilerde korozyon potansiyeli değeri daha yüksek olup, 0,5M ve 1M çözeltilerde neredeyse birbiri ile aynıdır. Korozyon akım yoğunluğu değerleri ise artan çözelti konsantrasyonu ile azalmaktadır. Ayrıca çözelti konsantrasyonu arttıkça eğrilerin anodik ve katodik kollara ait eğimlerin de giderek azaldığı görülmektedir. Nitekim görsel olarak numunelerin I_{kor} değerleri yakın olarak algılanıyor olsa da korozyon akım yoğunluğu “anodik ve katodik kollardan çizilen teğetlerin kesişim noktasına tekabül eden akım yoğunluğu değeri” olarak tanımlandığından, aslında farklıdır.



Şekil 5.7. Konsantrasyonun etkisini gösteren dar aralıklı potansiyodinamik tarama eğriler

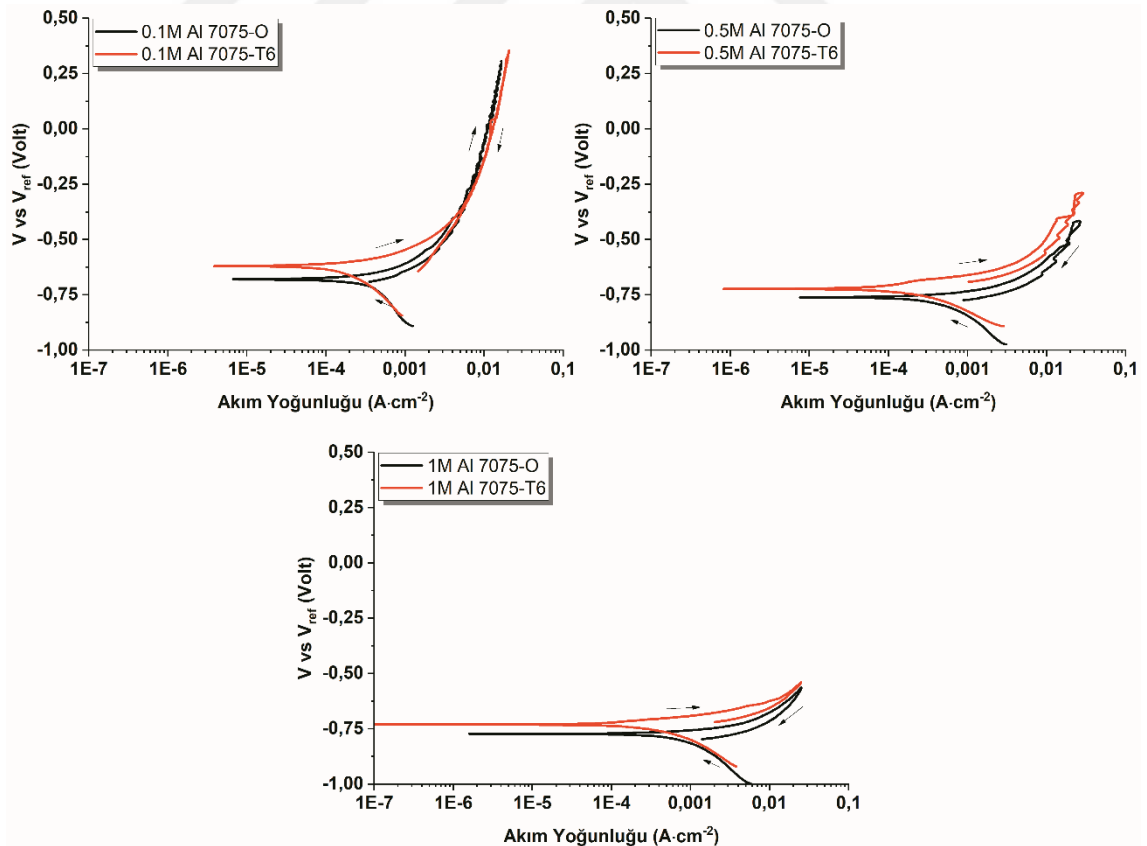
Yukarıda bahsedilen durumun açıklanabilmesi adına dar aralıklı potansiyodinamik tarama eğrilerine uygulanan TAFEL ekstrapolasyonu neticesinde elde edilen korozyon oranı değerleri, korozyon akım yoğunluğu ve korozyon potansiyeli ile karşılaştırmalı olarak Şekil 5.8’de verilmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi O ısıl işleminde çözelti konsantrasyonunun artması ile artan korozyon oranı açıkça görülebilmektedir. T6 ısıl işleminde ise yine artan çözelti konsantrasyonu ile birlikte korozyon oranının da arttığı ancak artış miktarının tam tavlama ısıl işlemine göre sınırlı kaldığı görülmektedir. Aynı çözelti konsantrasyonu için ısıl işlemlerin etkilerine bakılacak olursa, T6 ısıl işleminin genel olarak daha iyi bir korozyon dayanımı sergilediği, düşük konsantrasyonlarda yakın olan korozyon oranlarının ise konsantrasyon arttıkça birbirinden uzaklaştığı anlaşılmaktadır.



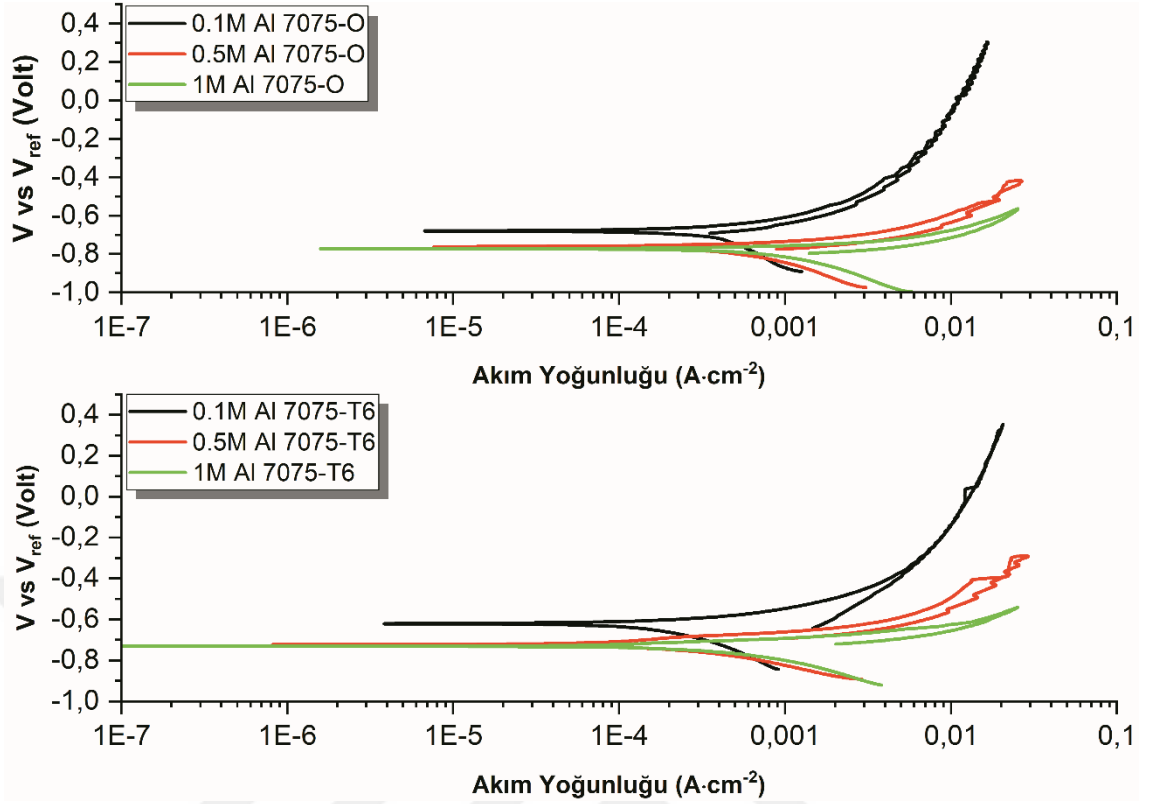
Şekil 5.8. Korozyon oranları, korozyon akım yoğunlukları ve korozyon potansiyelleri

