

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ FARKLI  
ORTAMLARDAKİ GERİLMELİ  
KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Batuhan ÖZAKIN**

**Yüksek Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Mekanik Bilim Dalı  
Prof. Dr. Hikmet ALTUN**

**2014**

**Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ FARKLI ORTAMLARDAKİ  
GERİLMELİ KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Batuhan ÖZAKIN**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Mekanik Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2014**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ FARKLI ORTAMLARDAKİ GERİLMELİ  
KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Prof. Dr. Hikmet ALTUN danışmanlığında, Batuhan ÖZAKIN tarafından hazırlanan bu çalışma 28/10/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı – Mekanik Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Hikmet ALTUN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Ferhat BÜLBÜL

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu ...06../11../...2014 tarih ve ...44../...1512... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU  
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi BAP kapsamında desteklenmiştir.  
Proje No:2012/434

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

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ FARKLI ORTAMLARDAKİ GERİLMELİ KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Batuhan ÖZAKIN

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Mekanik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hikmet ALTUN

Alüminyum doğada en çok bulunan elementlerden biri olup, yüksek korozyon direncine sahiptir. Alüminyum alaşımları ise, yüksek mukavemet, hafiflik ve yüksek korozyon direnci sayesinde günümüz endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozif ortamlarda nasıl davrandıkları, hem gerilme ve hem de korozyon etkisi altında incelenerek, gerilmeli korozyon davranışları araştırılmıştır. Bu çalışmada üç farklı alüminyum alaşımının (AA 2024, AA 6061, AA 7075), üç farklı korozif ortamda gerilmeli korozyon dirençleri belirlenmiştir. Alaşımlara klor iyonları içeren asidik, bazik ve nötr ortamlarda gerilmeli korozyon deneyleri uygulanmış ve hava ortamındaki değerlerle karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen 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 AA 2024 alüminyum alaşımı sergilerken, AA 7075 alüminyum alaşımının en düşük gerilmeli korozyon direncine sahip olduğu belirlenmiştir.

**2014, 59 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum alaşımları, korozyon, gerilmeli korozyon, SSRT

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **INVESTIGATION OF STRESS CORROSION BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOYS UNDER DIFFERENT CONDITIONS**

Batuhan ÖZAKIN

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering  
Department of Mechanical

Supervisor: Prof. Dr. Hikmet ALTUN

Aluminum is one of the most abundant element in nature, has high corrosion resistance. If aluminum alloys, high strength, light weight and high corrosion resistance is often used in the industry today, thanks.

Aluminum alloy tension of how they behave in corrosive environments, as well as stress and examined under the influence of corrosion, stress corrosion behavior was investigated. In this study, three different aluminum alloy composition (AA 2024, AA 6061, AA 7075), three different stress corrosion resistance in corrosive environments are determined. Alloys containing chlorine ions in to the acidic, basic and neutral environment applied stress corrosion tests and compared with values in ambient air. According to the research results obtained when the best stress corrosion resistance in basic environments the lowest stress corrosion resistance is acidic medium. While used in the test of aluminum alloys exhibited in the best stress corrosion resistance of aluminum alloys AA 2024, AA 7075 aluminum alloy was determined to have the lowest stress corrosion resistance.

**2014, 59 pages**

**Keywords:** Aluminum alloys, corrosion, stress corrosion, SSRT

## **TEŐEKKÖR**

Bu tezin hazırlanmasında yardımını eksik etmeyen ve zamanını ayıran saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Hikmet ALTUN'a teőekkÖr ederim.

Deneysel alıőmalar esnasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Arő. Gör. Recep ATAR ve çocukluk arkadaőım Sayın Kim. MÖh. ZÖlkÖf MİZRAKLI'ya teőekkÖr ederim.

Bu çalışmayı destekleyen AtatÖrk Öniversitesi Fon Saymanlığı'na, ayrıca tÖm eğitim hayatım boyunca her zaman maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, daima yanımda olan aileme ve sevdiklerime teőekkÖr ederim.

**Batuhan ÖZAKIN**

**Ekim, 2014**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>6</b>
2.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları.....	6
2.1.1. Alüminyum alaşımlarının gruplandırılması .....	7
2.1.2. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları.....	10
2.1.2.a. Ulaşım sektöründe kullanımı .....	10
2.1.2.b. Ambalaj malzemesi olarak kullanımı .....	10
2.1.2.c. İçecek kutularında kullanımı .....	11
2.1.2.d. Elektrik-Elektronik sektöründe kullanımı .....	11
2.1.2.e. İnşaat sektöründe Kullanımı .....	11
2.1.2.f. Diğer alanlar .....	12
2.2. Korozyon ve Korozyon Çeşitleri.....	12
2.2.1. Korozyon .....	12
2.2.1.a. Korozyonun tanımı .....	12
2.2.1.b. Korozyonun oluşumu .....	13
2.2.1.c. Korozyon hücresi.....	13
2.2.1.d. Korozyon mekanizması .....	14
2.2.2. Korozyon çeşitleri .....	16
2.2.2.a. Üniform korozyon .....	16
2.2.2.b. Çukurcuk korozyonu .....	17
2.2.2.c. Seçici korozyon .....	17
2.2.2.d. Çatlak korozyonu .....	18
2.2.2.e. Galvanik korozyon .....	19
2.2.2.f. Taneler arası korozyon.....	20
2.2.2.g. Erozyonlu korozyon .....	21

2.2.2.h. Kavitasyon korozyonu.....	21
2.2.2.1. Aşınmalı korozyon .....	22
2.2.2.i. Aralık korozyonu.....	22
2.2.2.j. Filiform ve kabuk altı korozyonu.....	23
2.2.2.k. Yorulmalı korozyon .....	23
2.2.2.l. Hidrojen gevrekliği .....	23
2.2.2.m. Biyolojik korozyon.....	24
2.2.2.n. Gerilmeli korozyon.....	24
2.3. Alüminyum Alaşımlarında Korozyon .....	27
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>31</b>
3.1 Materyal.....	31
3.1.1. Alüminyum alaşımları .....	31
3.1.2. Çekme deney numuneleri .....	31
3.1.3. Korozyon hücresi .....	31
3.1.4. Çekme test cihazı.....	32
3.1.5. Çözeltiler .....	33
3.1.6. Diğer malzemeler .....	35
3.2. Yöntem .....	35
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>36</b>
4.1. AA 2024 Alüminyum Alaşımlarına İlişkin Sonuçlar.....	36
4.2. AA 6061 Alüminyum Alaşımlarına İlişkin Sonuçlar.....	40
4.3. AA 7075 Alüminyum Alaşımlarına İlişkin Sonuçlar.....	44
4.4. Ortamların Alüminyum Alaşımlarının Gerilmeli Korozyon Direncine Etkileri .....	48
4.4.1. AA 2024 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri.....	49
4.4.2. AA 6061 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri.....	50
4.4.3. AA 7075 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri.....	51
4.4.4. Farklı ortamlarda AA 2024, AA 6061, AA 7075 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indekslerinin karşılaştırılması.....	53
<b>5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA .....</b>	<b>56</b>
KAYNAKLAR .....	58
ÖZGEÇMİŞ .....	60



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$\beta$	Beta
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
e	Elektron
MPa	Megapascal
mV	Milivolt
V	Volt
$\mu\text{m}$	Mikrometre

### Kısaltmalar

ASTM	American Society for Testing and Materials
NIA	İzotermal Olmayan Yaşlandırma İşlemi
RRA	Yeniden Yaşlandırma İşlemi
SSRT	Slow Strain Rate Test