Tam tavllanmış ve yapay yaşlandırılmış alaşıma ait geniş aralıklı çevrimsel polarizasyon eğrileri Şekil 5.9’da görülmektedir. Geniş aralıklı bir tarama yapılmasının sebebi, dar aralıklı taramalarda görülemeyen pasifleşme, yeniden pasifleşme, çukurcuk oluşumu gibi davranışların ve kantitatif değerlerin tespit edilmesidir. Çevrimsel tarama ise geri tarama eğrisinin formuna, ileri tarama eğrisini kesip kesmediğine veya ileri tarama eğrisine göre hangi yönde dönüş yaptığına göre değerli bilgiler veren bir tekniktir. İleri taramanın tamamlanıp geri taramanın başlaması, Açık Devre Potansiyeline göre katodik yönde 1 V veya 25 mA·cm⁻² değerlerinden hangisine önce ulaşıldığına bağlıdır. Söz konusu değerler hem numunelerin çok fazla bozulmaması hem de deneyde kullanılan ekipmanın sınırları göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Her üç çözelti konsantrasyonunda da farklı ısıl işlem görmüş numunelere ait davranışlar oldukça benzerdir. Korozyon potansiyeli ve korozyon akım yoğunluğu değerleri de dar aralıklı testlerde elde edilenler ile uyumludur. Tüm deney şartlarında geri dönüş noktası 25 mA·cm⁻² kritik akım yoğunluğuna ulaşıldığında başlamıştır. Ancak anodik akım kolunun boyları konsantrasyon arttıkça küçülmüş, diğer bir deyişle kritik akım yoğunluğu değerine daha çabuk ulaşılmıştır. Hiçbir konsantrasyonda pasifleşme davranışı gözlenmemiş olmakla birlikte, artan konsantrasyon ile aktif anodik çözünme

hızının arttığı görülmektedir. Tüm deney şartlarında geri tarama eğrileri ileri tarama eğrileri ile kesişmeden neredeyse aynı yolu izlemiş ve sağ taraflarından hareket etmiştir. Bu durum pozitif histerezis olarak tanımlanır ve yüzeydeki pasif tabakanın bozunduğu ve kendini onaramadığı için bu bozunmanın sürekli olduğunu ifade eder. Dönüş eğrilerinin korozyon potansiyeli değerinde sonlanmış olması yani ikinci bir anot-katot geçişi görülmemesi, numunelerin açık devre potansiyellerinde deney esnasında herhangi bir değişiklik olmadığını göstermektedir. Dikkat çeken bir husus ise 0,5M çözeltilerde her iki ısıtma işlem şartında da görülen dalgalanmadır. Bu dalgalanma, yüzeyde bir pasif tabakanın oluşmaya yaklaştığı ancak kararlı hale gelemeden yeniden kırıldığı ve bu durumun birkaç defa tekrarlandığı şeklinde yorumlanabilir. Benzer bir davranış 0,1M çözeltilerde tam tavlama işlemi yapılmış numunelerde de gözlemlenmiştir. Aynı eğriler çözelti konsantrasyonu etkisinin daha iyi anlaşılacağı şekilde gruplanarak Şekil 5.10'da verilmiş olup artan konsantrasyon ile aktif çözünme hızının da arttığı daha belirgin olarak görülebilmektedir.

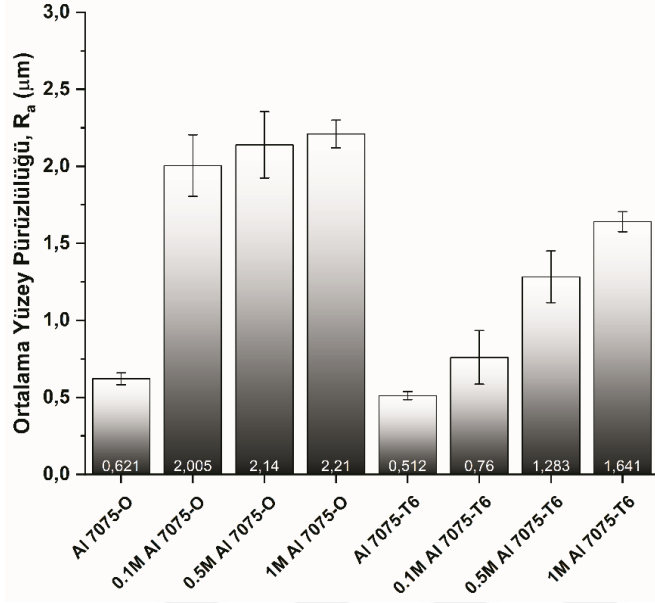


Şekil 5.9. Isıl işlem etkisini gösteren çevrimsel polarizasyon eğrileri



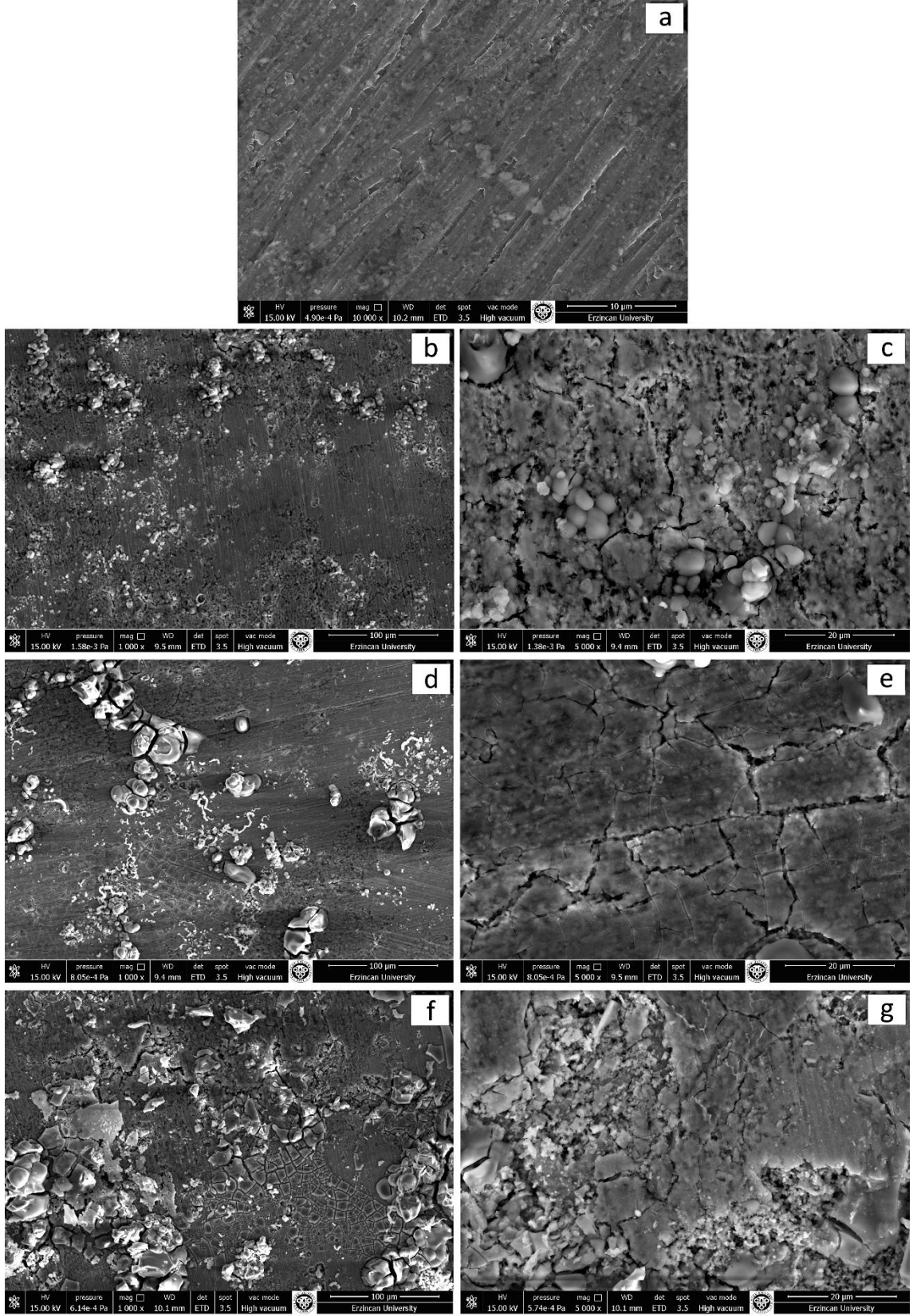
Şekil 5.10. Konsantrasyon etkisini gösteren çevrimsel polarizasyon eğrileri

Çevrimsel polarizasyon neticesinde numune aktif olarak korozyona uğramıştır. Bu durumun yüzey üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için polarizasyon öncesi ve sonrasında yüzey pürüzlülüğü incelenmiş ve SEM görüntüleri elde edilmiştir. Korozyonun ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 5.11’de görülebilmektedir. Aynı ısıl işlem şartlarında konsantrasyon arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmektedir. Tam tavlanmış numunelerde bu artışın konsantrasyona bağlılığı daha düşük seviyededir. Öte taraftan her üç konsantrasyonda da pürüzlülükteki artışın tam tavlanmış numunelerde oldukça yüksek seviyede olduğu görülebilmektedir.



Şekil 5.11. Polarizasyon öncesi ve sonrasındaki yüzey pürüzlülüğü değerleri

Tam tavllanmış Al 7075 numunelerine ait polarizasyon öncesi ve sonrasındaki yüzey SEM görüntüleri Şekil 5.12’de verilmiştir. Polarizasyon öncesinde mekanik hazırlık sürecinin bir sonucu olarak dar ve sık bazı çizikler görülebilmekle birlikte yüzey pürüzlülüğü düşüktür (Şekil 5.12.a). 0,1M çözeltide test edilmiş numune yüzeylerinde aktif çözünme dolayısıyla malzeme kaybı nedeniyle yüzey daha pürüzlü bir hale gelmiştir (Şekil 5.12.b). Yüzey daha yakından incelendiğinde ise (Şekil 5.12.c) taneler arasındaki sınır bölgeler boyunca ayrılmalar olduğu görülebilmektedir. Bu durum malzemenin taneler arası (intergranüler) tarzda korozyona uğradığı anlamına gelmektedir. Nitekim tane sınırlarında MgZn_2 fazı çökmesi olduğu bilindiğinden, bu fazın matris olan Al fazından daha yüksek korozyon hassasiyetine sahip olduğu söylenebilir. Yüzeyde ayrıca solüsyondan kalan tuz tanecikleri ve polarizasyon neticesinde meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlar neticesinde yüzeyde oluşan gaz baloncuklarının bir sonucu olarak pullanma bölgeleri görülmektedir. 0,5M çözeltide yüzey hasarı daha belirgindir (Şekil 5.12.d). Yine tuz tanecikleri ve pullanma bölgeleri daha belirgin olarak görülebilmektedir. Ancak taneler arası korozyon daha ön plana çıkmış bir durumdadır (Şekil 5.12.e). 1M çözeltide ise pullanma bölgeleri artık parçacıklar halinde yüzeyden malzeme kalkması noktasına kadar ilerlemiştir (Şekil 5.12.f). Korozyon neticesinde iyice zayıflayan tane sınırları bu pullanmanın da etkisi ile tamamen ayrılarak yüzeyde derin hacimsel kayıplar oluşmasına sebep olmuştur (Şekil 5.12.g).



Şekil 5.12. Al 7075-O polarizasyon öncesi ve sonrasındaki yüzey SEM görüntüleri: **(a)** Polarizasyon öncesi (10000X), **(b)** 0,1 M (1000X), **(c)** 0,1 M (5000X), **(d)** 0,5 M (1000X), **(e)** 0,5 M (5000X), **(f)** 1 M (1000X), **(g)** 1 M (5000X)

Şekil 13’de yapay yaşlandırılmış Al 7075 numunelerine ait polarizasyon öncesi ve sonrasındaki yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Polarizasyon öncesinde yine mekanik hazırlık sürecinde yüzeyde oluşan izler belirgindir (Şekil 5.13.a). 0,1M çözeltide test edilmiş numune yüzeylerinde Al 7075-O numunelerine benzer şekilde aktif çözünme dolayısıyla malzeme kaybı (Şekil 5.13.b) ve yüzeye daha yakından bakıldığında (Şekil 5.13.c) taneler arasındaki sınır bölgeler boyunca ayrılmalar olduğu görülebilmektedir. Ancak bu numunede görülen hasar tavlınmış duruma göre oldukça azdır. Tane sınırları belirgin olarak seçilememektedir ve yüzeyde solüsyondan kalan tuz tanecikleri veya pullanma bölgeleri yok denilecek kadar azdır. 0,5M çözeltide yüzey hasarı daha belirgin bir hale gelmiş olmakla birlikte (Şekil 5.13.d), taneler arası korozyon etkilerinin ve pullanmadan dolayı yüzeyde meydana gelen kabuklanmanın tavlınmış duruma göre sınırlı kaldığı söylenebilir (Şekil 5.13.e). 1M çözeltide ise pullanma bölgeleri ve tane sınırları boyunca meydana gelen malzeme kaybı daha belirgin olarak fark edilmektedir (Şekil 5.13.f). Buna rağmen yüzeyden parçacıklar halinde malzeme kalkması yani bir kabuklanma hali oldukça azdır (Şekil 5.13.g).

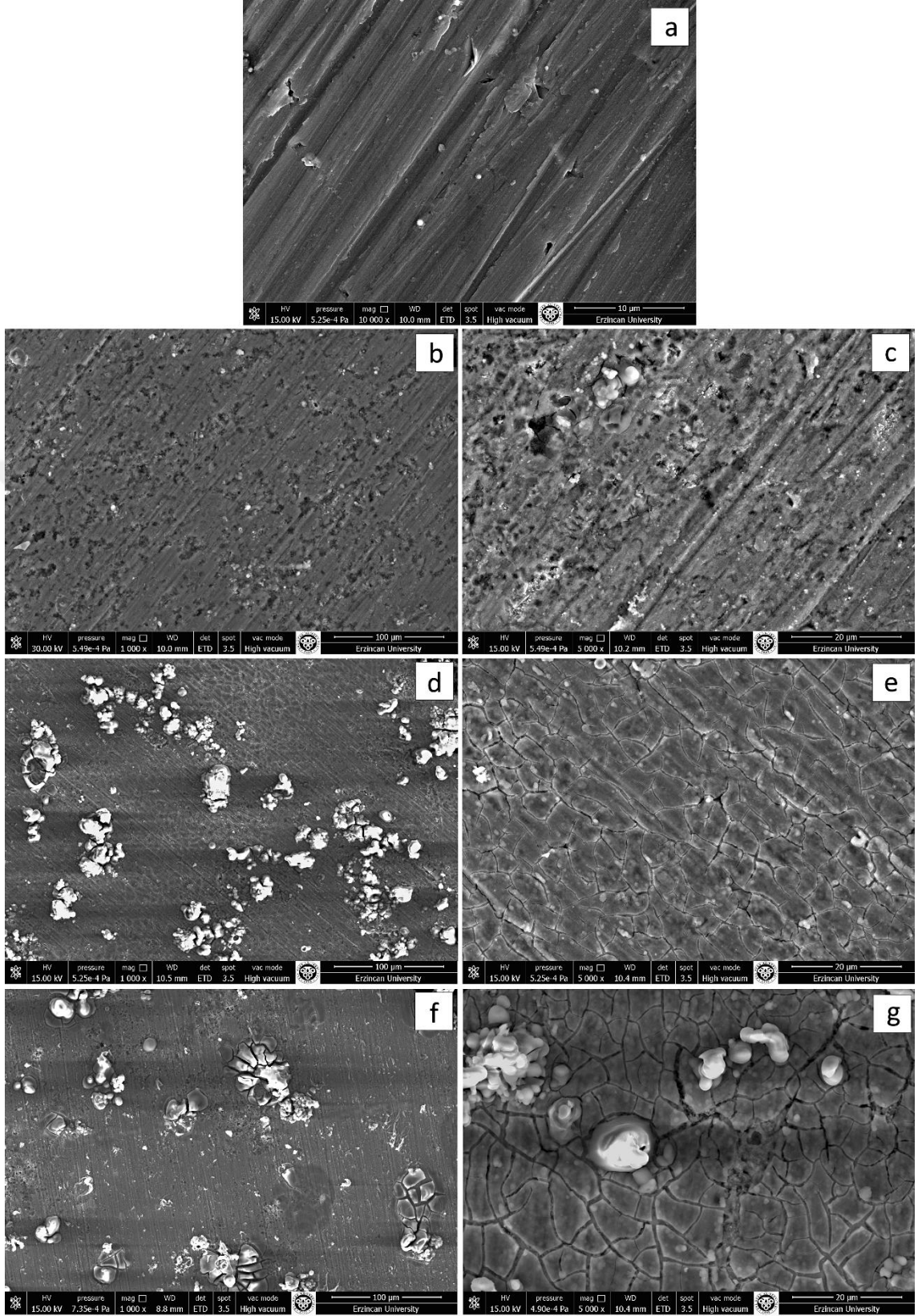
Genel olarak T6 numunelerinde korozyon hasarının daha düşük olduğu söylenebilir. Buna neden olarak ise $MgZn_2$ fazının daha ince taneli ve daha homojen dağılmış olması gösterilebilir. Elde edilen bulgularla paralel şekilde (Li vd., 2008), T6 ve RRA ısıtma işlemlerinin etkisini karşılaştırdıkları çalışmada T6’ya göre daha ince ve yoğun çökelti oluşmasını sağlayan RRA ısıtma işleminin korozyon direncini iyileştirdiği rapor etmişlerdir (Li vd., 2008).