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Alüminyum ürününün dünyadaki bölgesel, ürün ve nihai ürün dağılımı .....	7
Şekil 2.2. Korozyon mekanizması .....	15
Şekil 2.3. Üniform korozyon .....	16
Şekil 2.4. Çukurcuk korozyonu .....	17
Şekil 2.5. Seçici korozyon .....	18
Şekil 2.6. Çatlak korozyonu.....	19
Şekil 2.7. Galvanik korozyon.....	20
Şekil 2.8. Taneler arası korozyon .....	20
Şekil 2.9. Erozyonlu korozyon.....	21
Şekil 2.10. Kavitasyon korozyonu .....	22
Şekil 2.11. Hidrojen gevrekliği.....	24
Şekil 2.12. Gerilmeli korozyon.....	27
Şekil 3.1. Çekme deney numunesi.....	31
Şekil 3.2. Korozyon hücresi.....	32
Şekil 3.3. Çekme test cihazı.....	33
Şekil 3.4. pH=2 olan %3,5'luk NaCl çözeltisi.....	34
Şekil 3.5. pH=11 olan %3,5'luk NaCl çözeltisi.....	34
Şekil 4.1. AA 2024 alüminyum alaşımının hava ortamındaki SSRT test sonucu .....	36
Şekil 4.2. AA 2024 magnezyum alaşımının asidik ortamda SSRT test sonucu .....	37
Şekil 4.3. AA 2024 alüminyum alaşımının bazik ortamda SSRT test sonucu .....	37
Şekil 4.4. AA 2024 alüminyum alaşımının %3,5 NaCl ortamındaki SSRT test sonucu.....	38
Şekil 4.5. AA 2024 alüminyum alaşımının değişik ortamlardaki SSRT test sonuçları .....	39
Şekil 4.6. AA 6061 alüminyum alaşımının hava ortamındaki SSRT test sonucu .....	40
Şekil 4.7. AA 6061 alüminyum alaşımının asidik ortamda SSRT test sonucu .....	41
Şekil 4.8. AA 6061 alüminyum alaşımının bazik ortamda SSRT test sonucu .....	41
Şekil 4.9. AA 6061 alaşımının %3,5 NaCl ortamındaki SSRT gerilme-zaman grafiği .....	42

<b>Şekil 4.10.</b> AA 6061 alüminyum alaşımının değişik ortamlarda SSRT test sonuçları ...	43
<b>Şekil 4.11.</b> AA 7075 alüminyum alaşımının hava ortamındaki SSRT test sonucu .....	44
<b>Şekil 4.12.</b> AA 7075 alüminyum alaşımının asidik ortamda SSRT test sonucu .....	45
<b>Şekil 4.13.</b> AA 7075 alüminyum alaşımının bazik ortamda SSRT test sonucu .....	46
<b>Şekil 4.14.</b> AA 7075 alüminyum alaşımının %3,5 NaCl ortamındaki SSRT test sonucu.....	47
<b>Şekil 4.15.</b> AA 7075 alüminyum alaşımının değişik ortamlarda SSRT test sonuçları ...	48
<b>Şekil 4.16.</b> AA 2024 alüminyum alaşımının gerilmeli korozyon indekslerinin grafik gösterimi .....	50
<b>Şekil 4.17.</b> AA 6061 alüminyum alaşımının gerilmeli korozyon indekslerinin grafik gösterimi .....	51
<b>Şekil 4.18.</b> AA 7075 alüminyum alaşımının gerilmeli korozyon indekslerinin grafik gösterimi .....	52
<b>Şekil 4.19.</b> Farklı alüminyum alaşımlarının asidik ortamlardaki SSRT test sonuçlarının karşılaştırılması.....	53
<b>Şekil 4.20.</b> Farklı alüminyum alaşımlarının %3,5 NaCl nötr ortamlardaki SSRT test sonuçlarının karşılaştırılması .....	54
<b>Şekil 4.21.</b> Farklı alüminyum alaşımlarının bazik ortamlardaki SSRT test sonuçlarının karşılaştırılması.....	54

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1.</b> Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve uygulama alanları.....	8
<b>Çizelge 2.2.</b> Alüminyum alaşımları için temper seri numaraları .....	9
<b>Çizelge 2.3.</b> Çeşitli alaşımlarda gerilmeli korozyon çatlamaına yol açan ortamlar .....	26
<b>Çizelge 2.4.</b> Alüminyum ve bazı alaşımlarının farklı korozyon ortamlarındaki durumları.....	27
<b>Çizelge 4.1.</b> AA 2024 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri .....	49
<b>Çizelge 4.2.</b> AA 6061 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri .....	51
<b>Çizelge 4.3.</b> AA 7075 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri .....	52

## 1. GİRİŞ

Korozyon, metal veya metal alaşımlarının oksitlenme veya diğer kimyasal etkilerle aşınma durumuna verilen addır. Korozyonun temel nedeni, metallerin arıtılmış saf formlarında kararsız olmalarından kaynaklanmaktadır. Metaller daima doğada buldukları şekildeki formlarına tekrar geri dönme eğilimindedirler. Bu kararsızlıklarından dolayı metaller korozyona uğrama eğilimindedir. Korozyona malzemenin bulunduğu ortam, ortam sıcaklığı, taneler arası özellik farkları, ortamın oksijen konsantrasyonu, elektriksel özgül direnç farkları vs. etki etmektedir (Eker 2009).

Hafif metaller sınıfından olan alüminyum, bileşikler halinde yer kabuğunun %8'ini oluşturur. Oksijen ve silisyumdan sonra doğada en çok bileşiği bulunan metaldir. 1886 yılında ABD'de Charles Martin Hall'in alüminyum oksiti elektrolitik işlemler sonucu elde etmesiyle kullanılmaya başlanan alüminyum, daha sonra Fransa'da Paul Heroult tarafından elektroliz yöntemiyle elde edildi. Günümüzde de alüminyum elektroliz yöntemiyle elde edilmektedir. Mühendislik uygulamalarında ve insan yaşamında önemli ölçüde kullanım alanı bulan alüminyumun en belirgin özelliği hafifliğidir. Magnezyum ve berilyumdan sonra en hafif metaldir. Alaşımlarında yoğunluğu çok az artmasına rağmen mukavemeti önemli miktarda artmaktadır. Alüminyum iyi bir ısı ve elektrik iletkenidir; kolayca dökülür ve işlenebilir; korozyona dayanıklıdır. Sıcak ve soğuk şekillendirilebilir, dekoratiflik özelliklerinden dolayı makine imalat, metal sanayi, inşaat, kimya, gıda sanayi, ulaştırma, elektrik–elektronik sanayi uzay sanayi ve diğer birçok ortamlarda kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları mukavemet ve sertliğin saf alüminyuma göre daha yüksek olduğu malzemelerdir. Sıklıkla kullanılan alaşım metalleri, bakır, silisyum, mangan, magnezyum ve çinkodur (Başer 2012).

Alüminyum alaşımları günümüz endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları kullanım alanlarına bakıldığında gerilmeli korozyon hasarına sıklıkla maruz kalmaktadırlar. Gerilmeli korozyon; ortamın ve gerilmenin, zamanın etkisiyle beraber malzemenin mekanik özelliklerini azaltması sonucu, malzemenin ani kopmasına neden

olur. Bunun için çok tehlikelidir ve alüminyum alaşımlarının bu kullanım alanları da dikkate alındığında gerilmeli korozyon hasarı, sistem tasarımlarında önemli rol oynamaktadır ve dikkat edilmesi gereken bir husustur (Başer 2012).

Bu alanda yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Özet olarak inceleyecek olursak;

Yetiştiren ve Tülbentçi (1995) yaptıkları çalışmada 2XXX serisi ve 7XXX serisi olarak tanımlanan yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarında, mekanik özellikleri artırmak için uygulanan ısıl işlemlerin, gerilmeli korozyon çatlama direncinde azalmaya sebep olabileceğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada 2024 alüminyum alaşımında yeniden yaşlandırma (RRA) ısıl işleminin, mekanik özellikler ve gerilmeli korozyon çatlama direncine etkisi incelenmiştir. Numunelere farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan RRA işlemlerinin, gerilim şiddeti faktörünü bir miktar artırmasına karşın, gerilmeli korozyon çatlama direncini azalttığını gözlemlemişlerdir.

Tsai and Chuang (1996), AA 7475 alüminyum alaşım plakalar ile yaptıkları çalışmada gerilmeli korozyon çatlağı üzerine tane boyutunun etkisini araştırmışlardır. Tane boyutunun daha homojen ve daha küçük tane boyutuna sahip olmasının gerilmeli korozyon direncine etki ettiğini belirlemişler ve daha homojen tane boyutunun gerilmeli korozyon direncini artırdığını ancak daha küçük tane boyutunun ise, oluşan hidrojen kabarcıklarının yapmış olduğu hidrojen gevrekliğinden ötürü gerilmeli korozyon direncinin azalttığını belirlemişlerdir.