Kullanılan alüminyum alaşımının tavlınmış ve yaşlandırılmış şartlarına ait yüzeylerin elektrokimyasal durumları çevrimsel polarizasyon analizleri öncesi ve sonrasında Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 5.14’te Al 7075-O ve Şekil 15’te Al 7075-T6 şartlarına ait polarizasyon öncesi Nyquist eğrileri verilmiştir.

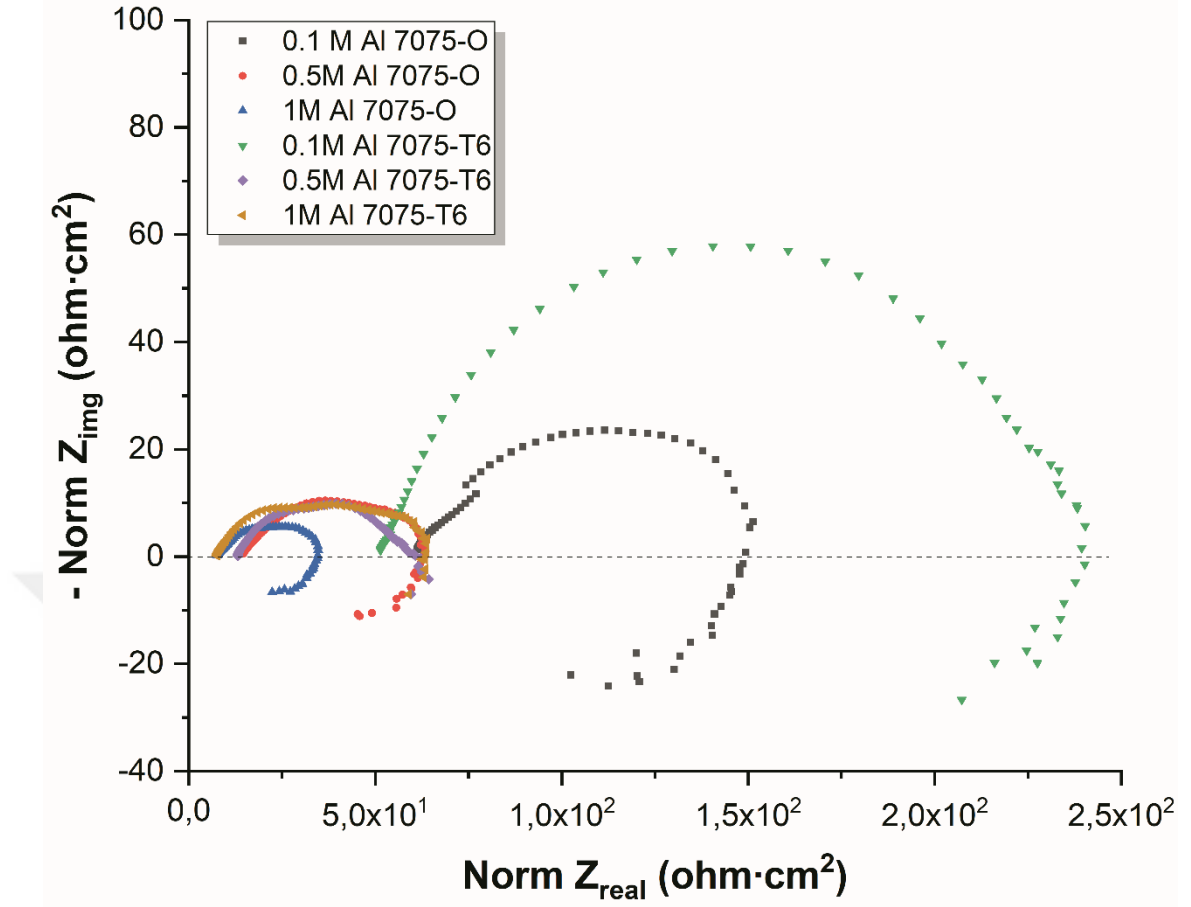
Buna göre tüm şartlarda tek zaman sabiti olan, pozitif değerlerde tek yarım daire ve negatif değerlerde tek yarım daire döngüsü şeklinde bir grafik görülmektedir. Bu yarım dairelerden daha yüksek sinyal frekanslarında olan (pozitif değerler) kapasiteyi ve düşük frekanslarda olan (negatif değerler) endüktifi gösterir (Klotz, 2019; Wang vd., 2015). Kapasite döngüsü iki noktada gerçek empedans ekseninin sıfır değerinden geçer.

Bunlardan birincisi, referans elektrot ucu ile çalışma elektrotu yüzeyi arasındaki çözelti direnci, ikincisi ise absorbe edilen parçacıkların sayısı sabitken empedansının yüksek frekans sınırı olan yük aktarma direncidir. Endüktif döngü ideal koşullarda yine empedans ekseninin sıfır değerini iki noktada keser. Bunlardan solüsyon direnci ile yük aktarma direnci arasında yer alan ve “polarizasyon direnci” olarak adlandırılan değer, doğru anodik akımla ters orantılıdır. Çözelti konsantrasyonu arttıkça çözelti direncinin de azaldığı gözlemlenmektedir. Yine düşük konsantrasyonlardaki yük aktarma direnci ve polarizasyon direnci değerlerinin daha büyük olduğu ve artan konsantrasyon ile küçüldüğü görülmektedir. Bu direnç değerleri aynı konsantrasyonlarda T6 numunelerinde daha büyüktür.