Sharma (2000) yaptığı çalışmada metal matriks kompozit AA 6061 alüminyum alaşımının gerilmeli korozyon direncini, yüksek sıcaklıkta asidik ortamda otoklav uygulayarak değerlendirmiştir. Sıvı metalürji tekniği ile 90-150 µm arasında tane boyutuna sahip AA 6061 bileşiği elde etmişler ve gerilmeli korozyon testlerini, normal şartlar ve HCl ortamında ağırlık kaybı yöntemine göre yapmıştır. Normal Al alaşımı ile matriks takviyeli Al alaşımı karşılaştırıldığında, matriks takviyeli Al alaşımının daha iyi gerilmeli korozyon direncine sahip olduğunu belirlemiştir.

Yue *et al.* (2003) yaptıkları çalışmada, AA 7075-T651 alüminyum alaşımına NaCl çözeltisi içinde gerilmeli korozyon direncini artırmak için lazer yüzey işlemi uygulamışlardır. Malzeme üzerinde yaklaşık 8 µm kalınlığında erimiş bir katman oluşturulmuştur. Herhangi bir lazer işlemi uygulanmamış numune ve lazer işlemi uygulanmış numune 30 gün süre ile NaCl çözeltisi içinde tutulmuştur. Gerilmeli korozyon testlerinde alınan elektrokimyasal ölçümler sonucunda lazer işlemi uygulanmış numunenin, herhangi bir lazer işlemi uygulanmamış numuneden daha iyi gerilmeli korozyon direncine sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Yue *et al.* (2005) yaptıkları çalışmada 7075 alüminyum alaşımı üzerine bir lazer işlemi sonucunda yüzeyde film tabaka oluşturarak, %3,5'lik NaCl çözeltisi içerisinde malzemenin gerilmeli korozyon direncini araştırmışlardır. Lazer işlemi uygulanan numunelerden alınan elektrokimyasal ölçümler sonucunda, lazerle oluşturulan tabakanın korozyonu geciktirdiği gibi taneler arası korozyon saldırılarını da azalttığını gözlemlemişlerdir. Böylece lazer tabakasının gerilmeli korozyon direncini artırdığını belirlemişlerdir.

Li *et al.* (2007) 2519 alüminyum alaşımı ile yaptıkları çalışmada numuneye %10 oranında bir ön deformasyon işlemi uygulamış ve bu ön deformasyon işleminin gerilmeli korozyon direncindeki etkilerini incelemişlerdir. Gerilmeli korozyon direncini belirlemek amacıyla ön deformasyon işlemi uygulanmış numuneyi %3,5'lik NaCl çözeltisi içerisinde, SSRT testine tabii tutmuşlar ve deneysel çalışma sonucunda, ön deformasyon işleminin uygulanmasının gerilmeli korozyon direncini azalttığını belirlemişlerdir.

Kannan and Raja (2010) Al-Zn-Mg-Cu-Zr alaşımına yeniden kristalleşme uygulayarak, yeniden kristalleşmenin maksimum olduğu sıcaklıktaki malzemenin gerilmeli korozyon direncini araştırmışlardır. Alaşım yeniden kristalleşmenin maksimum olduğu sıcaklığa getirilerek ve bu sıcaklıkta %3,5'lik NaCl çözeltisi içerisinde gerilmeli korozyon için SSRT testine tabii tutularak birtakım sonuçlara ulaşmışlardır. Yeniden kristalleşme

işlemi uygulanmayan normal numuneye göre yeniden kristalleşme yapılan numunenin gerilmeli korozyon direncinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

Peng *et al.* (2012) ise Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarının gerilmeli korozyon direncine deformasyon etkilerini araştırmışlardır. Bu esasa numune üzerine uygulanan deformasyon miktarının artması ile birlikte tane boyutunda azalma meydana gelmiş ve gerilmeli korozyon hasarının oluşması için bir duyarlılık olduğu tespit edilmiş ve bu işlemler sonucunda gerilmeli korozyon direncinin azaldığı belirlenmiştir.

Chen *et al.* (2012) yaptıkları çalışmada 7085 alüminyum alaşımının gerilmeli korozyon duyarlılığını mikro yapısal olarak SEM ve TEM mikroskopları kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak tane boyutunun azaldığını, tane sınırlarının azaldığını ve bu sınırlarda bakır elementinin artış gösterdiği tespit edilerek gerilmeli korozyon direncinin azaldığını belirlemişlerdir.

Astarita *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada kaynaklı alüminyum alaşımlarına uygulanan gerilme ve beraberindeki gerilmeli korozyon sonucunda oluşan etkileri incelemişlerdir. Bu bağlamda havacılıkta kullanılan AA 2024, AA 2139, AA 2198, AA 6056 numunelerine SSRT testi uygulamışlardır. Sonuç olarak gerilmeli korozyon hasarı gerçekleşmiş ve numuneler üzerinde genel olarak bir çukurlaşma gözlemlemişlerdir. Çalışmada kullandıkları tüm malzeme numunelerinin gerilmeli korozyona karşı bir dayanım kaybının olduğunu ifade etmişlerdir.

Sun *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada Al-Zn-Mg alaşımının gerilmeli korozyon çatlağına yatkınlığını, tane sınırı yoğunluğu ve gerilmeli korozyon direnci arasındaki ilişkiyi görüntü analizi ile araştırmışlardır. Al-Zn-Mg alaşımında gerilmeli korozyon hasarına uğramış numuneyi SEM ve TEM mikroskopları ile gözlemlemişlerdir. Bu gözlem sonucunda tane sınırı yoğunluğunun artışıyla beraber gerilmeli korozyon direncinin azaldığını tespit etmişlerdir.



Frefer *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada Al-Li alaşımının gerilmeli korozyon direncini SSRT testi uygulayarak araştırmışlardır. Bu testi NaCl ve hava ortamında, farklı şekil değiştirme oranlarında ve farklı potansiyelerde gerçekleştirmişlerdir. Bu iki farklı ortamdaki elde edilen sonuçları karşılaştırdıklarında hava ortamında daha iyi özellikler tespit etmişler ve bu iki ortamda oluşan kopma uzamaları üzerine birtakım tartışmalar yapmışlardır.

Jiang *et al.* (2014) yaptıkları çalışmayı izotermal olmayan yaşlanma (NIA) işleminin; iletkenlik, dayanım ve korozyon direncinde ne tür etkiler yaptığını gözlemlemek amacıyla gerçekleştirmişlerdir. İletkenlik genelde artmış fakat çok büyük bir artış gözlenmemiştir. NIA işleminin, mukavemet ve Al-Zn-Mg-Cu alaşımının gerilmeli korozyon direncini artırdığını belirlemişlerdir.

Rout *et al.* (2014) yaptıkları çalışmada %3,5'lik NaCl çözeltisinin pH= 1, 7 ve 12 değerlerinde ve çeşitli sıcaklıklarda AA 7150 alaşımı üzerine polarizasyon testi ve SSRT testi uygulamışlardır. Korozyon akımı yoğunluğu, polarizasyon eğrilerinden belirlenmiştir. pH=7 ile karşılaştırıldığında, pH=1 ve pH=12'de korozyon akımı yoğunluğunun daha fazla olduğu belirlenmiştir. Gerilmeli korozyon direnci ise pH=7 değerinde en iyi iken, bu duyarlılık pH=1 değerinde en düşük değerini almıştır.

Qi *et al.* (2014) yaptıkları çalışmada 7050 alüminyum alaşımlarının katodik polarizasyon potansiyeli etkileri sonucunda gerilmeli korozyon davranışlarını belirlemek amacıyla bir deneysel çalışma yapmışlardır. Bu inceleme sonucunda uygulanan katodik polarizasyon potansiyeli değeri azaldıkça, malzemenin gerilmeli korozyon direncinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Spathis *et al.* (2014) yaptıkları çalışmada 7017 alüminyum alaşımlarına uygulanan anodik kaplama sonucunda, gerilmeli korozyon direncindeki değişiklikleri belirlemek amacıyla deneysel çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu deneysel çalışma sonucunda %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde anodik kaplamaların, sünekliği ve gerilmeli korozyon direncini artırdığını gözlemlemişlerdir.

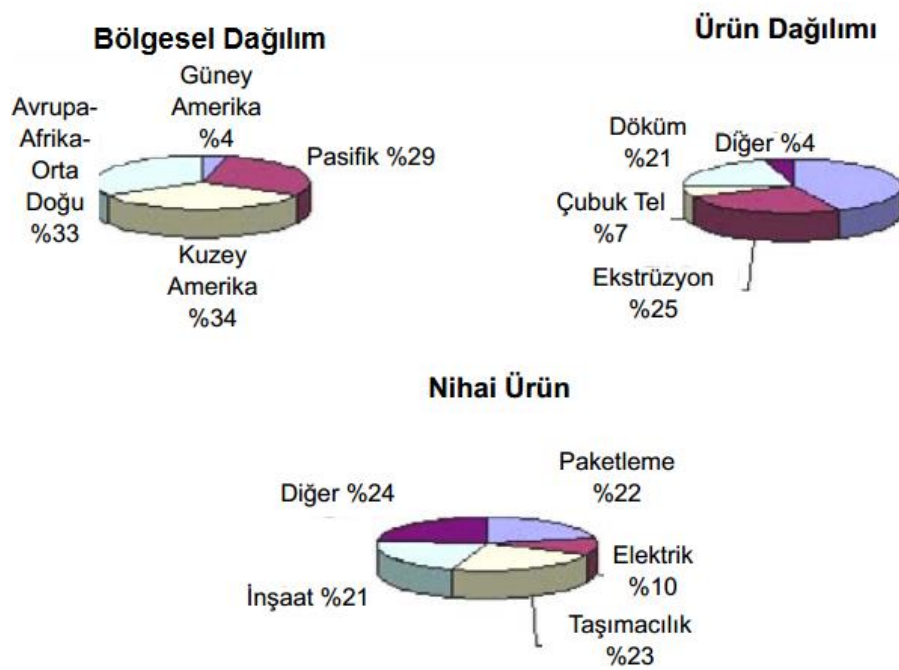
## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum, demir esaslı malzemelerden sonra, mekanik özelliklerinin üstünlüğü nedeniyle, çağımızın en çok kullanılan ikinci metalidir. Alüminyumun;

- Uygun mekanik özelliklerle birlikte düşük ağırlığı,
- Korozyona karşı dayanımı,
- Geri dönüşebilirliği,
- Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği,
- Parlamama ve alev almama özelliği,
- Kolay işlenebilirliği,
- İyi yüzey işlenebilirliği.

özellikleri kullanımının çok büyük bir hızla yaygınlaşmasına neden olmuş, böylelikle alüminyumu 21. yüzyıla damgasını vuran bir metal yapmıştır. Şekil 1.1'de alüminyum ürününün dünyadaki bölgesel dağılım, ürün dağılımı ve nihai ürün olarak sınıflandırılması gösterilmiştir (William 2001).



**Şekil 2.1.** Alüminyum ürününün dünyadaki bölgesel, ürün ve nihai ürün dağılımı

### 2.1.1. Alüminyum alaşımlarının gruplandırılması

Alüminyum alaşımları üretim metotları esas alınarak dövme ve döküm olmak üzere iki ana alt gruba ayrılır. Plastik deformasyonla şekillendirilen dövme alaşımları, döküm alaşımlardan oldukça farklı mikro yapı ve kimyasal bileşime sahiptir. Her iki ana grup içindeki alaşımlar, ısıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan alaşımlar olmak üzere, iki alt gruba ayrılır (William 2001).

Isıl işlem uygulanabilir alüminyum alaşımlarında; ısıl işlemle çökelme sertleşmesi elde edilmektedir. Bahsedilen ısıl işlem, alüminyum alaşımlarında istenen dayanımı elde etmek için uygulanan bir prosestir. Isıl işlem uygulanabilir alüminyum alaşımlarının 2XXX, 6XXX, 7XXX serileri olmak üzere üç ana grubu bulunmaktadır (Oğuz 1990).

Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları ise çökelmeyle sertleştirilemez, dayanımlarının artırılması sadece soğuk şekillendirme ile mümkündür. Katı eriyik mukavemetlendirmesi, pekleşme ve yaşlanma ile mukavemetlendirilirler. Isıl işlem

uygulanamayan alüminyum alaşımlarının ise 1XXX, 3XXX, 5XXX serileri olmak üzere üç ana grubu bulunmaktadır (Oğuz 1990).

Mukavemetlendirme derecesi, alaşımın ısı işlem görebilir veya pekleştirilebilir olmasına göre temper tanımlaması “T” ve “H” ile gösterilmektedir. Diğer tanımlamalar alaşımın tavlandığını (O), çözüldürme işlemi uygulandığını (W) veya üretildiği şekilde kullanıldığını (F) göstermektedir. “T” veya “H” yi takip eden numaralar pekleşme miktarını, gerçek ısı işlem tipini veya alaşımın diğer özel üretim işlem durumunu göstermektedir (William 2001).

**Çizelge 2.1.** Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve uygulama alanları

Alaşı m No*	Kimyasal bileşim, ağı %	Durum	Çek. Day. (MPa)	Akma Day. MPa	Uzama %	Örnek Uygulamalar
<b>Dövme Alaşımlar</b>						
1100	En az 99.0 Al, 0.12 Cu	Tavllanmış (O) Yarı sert (H14)	89 124	24 97	25 4	Sac metal işleri
3003	>1.2 Mn	Tavllanmış (O) Yarı sert (H14)	117	34	23 17	Basıncılı kaplar
5052	2.5 Mg, 0.25 Cr	Tavllanmış (O) Yarı sert (H34)	193 262	65 179	18 4	Kara ve deniz taşıtları
2024	4.4 Cu, 1.5 Mg 0.6 Mn	Tavllanmış (O) Isıl işlemlili (T6)	< 220 > 442	< 97 > 345	12 5	Uçak yapı elemanları
6061	1.0 Mg, 0.6 Si, 0.27 Cu, 0.2 Cr	Tavllanmış (O) Isıl işlemlili (T6)	< 152 > 290	< 82 > 241	16 10	Kara ve deniz taşıtları
7075	5.6 Zn, 2.5 Mg 1.6 Cu, 0.23 Cr	Tavllanmış (O) Isıl işlemlili (T6)	< 276 > 504	< 145 > 428	10 8	Uçak ve diğer yapı elemanları
<b>Döküm Alaşımlar</b>						
355.0	5 Si, 1.2 Cu, 0.5 Mg	Kum kalıp (T6) Kalıcı kalıp (T6)	> 220 > 285	> 138	2.0 1.5	Pompa gövdesi, krank kutuları
356.0	7 Si, 0.3 Mg	Kum kalıp (T6) Kalıcı kalıp (T6)	> 207 > 229	> 207 > 229	3 3	Dişli kutuları, Jantlar
332.0	9.5 Si, 2 Cu, 1.0 Mg	Kalıcı kalıp (T5)	> 214			Motor Pistonları
413.0	12 Si, 2 Fe	Basıncılı Döküm	297		2.5	Karmaşık parçalar

\* Aluminum Association (Alüminyum Derneği) sayısı

Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımları için temper seri numaraları

Temper No	Açıklama
<b>F</b>	İmal edildiği şekilde
<b>O</b>	Tavlanmış (mümkün olan en yumuşak şartlarda)
<b>H</b>	Soğuk şekillendirilmiş
<b>H1X</b>	Sadece soğuk şekillendirilmiş (X soğuk şekillendirme miktarına ve mukavemetlendirmeye işaret eder.)
<b>H12</b>	Soğuk şekillendirme, O ve H14 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar.
<b>H14</b>	Soğuk şekillendirme, O ve H18 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar.
<b>H16</b>	Soğuk şekillendirme, H14 ve H18 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar.
<b>H18</b>	Soğuk şekillendirme, çekme dayanımı yaklaşık %75 azalır.
<b>H19</b>	Soğuk şekillendirme, H18 temperi ile elde edilen çekme dayanımından 2000 psi fazla dayanım sağlar.
<b>H2X</b>	Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavlanmış
<b>H3X</b>	Düşük sıcaklıkta yapının yaşlanmasını önlemek için soğuk şekillendirilmiş ve dengelenmiş
<b>W</b>	Çözelti ısıtma işlemi görmüş
<b>T</b>	Yaşlandırılmış
<b>T1</b>	İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış
<b>T2</b>	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
<b>T3</b>	Çözelti ısıtma işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
<b>T4</b>	Çözelti ısıtma işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
<b>T5</b>	Yüksek sıcaklıktaki şekillendirme işleminden ve soğuduktan sonra yapay yaşlandırılmış
<b>T6</b>	Çözelti ısıtma işlemi uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış
<b>T7</b>	Çözelti ısıtma işlemi uygulanmış ve kararlılaştırılmış
<b>T8</b>	Çözelti ısıtma işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
<b>T9</b>	Çözelti ısıtma işlemi uygulanmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
<b>T10</b>	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

## **2.1.2. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları**

### **2.1.2.a. Ulaşım sektöründe kullanımı**

Otomotiv endüstrisinde güvenlikten ödün vermeden, konfordan vazgeçmeden, büyük ve az yakıt tüketen otomobiller için hafif fakat mukavemeti yüksek malzeme oluşu alüminyumun sıklıkla kullanılmasına neden olmaktadır. Alüminyum alaşımları otomotiv sektöründe radyatörler, hareket sistemleri, motor ve vites parçaları, yassı ürün olarak konstrüktif elemanlarında kullanılır (Başer 2012).