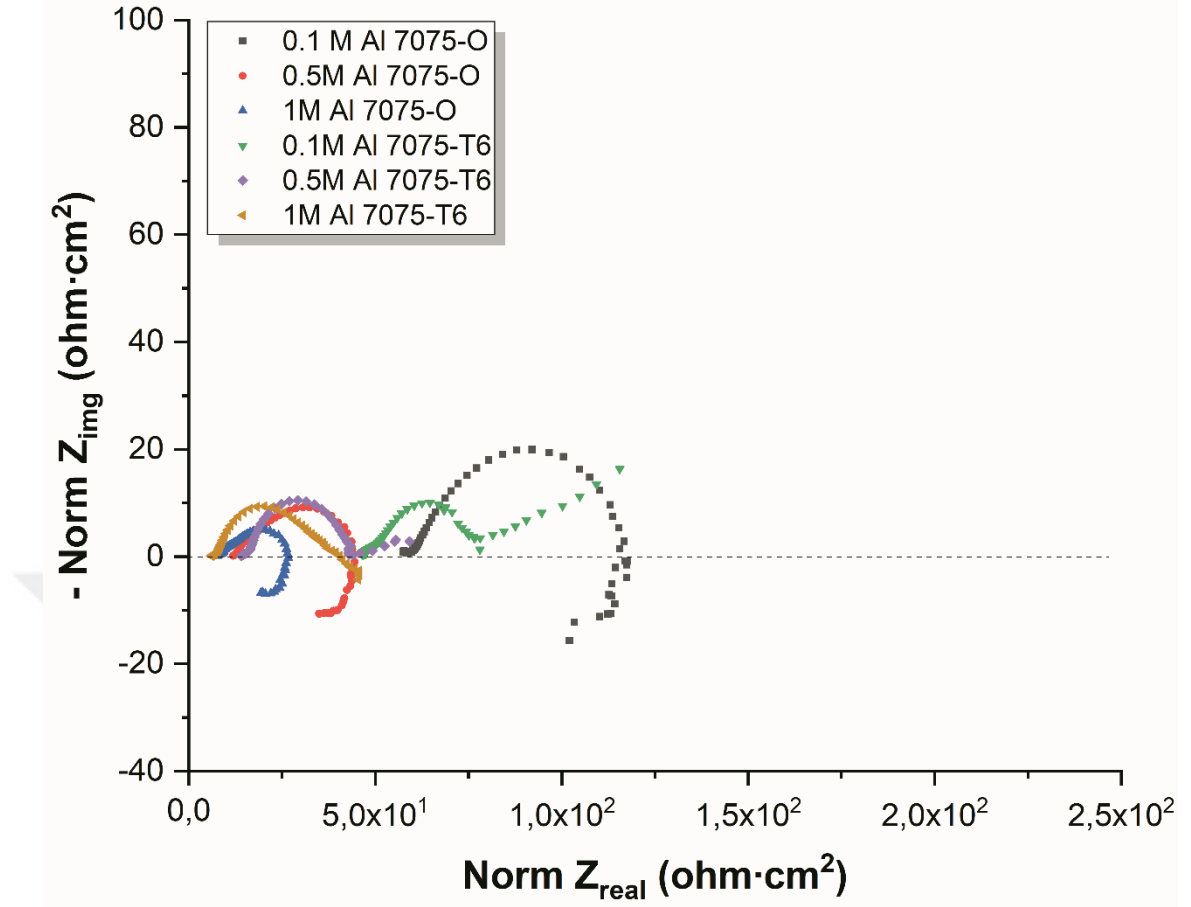


Şekil 5.13. Al 7075-T6 polarizasyon öncesi ve sonrasındaki yüzey SEM görüntüleri: **(a)** Polarizasyon öncesi (10000X), **(b)** 0,1 M (1000X), **(c)** 0,1 M (5000X), **(d)** 0,5 M (1000X), **(e)** 0,5 M (5000X), **(f)** 1 M (1000X), **(g)** 1 M (5000X)



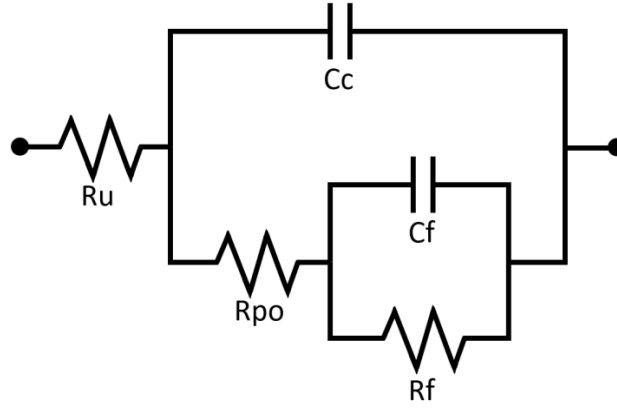
Şekil 5.14. Polarizasyon testleri öncesinde elde edilen Nyquist eğrileri

Çevrimsel polarizasyon testleri sonrasında elde edilen Nyquist eğrileri Şekil 5.15'te verilmiş olup, solüsyon dirençlerinde çok büyük değişiklikler gözlenmemiştir. Gerek tavllanmış gerekse yaşlandırılmış şartlarda 1M çözeltideki direnç değerlerinde ciddi miktarda düşüş gözlenmiştir. Bu düşüş diğer konsantrasyonlarda da vardır ancak miktar olarak daha küçüktür. Dikkat çeken bir diğer husus ise tavllanmış numunelerin her üç konsantrasyonda da endüktif döngüleri varlığını korurken yaşlandırılmış numunelerde 0,1M ve 0,5M konsantrasyonlarda endüktif döngü yerini yatayla yaklaşık 45° aşan doğrusal bir forma bırakmıştır. Bu durum söz konusu şartlarda polarizasyonun kinetik ve difüzyon işlemlerinin bir kombinasyonundan kaynaklandığı anlamına gelmektedir.



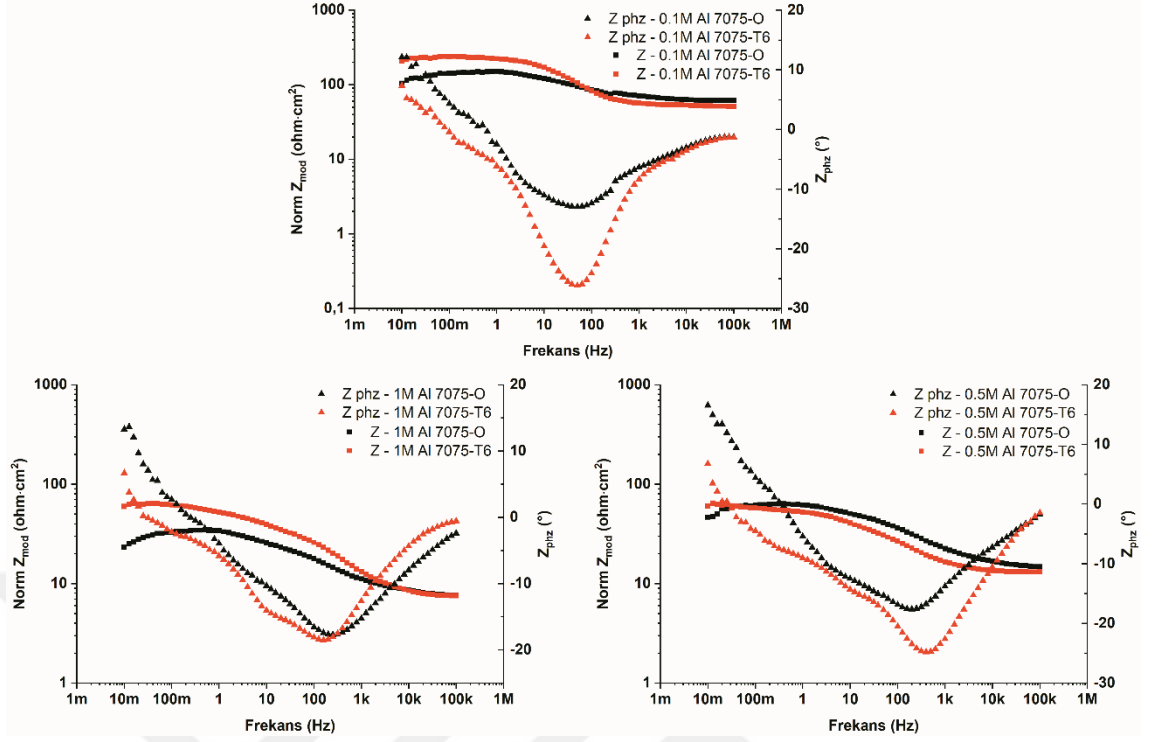
Şekil 5.15. Polarizasyon testleri sonrasında elde edilen Nyquist eğrileri

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi analizleri neticesinde elde edilen değerler numune yüzeylerinin fiziksel olarak birer eşdeğer elektrik devresi ile temsil edilmesinde kullanılmıştır. Bu amaçla kurulan devre Şekil 5.16'da verilmiştir. Verilen devreye ait elemanlar şu şekilde açıklanabilir; R_u kullanılan çözeltinin direnci, R_{po} metalin yüzeyinde bulunan ince doğal oksit tabakasındaki boşluklardan sızan çözülden kaynaklanan direnç (porozite direnci), C_c aynı tabakanın sağlam kısımlarını temsil eden sığa (kapasitör), R_f Faraday (polarizasyon) direnci, C_f ise oksit tabakasının boşluklu (metalın korunmayan) bölgelerinin sığasıdır.