Havacılık endüstrisinde alüminyum çok sık kullanılmaktadır ki bir uçağın yaklaşık %70'ini alüminyum ürünleri oluşturmaktadır (Yurdakul ve Özbay 2002).

Deniz araçlarında alüminyum, kamaralardan başlamak üzere gezi teknelerine, kuru yük gemilerinin gövde kompartımanlarını oluşturan yapısal parçalardan tüm üst bina inşasına kadar ve pervanelerin üretiminde çok yoğun olarak kullanılmaktadır.

Demiryolu araçlarında hızlı tren konseptinde Japonya'da yapılan ETR 500 adlı hızlı trende, tren şasesi ve vagon gövdeleri yüksek mukavemetli Al-Zn-Mg alaşımlarından üretilmektedir (Başer 2012).

### **2.1.2.b. Ambalaj malzemesi olarak kullanımı**

Alüminyumun homojen yapısı, ince folyo şeklinde üretilebilmesi, hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi onu ideal bir ambalaj malzemesi yapar. Folyo olarak vakumlu ambalajlarda, metalize film (alüminyum kaplı plastik) olarak da ısı ile kapanan ambalajlarda (yoğurt, ilaçlar vb.) en fazla tercih edilen malzemedir.

Gıda endüstrisinde nispeten düşük asitliğe sahip sıvıların proses edildiği tank ve iletildiği borular korozyon dayanımı yüksek alüminyum alaşımlarından üretilmektedir.

Yakıt tankları, rafinerilerde tankların ve boruların ısı yalıtım elemanları çok yoğun olarak alüminyum alaşımlarından imal edilmektedir.

Tahıl siloları ve tahıl nakliyatında kullanılan kamyon kasaları, nakliyatındaki verimliliğin arttırılabilmesi için yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarından üretilmektedir (Başer 2012)

### **2.1.2.c. İçecek kutularında kullanımı**

Alüminyumun en yaygın kullanıldığı alanlardan birisi de içecek kutularıdır. Dünyada kullanılan metal kutuların %80'i alüminyumdur. Bunun nedenleri hafif, açılması kolay, darbeye dayanıklı, sağlam, geri kazanılabilir oluşu ve çabuk soğutma özellikleridir (Başer 2012)

### **2.1.2.d. Elektrik-Elektronik sektöründe kullanımı**

Alüminyum son derece iletken bir metaldir. Alüminyum kullanımının Avrupa'da %10'u, ABD'de %9'u, Japonya'da %7'si elektrik ve elektronik sektörüne aittir. Çelik özlü alüminyum iletkenler, yüksek voltajlı elektrik nakil hatlarında tercih edilen tek malzeme olmuştur. Alüminyum, yeraltı kablolarında, elektrik borularında ve motor bobin sarımında da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Şaseler, yongalar, transistör soğutucuları, veri kayıt diskleri ve cihaz kasaları alüminyumun elektronikteki ana kullanım alanlarıdır (Başer 2012).

### **2.1.2.e. İnşaat sektöründe kullanımı**

Hafifliği, yüksek korozyon direnci, uzun ömürlülüğü, düşük bakım maliyetleri, geri kazanma imkanı ve metalin çok yönlülüğü ve sonsuz değişik şekilde profil elde edebilme olanağı nedenleri ile binaların çatı ve cephe kaplamalarında, kapı ve pencerelerinde, merdivenlerde, çatı ve inşaat iskelelerinde, sera yapımında da yoğun

şekilde kullanılan alüminyum, sağlamlığı yanında eloksal kaplama sayesinde dekoratif görünümü sayesinde inşaat sektörüne de birçok seçenekler sunmaktadır.

Alüminyumun çeliğe alternatif olarak köprülerin önemli bazı yerlerinde bir yapı elemanı olarak kullanılması, köprülerin kullanım kapasitelerini arttırabilmektedir. Hafifliği ve diğer yapı malzemelerine göre avantajlı bir ağırlık/mukavemet oranına sahip olmasının yanı sıra alüminyum, oldukça yüksek korozyon mukavemetine sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı köprülerin bakım masraflarını azaltarak kullanım ömrünü uzatır. Alüminyum bir köprünün faydalı yük taşıma (araçlar) kapasitesini arttırırken, ölü yük ağırlığını (köprünün kendi ağırlığı) azaltmaktadır (Başer 2012).

#### **2.1.2.f. Diğer alanlar**

Alüminyum, diğer sektörlerle kıyaslandığında daha küçük oranlarda olmak üzere, buzdolabı, dondurucu, havalandırma, spor ekipmanları ve mutfak aletleri yapımında da kullanılmaktadır (Başer 2012).

## **2.2. Korozyon ve Korozyon Çeşitleri**

### **2.2.1. Korozyon**

#### **2.2.1.a. Korozyonun tanımı**

Metallerin hemen hemen tümü tabiatta "bileşik" halinde bulunurlar. Metaller, içinde buldukları ortamın elemanları ile reaksiyona girerek, önce iyonik hale ve oradan da ortamdaki başka elementlerle birleşerek "bileşik" haline dönmeye çalışırlar; yani kimyasal değişime uğrarlar ve bozunurlar. Sonuçta metal veya alaşımın fiziksel, kimyasal, mekanik veya elektriksel özelliği istenmeyen değişikliklere yani zarara uğrar. Korozyon, hem metal veya alaşımının bozunma reaksiyonunun hem de bu reaksiyonun sebep olduğu zararın adıdır. Bir başka bir şekilde ifade etmek istersek; korozyon,



metalik malzemelerin içinde buldukları ortamla elektrokimyasal reaksiyona girmeleri sonucu dışarıdan enerji vermeye gerek olmadan, metalik özelliklerini kaybetmeleri olayıdır (Yalçın ve Koç 1990).

### **2.2.1.b. Korozyonun oluşumu**

Korozyon, birbiri ile elektriksel ve elektrolitik teması olan ve aralarında potansiyel farkı oluşabilen, metalik iki bölge veya nokta arasında oluşur. Bu bölge veya noktalardan potansiyel olarak daha fazla olanın yüzeyinde katodik reaksiyon oluşurken aktif olan diğer bölge veya nokta çözünür. Korozyon olayı enerji açığa çıkararak kendiliğinden yürüyen reaksiyonlar sonucu ortaya çıkar. Örneğin demir metali su ve oksijen ile birleşerek, doğada bulunduğu minerallere benzer bileşimdeki oksitlere dönüşmek eğilimindedir. Bu mineraller demirin en düşük enerji düzeyinde olan en stabil bileşikleridir. Metalik demir korozyon reaksiyonları sonucu oksitlerine dönüşürken enerji açığa çıkarır. Aynen bunun gibi diğer bütün korozyon olayları da enerji açığa çıkararak tek yönlü olarak yürürler (Yalçın ve Koç 1990).

### **2.2.1.c. Korozyon hücresi**

Metallerin yüzeyinde de her zaman değişik kalınlıkta su veya su filmi mevcuttur. Hava ve dolayısı ile onun bir bileşeni olan oksijen gazı atmosferle temas eden her türlü su içinde belirli bir oranda çözünür. Su içinde çözülmüş oksijen gazı metal yüzeyinde "redüklenerek" yani elektron alarak, iyonik hale dönmeye meyillidir.

Eğer redüksiyon için gerekli elektronlar metal tarafından sağlanırsa, elektronlarını oksijene vererek "oksitlenen" metal atomları katı halden "sulu iyon" haline geçerek kimyasal değişime uğrarlar. Metalin sulu ortam ara yüzeyinde kimyasal şekil değiştirmesi "korozyon" olarak tanımlanır.