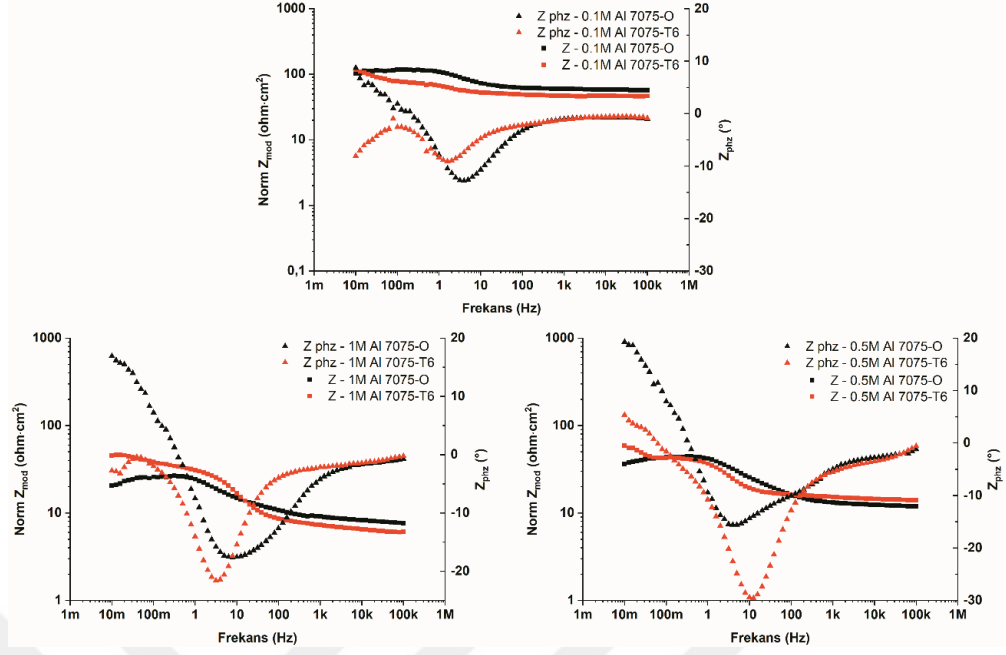
Şekil 5.16. Eşdeğer elektrik devresi

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi analizlerinden elde edilen sonuçların farklı bir gösterimi de Bode grafikleri ile yapılmaktadır. Bode grafikleri, yapılan analizlerde elde edilen sonuçların yüzeye uygulanan elektriksel uyarının frekansına olan bağıllığı ve faz açılarını da gösteren grafiklerdir. Polarizasyon testleri öncesi yüzeylere ait Bode grafikleri Şekil 5.17’de görülebilmektedir. Genel olarak tüm şartlarda faz açılarının çok büyük olmadığı görülmektedir. Orta frekans aralığında tüm numunelerin faz açılarında azalmalar dikkat çekmektedir. Yaklaşık olarak 100 kHz frekanslarında ise faz açısının sıfır olduğu görülmektedir. Faz açılarının sıfıra yakın olduğu diğer değerler ise tavllanmış numunelerde yaklaşık 1 Hz ve yaşlandırılmış numunelerde yaklaşık 100 mHz seviyesindedir. Faz açısı değerlerinin pozitif olduğu noktalar ise Nyquist grafiklerindeki endüktif döngüyü oluşturmaktadır. Empedans değerlerine bakılacak olursa, tüm şartlar için frekans aralığında çok büyük bir dalgalanma olmadığı görülmektedir. 0,1 M çözeltide empedans değerleri $100 \text{ ohm}\cdot\text{cm}^{-2}$ değerinin üzerinde iken daha yüksek konsantrasyonlarda daha düşük seviyelerde ve benzer değerlerdedir.



Şekil 5.17. Polarizasyon testleri öncesinde elde edilen Bode eğrileri

Şekil 5.18’de çevrimsel polarizasyon testleri sonrasında elde edilen Bode grafikleri verilmektedir. Tavlanmış durumdaki numunelerde faz açılarının düşük frekanslarda pozitif değerlere sahip olmaya devam ederken yaşlandırılmış numunelerde pozitif değerler sergilemedikleri dikkat çekmektedir. Bu sonuç Nyquist grafiklerinde de Al 7075-O numunelerinin endüktif döngü göstermeye devam ettiği halde Al 7075-T6 numunelerinin göstermemesi ile uyumludur. Faz açılarında görülen büyük değerler de polarizasyon testleri sonrasında daha küçük frekans doğru bir kayma sergilemiştir. Empedans değerlerinde ise polarizasyon öncesi ve sonrasında anlamlı bir değişim tespit edilmemiştir.



Şekil 5.18. Polarizasyon testleri sonrasında elde edilen Bode eğrileri

Şekil 5.16'da verilmiş olan elektrik devresindeki elemanların eğri uydurma yöntemi ile elde edilen polarizasyon testleri öncesi ve sonrasındaki sayısal değerleri Tablo 5.1'de özetlenmiştir. Çözelti direnci değerlerinin (R_u) konsantrasyon arttıkça azaldığı, polarizasyon öncesi ve sonrasında da fazla değişmediği Nyquist grafikleri irdelenirken belirtilmişti. Elde edilmiş olan sayısal sonuçlar da bu değerlendirmenin geçerliliğini ortaya koymaktadır. Polarizasyon dirençleri (R_f) incelendiğinde ise polarizasyon testleri sonrasında tüm şartlarda azalma görülmektedir ve azalma miktarı düşük konsantrasyonlarda daha fazladır. Diğer bir ifade ile polarizasyon sonrasındaki yüzeyin korozyon hassasiyeti artmıştır. Benzer bir durum porozite direncinde de görülmektedir. Porozite direncindeki bu düşüş, polarizasyon sonrasındaki yüzey tabakasının hasara uğramış olduğu şeklinde yorumlanabilir. C_c sığalarında ise 6 ile 24 kat arasında olmak üzere ciddi artışlar meydana gelmiştir. Bu durum fiziksel olarak tabaka miktarının ciddi oranda azaldığı ve sisteme uygulanan yükün birim alan başına çok daha yüksek oranlarda depolandığı anlamına gelmektedir. C_f sığaları değerlerinde de artış gözlenmiş olup artış miktarı 3 ile 12 kat arasındadır. Bu sığadaki artış, yüklü parçacıkların kapasitörün pozitif plakasına doğru zorlandığı anlamına gelmektedir. C_f sığasının negatif plakasını numune yüzeyi, pozitif plakasını ise solüsyon oluşturmaktadır. Buna göre bu sığadaki artış, numune yüzeyinden solüsyona doğru bir difüzyon sürecinin yaşandığını göstermektedir.