Sulu ortamlarda elektron alış verişi ile gelişen oksidasyon (elektron verme) ve redüksiyon (elektron alma) reaksiyonlarına "elektrokimyasal" reaksiyonlar denir. Su

içinde, atmosferde ve toprak altında meydana gelen tüm korozyon reaksiyonları "elektrokimyasal" reaksiyonlardır (Savaşkan 2000).

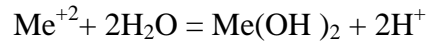
#### 2.2.1.d. Korozyon mekanizması

Korozyon mekanizmasını bir metalin su içerisindeki korozyonu ile açıklamaya çalışalım.

Korozyon olayı metalin iyon haline yükseltgenmesi;

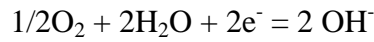


ile anot bölgesinde meydana gelir.



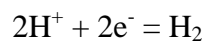
metal iyon halinde çözeltiliye geçer.

Bu iyonlar alkali ortamlarda su ile hidroliz olarak hidroksit halinde çökelir.

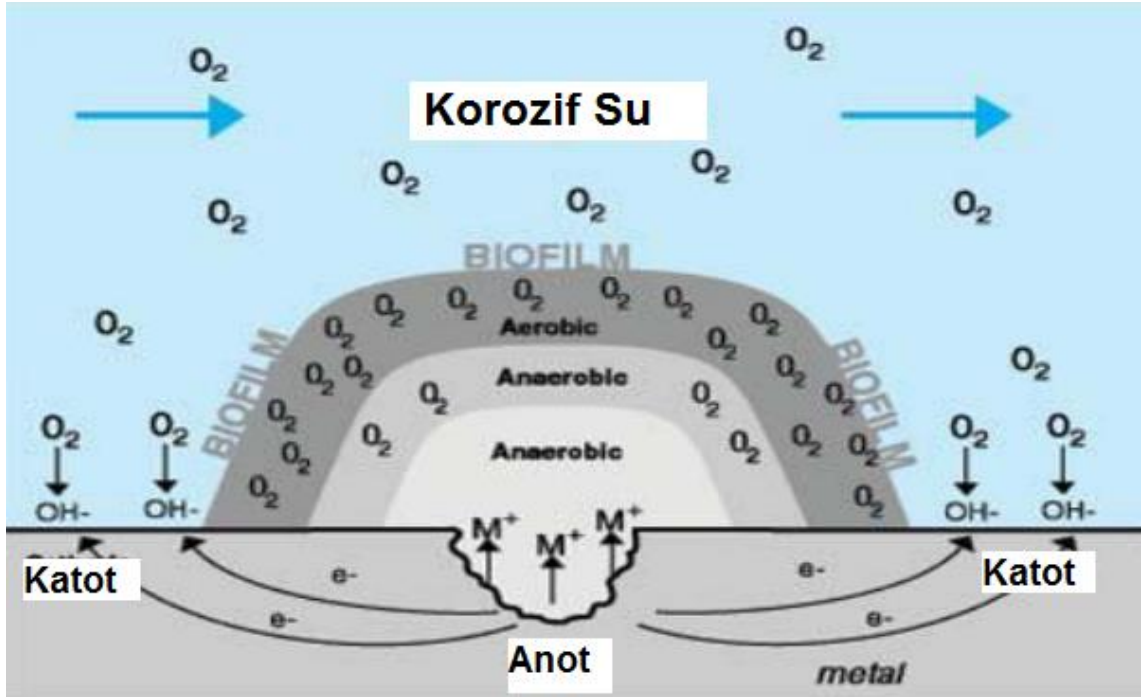


reaksiyonu gereğince çözülmüş oksijen katot civarında hidroksil iyonuna dönüşür.

Asidik ortamlarda katot reaksiyonu hidrojen iyonu indirgenmesi



ile hidrojen çıkışı gerçekleşir.



Şekil 2.2. Korozyon mekanizması

Korozyon olayına yalnız kimyasal maddelerin söz konusu olduğu üretim tesislerinde değil, endüstrinin her dalında rastlanabilir. Atmosfer etkisinde kalan bütün çelik yapılar, köprüler, korkuluklar, direkler, raylar, depolar, tarım makinaları taşıt araçları vb. su ve yeraltında bulunan çelik yapılar, akaryakıt ve su boruları, kablolar, tanklar, iskele ayakları, baraj kapakları, cebri borular, gemiler, dubalar, buhar kazanları, radyatörler, betonarme demirleri vb. metalik yapılar beklenenden daha kısa süreler içinde korozyon nedeni ile kullanılamaz hale gelebilir.

Bu nedenle korozyon olayını tam olarak durdurmak mümkün olmamakla beraber korozyona karşı alınacak önlemler, korozyon hızının azaltılmasına ve böylece metalin ömrünün belirli süre artırılmasına yöneliktir.

Metaller, özellikle demir ve çelik; endüstrinin temel yapı malzemesini oluşturmakla beraber korozyona en dayanıksız metallerdir. Korozyon sonucu yalnız metal kaybedilmekle kalmaz, ilgili ekipman da görevini yapamaz hale gelir. Bu nedenle

korozyonla etkili bir mücadele yapılmadan endüstrinin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi söz konusu olamaz.

Diğer taraftan korozyon, malzeme ve işçilik gibi en önemli ulusal kaynakların yok olmasına neden olur. Bu açıdan bakıldığında korozyon, endüstrinin verimini azaltan, ekonomik kalkınmayı engelleyen ve milli gelirden önemli kayıplara neden olan ekonomik bir olay olarak nitelendirilmelidir.

Bütün bu yapılarda meydana gelen korozyon kayıplarının tam olarak belirlenmesi son derece güçtür. Bunun nedeni korozyon kayıplarının yalnız malzeme ve işçilik kaybindan ibaret olmayıp, bunun ötesinde ve bundan daha büyük birçok dolaylı kayıpları da beraberinde getirmesidir (Savaşkan 2000).

### **2.2.2. Korozyon çeşitleri**

#### **2.2.2.a. Üniform korozyon**

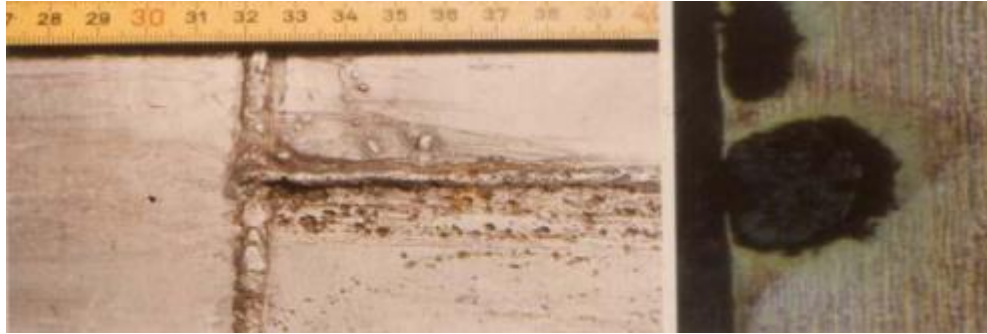
Atmosferik etmenlerin ve asidik ortamların sebep olduğu, metal yüzeyinin her noktasında et kalınlığının aynı derecede azaldığı gözlenen korozyon türüdür. Üniform korozyon bütün yüzeye dağılmış mikro korozyon hücreleri yoluyla gerçekleşir. Her metal için verilen penetrasyon değerleri üniform korozyonun söz konusu olduğu kabulüne dayanır ve mm/yıl olarak ifade edilir (Eker 2009).



**Şekil 2.3.** Üniform korozyon

### 2.2.2.b. Çukurcuk korozyonu

Özellikle paslanmaz çelik ve alüminyum gibi metallerde klorür, sıcaklık ve pH derecesinin etkisi ile oluşan korozyon türü olup anot, yüzeyin herhangi bir noktasında açılan çukurun içindeki dar bölge, katot ise çukurun çevresindeki metal alanıdır. Korozyon sonucu çukur gittikçe büyüyerek metalin kısa sürede delinmesine neden olur. Onun için çok tehlikeli bir korozyon cinsidir. Çukur, metal yüzeyindeki herhangi bir noktada anodik reaksiyon ile başlar ve birbirini doğuran reaksiyonlarla oto katalitik olarak devam eder ve çukura dolan korozyon ürünleri korozyon hızını düşürse de delinme gerçekleşir. Bu tip korozyona durgun çözeltiler içinde ve pasifleşme özelliği olan metal ve alaşımlarda sık rastlanır. Özellikle paslanmaz çeliklerde çukurcuk korozyonu yumuşak çeliklerden daha fazla görülür (Eker 2009).