Tablo 5.1. Eşdeğer elektrik devresi elemanlarının sayısal değerleri

	Polarizasyon Öncesi				
	Rpo [Ohms·cm ²]	Cc [F·cm ⁻²]	Rf [Ohms·cm ²]	Cf [F·cm ⁻²]	Ru [Ohms·cm ²]
0.1M Al 7075-O	20,99 (±1,009)	11,39E-06 (±1,044E-06)	51,43 (±1,185)	0,1382E-03 (±8,237E-06)	62,77 (±0,422)
0.5M Al 7075-O	16,94 (±0,373)	13,87E-06 (±481,1E-09)	23,92 (±0,458)	0,2301E-03 (±11,84E-06)	16,10 (±0,117)
1M Al 7075-O	9,129 (±0,191)	38,48E-06 (±1,282E-06)	12,81 (±0,240)	0,7274E-03 (±36,52E-06)	8,378 (±0,058)
0.1M Al 7075-T6	80,98 (±2,550)	28,43E-06 (±831,1E-09)	92,35 (±2,752)	0,1748E-03 (±12,52E-06)	53,77 (±0,318)
0.5M Al 7075-T6	17,52 (±0,331)	44,78E-06 (±1,318E-06)	24,12 (±0,437)	0,9121E-03 (±42,97E-06)	13,90 (±0,089)
1M Al 7075-T6	20,15 (±0,255)	25,17E-06 (±486,3E-09)	28,44 (±0,402)	0,9497E-03 (±34,15E-06)	8,405 (±0,058)
	Polarizasyon Sonrası				
	Rpo [Ohms·cm ²]	Cc [F·cm ⁻²]	Rf [Ohms·cm ²]	Cf [F·cm ⁻²]	Ru [Ohms·cm ²]
0.1M Al 7075-O	14,50 (±1,678)	271,5E-06 (±36,55E-06)	38,70 (±1,795)	1,141E-03 (±102,9E-06)	59,27 (±0,326)
0.5M Al 7075-O	9,331 (±0,323)	215,8E-06 (±10,08E-06)	18,73 (±0,389)	1,691E-03 (±84,99E-06)	12,63 (±0,073)
1M Al 7075-O	4,530 (±0,145)	262,6E-06 (±14,96E-06)	10,82 (±0,195)	3,610E-03 (±161,7E-06)	8,352 (±0,050)
0.1M Al 7075-T6	26,72 (±0,665)	299,6E-06 (±152,8E-06)	27,76 (±1,707)	1,893E-03 (±16,20E-03)	48,33 (±0,220)
0.5M Al 7075-T6	3,055 (±0,189)	275,8E-06 (±37,08E-06)	25,99 (±0,326)	3,051E-03 (±88,69E-06)	14,63 (±0,089)
1M Al 7075-T6	18,38 (±0,341)	861,9E-06 (±16,45E-06)	13,26 (±0,406)	11,97E-03 (±897,6E-06)	6,950 (±0,036)

6. SONUÇLAR

Yapılan tez çalışması neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

Al 7075 alaşımı Mg-Zn çökeltileri barındırır. Bu metalik ara fazlardan sık karşılaşılan $MgZn_2$ fazıdır. Söz konusu faz her iki ısıl işlem hali için de tane sınırlarında çökelir. Tam tavllanmış durumda bu faz kaba taneler olarak mikro segregasyon ile çökelirken su verme ve yapay yaşlandırma işleminde çok ince taneler halinde olduğundan XRD yansıması gözlenmemiştir.

Yapay yaşlandırma uygulanmış (T6) numuneye ait mikro sertliğin $MgZn_2$ fazının ince ve homojen çökmesi nedeniyle tam tavllanmış (O) numuneden üç kat kadar fazla olduğu tespit edilmiştir.

Açık devre şartlarında tam tavllanmış (O) numunelerin, yapay yaşlandırma uygulanmış (T6) numunelere göre daha soy davranış gösterdiği, ayrıca hem tam tavllanmış (O) numunelerin hem de yapay yaşlandırma uygulanmış (T6) numunelerin çözelti konsantrasyonu arttıkça daha soy davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

Yapılan elektrokimyasal analizler neticesinde çözelti konsantrasyonu arttıkça numunelerde meydana gelen korozyon hasarının da arttığı, bu durumun yüzey pürüzlülüğünü de orantılı olarak arttırdığı ve çözelti dirençlerinin azaldığı belirlenmiştir. Tüm numunelerde artan çözelti konsantrasyonu ile birlikte korozyon oranının da arttığı, ancak yapay yaşlandırılmış numunelerde korozyon oranındaki artış miktarının daha sınırlı kaldığı görülmüştür.

Tüm deney şartlarında polarizasyonun geri dönüş noktası $25 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ kritik akım yoğunluğudur. Konsantrasyon arttıkça bu değere daha çabuk ulaşılmış yani aktif anodik çözünme hızı artmıştır. Hiçbir konsantrasyonda pasifleşme davranışı gözlenmemiştir. Tüm deney şartlarında yüzeydeki pasif tabakanın bozunduğu ve kendini onaramadığı anlaşılmıştır.

Korozyon sonrası yüzeyler incelendiğinde malzemenin taneler arası (intergranüler) tarzda korozyona uğradığı görülmüştür. Tane sınırlarında çökelmiş olan $MgZn_2$ fazı daha yüksek korozyon hassasiyetine sahiptir. Bu fazın daha kaba tabakalar halinde

ökelmif olduğu tam tavlama durumunda bu hasar daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Yani genel olarak T6 numunelerinde korozyon dayanımının daha yüksek olduğu söylenebilir. Ayrıca yüzeyde pullanma bölgeleri oluştuğu ve pullanmanın ilerleyerek yüzeyden tabaka kalkmasına kadar vardığı görülmüştür.

EIS testlerine göre tüm şartlarda tek zaman sabiti olan, pozitif değerlerde kapasiteyi ve negatif değerlerde endüktifi gösteren eğriler elde edilmiştir. Polarizasyon sonrasındaki yüzey tabakası hasara uğramış olduğundan dolayı polarizasyon ve porozite dirençlerinde azalma olmuştur. Malzemenin yüzeyinde tabaka miktarı ciddi oranda azaldığı ve sisteme uygulanan yükün birim alan başına çok daha yüksek oranlarda depolandığı için Cc sığalarında ciddi artışlar meydana geldiği, numune yüzeyinden solüsyona doğru bir difüzyon gerçekteği için Cf sığalarının da arttığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akça, H. (2006) “Tig yöntemiyle kaynak edilen alüminyum ve alaşımlarının mikro yapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Alcoa Global Cold Finished Products (2009) “Alcoa alloy 7075 technical data”, http://www.alcoa.com/gcfp/catalog/pdf/alcoa_alloy_7075.pdf
Son erişim tarihi: 10.07.2019
- Asan, A. (2014) “Yumuşak Çelikler Üzerinde Polipirel Kaplama Koşullarının Araştırılması ve Korozyondan koruma Etkinliğinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Askeland, D. R., Fulay, P. P. and Wright, W. J. (2010) “The Science and Engineering of Materials, Sixth Edition”, *Cengage Learning*, Stamford, USA, 539-569
- Avşar, M. (2011) “Yaşlandırma Parametrelerinin AA 6061 Alüminyum Alaşımının Mekaniksel Özelliklerine ve Şekillendirmeye Olan Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde.
- Başer, T. A. (2012) “Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı” *Mühendis ve Makine Dergisi*, 53 (635), 51-58.
- Baydoğan, M. (2003) “Retrograsyon ve Yeniden Yaşlandırma Uygulanmış 2014 ve 7075 Kalite Alüminyum Alaşımlarının Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bayındır, B. (2005) “Gemi İnşaatında Alüminyum Kaynağı ve Alüminyum Tekne İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bayrak, Ö. (2013) “Plazma Oksitleme İşleminin Ti6Al7Nb ve Ti45Nb Alaşımlarının Tribolojik, Elektrokimyasal ve Biyouyumluluk Özelliklerine Etkisi”, Doktora tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- Bozkurt, S. (2019) “AA7075 T651 Alüminyum Alaşımının Tornada İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Geometrik Toleranslara ve Yüzey Pürüzlüğüne Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Cirik, E. (2007) “Anodik Oksidasyon İşleminin 7075-T6 Alüminyum Alaşımının Yorulma Davranışına Olan Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Demir, E. (2008) “Alüminyum Alaşımlarda Isıl İşlem Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