Şekil 2.4. Çukurcuk korozyonu

### 2.2.2.c. Seçici korozyon

Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak alaşımdan uzaklaşması ile görülürler. En sık pirinçlerde görülür ve alaşımdaki çinko, bakırdan önce korozyona uğrayarak alaşım gözenekli bir şekil alır. Çinko ne kadar çoksa pirinç o kadar fazla korozyona uğrar. Buna mani olmak üzere alaşımda çinko %15'nin altına indirilir ve içine %1 kadar kalay ile inhibitör olarak fosfor, arsenik ve antimon ilave edilir. Seçici korozyona gri pik dökümlerde de rastlanır. Bu durumda pik yapısındaki %2-4 karbon katot, demir de anot olarak korozyona uğrar ve demir çözünürken grafit

iskelet halinde kalır. Beyaz dökme demirde karbon serbest olmadığı için seçici korozyona pek rastlanmaz. Termik santrallarda kazan besleme su depo ve boru bağlantılarında, flatörlü depolarda, tesislerin yıldırımdan korunma üniteleri ile topraklama devreleri bağlantılarındaki klemenslerde çokça rastlanır (Eker 2009).



**Şekil 2.5.** Seçici korozyon

#### **2.2.2.d. Çatlak korozyonu**

Metal yüzeyinde bulunan çatlak veya cep gibi çözeltilerin durgun halde kaldığı bölgelere oksijen transferi güçtür. Bu bakımdan bu bölgeler anot, çatlağın çevresindeki metal yüzeyleri katot olur. Çatlak korozyonunun en etkili olduğu yer, çatlağın katot bölgesine yakın olan ağız kısmı olup burada korozyon gözlenmez ancak korozyon çatlak içinde gelişir. Uygulamada mikron mertebesinde bir çatlak bile korozyonu başlatmaya yeter. Çatlak korozyonu bütün sulu çözeltiler içinde meydana gelebilir. Ancak klorürlü ortamlarda korozyon hızı çok fazladır. Korozyon olayı oluşan çukurların ağız kısımları demir hidroksit çökeltisi ile tıkanıncaya kadar hızla devam eder. Çatlak dışındaki çözeltilerin oksijen konsantrasyonu ne kadar fazla ise çatlak içindeki korozyon hızı da o derece yüksek olur. Enerji tesislerinden termik santralların denizden su alma tesislerinde, deniz yapılarındaki çelik çakma kazıklarında ve eşanjörlerde sıkça rastlanan bir korozyon tipidir (Eker 2009).



**Şekil 2.6.** Çatlak korozyonu

### **2.2.2.e. Galvanik korozyon**

Galvanik potansiyeli farklı malzemelerin birbirleri ile bağlanması sonucu görülür. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı anot olur böylece korozyon hücresi oluşur ve anot olan metal korozyona uğrar. Tesisatlarda kullanılan galvanizli boru, siyah boru ve bakır malzemelerden oluşan materyallerin birbirine bağlanması sonrasında görülür. Korozyonun ortaya çıkması için tesisatta muhakkak elektrolit olacak sıvının bulunması gerekir. Deniz kenarında ise alüminyum-bakır veya sac malzeme-paslanmaz çelikten oluşan metal bağlantılarında metal yüzeyindeki rutubet filmi, bağlantıların galvanik korozyona uğramasına sebep olur. Özellikle klor, galvanik hücre oluşumunu kolaylaştırır. Pratikte galvanik korozyona karşı, galvanik seride birbirine uzak konumda olan metallerin teması önlenmeli yani anot metali ile katot elemanı arasındaki potansiyel farkı az olmalı, iki metal arasına izole flanşla elektriksel yalıtım yapılmalı, metal yüzeyi yani katot boyanmalı, sistem kapalı ise içinde inhibitör kullanılmalı, tesisat tasarımında anot değiştirilebilir olarak düşünülmesi, anot daha kalın imal edilmeli veya sisteme her iki metalden daha anodik karakterde olan üçüncü bir metal bağlanarak katodik koruma uygulanmalıdır. Deniz kenarına yakın tesis edilmiş elektrik enerjisi yüksek gerilim tesislerindeki koruma ve topraklama devreleri bağlantılarında, hidrokarbon ileten boru hatlarında ve her türlü santrallerin hidrolik ve pnömatik devre bağlantılarında sıkça rastlanır (Weissbach 1998).



**Şekil 2.7.** Galvanik korozyon

### 2.2.2.f. Taneler arası korozyon

Bir metalin kristal yapısındaki tanelerin sınır çizgisi boyunca meydana gelen korozyondur. Özellikle eritilmiş bir metalin katılaşması veya bir ısıl işleme tabi tutulması esnasında bu tip korozyona uğrar. Tane sınırları, metalin safsızlıklarının toplanma yeri olduğundan buradaki çözünme korozyon yapar. Özellikle paslanmaz çeliklerde ısıl işlem veya kaynak esnasında çelikteki karbon ile krom, krom karbür oluşturur ve çelikte taneler arası sınırında zayıf bölgeler meydana gelir. Bunun için kromlu paslanmaz çeliklerde karbon oranı %0,03'ün altına indirilir veya çeliğe, karbona duyarlı metaller mesela titanyum ve kolombiyum karıştırılarak karbür yapılmalıdır. Alüminyum içinde bulunan demir çok az çözüldüğünden taneler arasında birikerek taneler arası korozyona sebep olur. Bu tip korozyona paslanmaz çelik boru ve malzeme kullanan her türlü santral ve tesiste rastlanabilir. Ancak oluşmaması için projelendirme, malzeme seçimi ve yapım esnasında çok titiz çalışılmalıdır (Aydın ve Bayram 2010).



**Şekil 2.8.** Taneler arası korozyon



### 2.2.2.g. Erozyonlu korozyon

Akışkan taşıyan iletkenlerin iç yüzünde, akış istikametinin tersindeki metal yapısında görülen homojensizlik sonucu iletken içinde bulunan korozif çökeltilerin etkisi ile metalin erozyona uğraması sonucunda ortaya çıkar. Bu korozyon cinsi, özgül hızına yakın debide çalışan pompa ve bağlı boru hatları bulunan her tip enerji ünitesinde ortaya çıkar. Zaman içinde titreşimli çalışan sistemlerde pasif tabaka sık sık yırtıldığı için korozyon yoğunlaşır. Bu olay akışkanın hızına bağlı olup hız düşürülerek, partikül azaltılması için sıvıda çökeltilme yapılarak veya metal katodik korunarak korozyon önlenmeye çalışılır (Demir 2008).



Şekil 2.9. Erozyonlu korozyon

### 2.2.2.h. Kaviteasyon korozyonu

Yüksek akış hızlarında kanatlardaki pürüzlülüğe bağlı olarak oluşan vakum sonucu sıvı buharlaşabilir ve sıvı içindeki gazlar ayrışır. Böylece sıvı içinde düşük basınçlı gaz kabarcıkları meydana gelir. Bu kabarcıklar hızın azaldığı metal yüzeyinde vakum etkisi ile patlayıp metalin oyulmasına neden olurlar. Bu korozyon türü, sistemde oluşan türbülanslı akış ile yinelenerek büyüyen ve erozyonlu korozyona da dönenebilen bir korozyondur. En çok termik santrallerde yüksek basınçlı kazan suyu besleme devrelerindeki pompalarda, hidrolik santrallerdeki jeneratöre akuple türbinlerde, gaz türbinli doğal gaz santrallerindeki türbin kanatlarında ve hidrokarbon boru hatlarında akışkanı ileten ana pompa ve kompresörlerinde rastlanır (Demir 2008).



**Şekil 2.10.** Kavitasyon korozyonu

### **2.2.2.i. Aşınmalı korozyon**

Aşınmalı korozyon birbiri üzerinde kayan iki yüzeyin aşınması ile birlikte ortaya çıkar. Oluşumu, iki metal yüzeyin mekanik sürtünmesinden kopan metal tozlarının oksitlenmesi ile başlar. Metal yüzeyi oksijen ile temas ettiğinde oluşan oksit filmi her harekette kazınmakta ve her defasında koruyucu film gelişmemekte böylece korozyon sürüp gitmektedir. Endüstride galvanizli sacların taşınması sırasında oluşan korozyon buna en iyi örnektir (Demir 2008).