- Dışpınar, D. (2019) “Alüminyum Şekillendirme Teknolojileri Ders Notu”, <https://slideplayer.biz.tr/slide/8849263/>
Son erişim tarihi: 09.08.2019
- Doruk, M. (2014) “Metalik Malzemeler ve Korozyon”, *Korozyon Derneği*, Ankara.
- Duanjie, L. (2010) “Microstructure and Corrosion and Tribo-Corrosion Behaviors of Si-Based and Ti-Based Aerospace Coatings Produced by PECVD” Department of Mining and Materials Engineering, *McGill University*, Montreal, Quebec, Canada.
- Fakıoğlu, A. (2012) “Yaşlandırılan AA 7075 Alüminyum Alaşımlarının Yorulma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Flores, R., Mendoza D.C., Amézaga P., Estrada, I., Miki, M., Herrera, J.M. and Martinez, R. (2010) “Microstructural and Mechanical Characterization in 7075 Aluminum Alloy Reinforced by Silver Nanoparticles Dispersion”, *Journal of Alloys and Compounds*, 495, 394-398.
- Gamry, 2010. Basics of Electrochemical Impedance Spectroscopy. Application Notes. Gamry Instruments, <http://www.gamry.com/assets/Application-Notes/Basics-of-EIS.pdf> , Son erişim tarihi: 23.07.2019
- Gülyeryüz, K. (2011) “Deformasyon Yaşlanmasının AA7075 Alaşımının Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Imran, M. and Anwar Khan, A.R. (2019) “Characterization of Al-7075 Metal Matrix Composites: a Review”, *Journal of Materials Research and Technology*, 8(3), 3347-3356.
- Kibar, E. (2010) “7075 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Rra Isıl İşlemlerinin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Klotz, D. (2019) “Negative Capacitance or Inductive Loop? – A General Assessment of A Common Low Frequency Impedance Feature”, *Electrochemistry Communications*, 98, 58-62.
- Kumar, S., Kumar, A. and Vanitha, C. (2018) “Corrosion Behaviour of Al 7075/TiC Composites Processed Through Friction Stir Processing”, *Material Today: Proceedings*, 15, 21-29.
- Kumar, P.V., Ready, G.M. and Rao K.S. (2015) “Microstructure, Mechanical and Corrosion Behavior of High Strength AA7075 Aluminium Alloy Friction Stir Welds – Effect of Post Weld Heat Treatment”, *Defence Technology*, 11, 362-369.

- Leng, L., Zhang Z.J., Duan Q.Q., Zhang P. and Zhang Z.F. (2008) “Improving the Fatigue Strength of 7075 Alloy Throught Aging”, *Material science and Engineering*, A 738, 24-30.
- Li, J., Peng, Z., Li, C., Jia, Z., Chen, W. and Zehng, Z. (2008) “Mechanical Properties, Corrosion Behaviors and Microstructures of 7075 Aluminium Alloy with Various Aging Treatments”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 18, 755-762.
- Mert, B.D., Solmaz, R., Kardaş R. and Yazıcı B. (2011) “Copper/Polpyrrole Multilayer Coating for 7075 Aluminum Alloy Protection”, *Progress in Organic Coatings*, 72, 748-754.
- Metalürji ve Malzeme Mühendisleri Odası, (2004), 24.Dönem Çalışma Raporu www.metalurji.org.tr/arsiv/05_sektorel_rapor/aluminyum_raporu.pdf
Son erişim tarihi: 10.07.2019
- Oğuz, B. (1990) “Demir Dışı Metallerin Kaynağı”, *Oerlikon*, İstanbul, 5-6.
- Özkara, İ.M. (2009) “2024 Alüminyum Alaşımının Mikro Ark Oksidasyon Yöntemiyle Kaplanması Ve Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Özkıran, B. (2014) “Alüminyum Alaşımlarının Farklı Ortamlardaki Gerilmeli Korozyon Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- Palmanak, E. (2009) “6-Amino-m-Kresol Polimerinin Bakır ve Paslanmaz Çelik Üzerine Sentezi ve Korozyon Performansının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Pankade, S.B. Khedekar D.S. and Gogte C.L., (2008) “The Influence of Heat Treatments on Electrical Conductivity and Corrosion Performance of AA 7075-T6 Aluminium Alloy”, *Procedia Manufacturing*, 20, 53-58.
- Saçkesen, İ. (2007) “Yüksek Mukavemetli 7075 Alüminyum Alaşımın Yorulma ve Korozyon Özelliklerinin İyileştirilmesi ”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Sravanthi, M. and Manjunatha, K.G. (2017) “Corrosion Studies of As Casted and Heat Treated Aluminium-7075 Composites”, *Materials Today: Proceedings*, 5, 22581-22594.
- Soyyığıt, A. (2009) “7075-T6 Alüminyum Alaşımında Yapay Olarak Oluşturulan Oyukların Yorulma Dayanımına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Sun, Y. (1998) “Yaşlanabilir Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- Şişmanoğlu, T. (2009) “Anodik Oksidasyon Yöntemiyle 2024, 6082 ve 7075 Kalite Alüminyum Alaşımlarının Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Topkaya, E. (2014) “Polianilin Nanoparçacıklar (TiO₂, Ag, Zn) ile Nanokompozit Film Oluşumu ve Korozyon Önleme Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ.
- Taş, S.A. (2007) “Çeşitli Koşullarda İletken Polipirol Kaplanan Çeliklerin Korozyon Özelliklerinin Elektrokimyasal Polarizasyon ve İletkenlik Ölçümleri ile Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Üneri, S. (2011) “Korozyon ve Önlenmesi”, *Korozyon Derneği*, Ankara.
- Üneri, S. (1988) “Metallerin Çukurcuk Korozyonu” *I. Korozyon Sempozyumu*, Ankara, 1-29.
- Wang, S.G., Huang, Y.J., Long, K. and Zhang, Z.D. (2015) “Electrochemical Corrosion of Bulk Nanocrystalline Aluminum in Acidic Sodium Sulfate Solutions at Room Temperature”, *The Journal of Physical Chemistry C*, 119, 9851-9859.
- William, F.S. (2001) “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği” Çev: Kınıkoğlu, N. G., *Literatür Yayıncılık*, No: 47, İstanbul.
- Xiangqi, M., Zhuying, L. and Feiffei W. (2013) “Investigation on Corrosion Fatigue Crack Growth Rate in 7075 Aluminium Alloy”, *Materials and Design*, 51, 683-687.
- Yalçın A. ve Koç T. (1997) “Mühendisler İçin Korozyon”, TMMOB *Kimya Mühendisleri Odası*, Ankara.
- Yalçın, A. ve Koç, T. (2014) “Mühendisler İçin Korozyon”, *Korozyon Derneği*, Ankara.
- Yakar, E. (2005) “Elektropolimerizasyon Yöntemiyle Polipirol ve Polianilin ile Kaplanmış Alüminyumun Asidik Korozyonunun Önlenmesinde Farklı Anyonların Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Yılmaz, R., Özyürek, D. ve Kibar, E., (2012) “Yeniden Çözeltiye Alma Parametrelerinin 7075 Alüminyum Alaşımlarının Sertlik ve Aşınma Davranışlarına Etkisi” *Gazi Üniversitesi. Mühendislik. Mimarlık Fakülte Dergisi*, 27 (2), 429-438.
- Yue T. M., Yan L. J., Dong C. F. and Chan C. P. (2005) “Stress Corrosion Cracking Behaviour of Laser Treated Aluminium Alloy 7075 Using a Slow Strain Rate Test”, *Material Science and Technology*, 21 (8), 961-966.

Yurdakul, M., Özbay, O. ve İç, T. Y., (2002) “Havacılık Alanında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Seçimi” *Gazi Üniversitesi. Mühendislik. Mimarlık Fakülte Dergisi*, 17 (2), 1-23.

Zupanc, U. and Grum, J. (2010) “Effect of Pitting Corrosion on Fatigue Performance of Shot-Peened Aluminium Alloy 7075-T651”, *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 1197-1202.





EKLER

Ek-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar

Çakı M. ve Bayrak Ö. (2019) “Farklı ısı işlemler uygulanmış 7075 alüminyum alaşımının elektrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi”, *Euroasia 3rd International Congress Of Applied Sciences*, Sivas, 56s.



ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ÇAKI, 1985 yılında Kayseri’de doğdu. 2002 yılında Karatay Cemil Keleşoğlu Lisesi’ni bitirdi. 2005 yılında Selçuk Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. Bu bölümden 2010 yılında mezun oldu. 2013 yılında Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans yapmaya hak kazandı.