### **2.2.2.i. Aralık korozyonu**

Aralık korozyonu, birbiri üzerinde tam oturmamış iki metal veya bir metal olmayan malzemenin ortak aralığında korozif ortamın da etkisi ile ortaya çıkar. Örneğin boru flanş bağlantı noktalarında görülen ve zamanla gevşeyen bağlantılarda oluşan bir korozyon tipidir. Civatalı direk bağlantılarında çokça görülür. Perçin ve civatalı bağlantı yerine kaynak yapılması, iki levhanın üst üste bindiği yerlerin çözelti girişine kapatılması, ortamın nemden arındırılması ile önüne geçilebilir (Demir 2008).

### **2.2.2.j. Filiform ve kabuk altı korozyonu**

Filiform korozyonu, boya veya laklı örtülerin altında metal, kaplama veya boya yapışmasının iyi olmaması sonucu, kaplamanın zayıf noktasından başlayan ve kaplama altına giren oksijen ve suyun etkisi sonucu oluşan hidrojen ve hidroksil iyonlarının sebep olduğu korozyon türüdür. Yüzeydeki bu örtü, metal korozyon ürünleri yani pas gibi kabuklaşmış bir tabaka ise kabuk altındaki rutubetten dolayı metal ara yüzeyinde başlayan kabuk altı korozyonudur. Bu durumda kabuğun alt tarafı anot, kabuk çevresi ise katot olur. Örneğin, cam pamuğu izoleli borularda örtü ıslanırsa metal yüzeylerde bu tip korozyona rastlanır (Demir 2008).

### **2.2.2.k. Yorulmalı korozyon**

Periyodik olarak basma-çekme şeklinde dinamik bir gerilme altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Yorulmuş metal ise küçük kuvvetlerde bile çatlayabilir. Yorulma ile birlikte ilerleyen korozyon, metalin daha kısa sürede parçalanmasına neden olur. Hidrolik, termik ve rüzgar enerjisi santrallerindeki metalik yapılar, ısı değiştirici ve düşürücü sistemlerindeki genleşmeli ünitelerde ve santrallerin yavaşırma romörkörlerinin pervanelerinde sıklıkla rastlanmaktadır. Bu tip korozyon, malzeme üzerine gelen gerilmenin düşürülmesi, metal yüzeyinin çinko, krom, nikel veya bakır gibi metaller ile kaplanarak korozyon etkisinin azaltılması ile etkiye değişim frekansının ve sıcaklık değişiminin indirilmesi ile azaltılabilir (Demir 2008).

### **2.2.2.l. Hidrojen gevrekliği**

Kirli atmosfer altında veya asidik ortamdaki asitlenme ile görüldüğü gibi özellikle ham petrol veya doğal gaz taşıyan borularda iletken içindeki hidrokarbonun bileşiminde ortaya çıkan serbest hidrojen atomlarının taneler arasına girip patlaması sonucu metal içinde meydana gelen derin çatlaklardır. Bu olaya aşırı katodik koruma da sebep olabilir. Hidrojen penetrasyonunu önlemek için metal yüzeyinde hidrojen çıkışına meydan verilmemelidir. Örneğin yüksek kaliteli çeliklerde, çelik alaşımına nikel ve

molibden katılmalı, katodik korumada anot potansiyelinin 2000 mV'un üzerine yükselmesine müsaade edilmemeli yani aşırı koruma yapılmamalı, özellikle çelik metalinin kaynaklı birleştirmelerinde kaynak yeri 100-150 dereceye tavlandıktan sonra işlem yapılmalıdır. Enerji tesislerinde çalışan katodik koruma ünitelerindeki koruma potansiyeli koruma kriterlerinin üzerine çıkarılmamalı ve ölçme işlemleri dikkatli yapılarak kontrol edilmelidir (Demir 2008).



**Şekil 2.11.** Hidrojen gevrekliği

#### **2.2.2.m. Biyolojik korozyon**

Yeraltı ile tuzlu veya tatlı sularda yaşayan bazı mikro organizmaları, oksijenli ve oksijensiz bölgelerde her çeşit sülfür bileşimini ve elementer kükürdü sülfat haline oksitler veya redüklerler. Böylece oluşan mikrobiyolojik korozyon sonucu meydana gelen korozyon ürünleri içinde mutlaka demir sülfür bulunur. Bu mikro organizmalar, akışkan klorlanırken, pH derecesi ve şoklama zamanı değiştirilerek ve akışkan içine çinko ve vanadyum konularak bertaraf edilebilir (Demir 2008).

#### **2.2.2.n. Gerilmeli korozyon**

Saldırgan ortamlarda temas halinde olan makine parçaları ve metal yapıların çoğu mekanik gerilmeler altındadır. Yüksek basınçlı kaplar, buhar kazanları, içten yanmalı motorların silindir gömlekleri, pompa mili ve rotoru verilebilecek çok sayıda örnekten birkaçıdır.

Korozyon parça yüzeyinde mevcut çatlaklar veya gerilme yoğunlaşmasına olanak sağlayan diğer geometrik düzensizliklerle başlar. Çatlaklar mekanik gerilmelerin büyüklüğü ve çevresel koşulların etkenliğine bağlı olarak belirli hızlarla malzeme içine doğru yürürler. Parça kesitinin mevcut yükleri taşıyamayacak ölçüde daralması sonucu ani kopmalar meydana gelir.

Gerilmeli korozyonun en önemli özelliği kimyasal ve mekanik etkilerin birbirini destekler nitelikte gelişmeleridir. Bu nedenle aynı zamana rastlamayan korozif ve mekanik etkilerin toplamı gerilmeli korozyon olarak nitelenemez (William 2001).

Gerilmeli korozyonun oluşabilmesi için gerekli koşulları şöyle özetlenebilir:

- Duyarlı bir malzeme,
- Etken bir ortam,
- Çekme gerilmesi,
- Zaman.

Gerilmeli korozyonun ilginç özelliklerinden biri malzeme ve ortam arası uyum gereksinimidir. Bu ilkenin kanıtlanabilmesi için başvurulabilecek uygun örnek pirinç ve paslanmaz çeliğin karıştırılmasıdır. Pirinç amonyum içeren ortamlarda duyarlılık gösterirken klor içeren ortamlardan hemen hemen hiç etkilenmez.

Paslanmaz çeliklerin tutumu bunun tam tersidir. Paslanmaz çelikler klor içeren ortamlarda gerilmeli korozyona uğrarlar. Buna karşın amonyum içeren ortamlarda mukavemetlidirler.

Gözlemler makine ve diğer yapılarda görülen kırılma olaylarının %22'sinin gerilmeli korozyondan kaynaklandığını göstermektedir. Bunun nedeni korozyona mukavemetli malzemelerin hemen hepsinin belirli ortamlarda duyarlılık göstermeleridir. Ortamın sıcaklığı gerilmeli korozyonun hızını artırıcı önemli bir etkidir. Genelde her ortam ve

malzeme bileşimi için bir minimum sıcaklık gereksiniminden söz etmek mümkündür. Ancak bazı malzeme ve ortam bileşimlerinde oda sıcaklığı çatlama için yeterli iken diğerlerinde ortamın kaynama sıcaklığına çıkmak gerekebilir. Genel bir yaklaşım olarak önemli malzeme-ortam bileşimlerinde 100°C ve üstünün gerilmeli korozyona yol açtığı söylenebilir (Eker 2009).

Çizelge 2.3'te çeşitli alaşımlarda gerilmeli korozyon çatlamasına yol açan ortamlar gösterilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Çeşitli alaşımlarda gerilmeli korozyon çatlamasına yol açan ortamlar

<b>Alaşım</b>	<b>Ortamlar</b>
Alüminyum alaşımları	Klorürler Nemli endüstriyel atmosferler Deniz atmosferleri
Bakır alaşımları	Amonyum iyonu Aminler
Nikel alaşımları	Sıcak derişik hidroksiller Hidroflorik asit buharı
Düşük karbonlu çelikler	Kaynar derişik hidroksiller Kaynar derişik nitratlar
Düşük alaşımlı çelikler	Klorürler
Paslanmaz çelikler (ostenitik, 300 serisi)	Kaynar klorürler Kaynar derişik hidroksiller
Paslanmaz çelikler (ferritik ve martensitik, 400 serisi)	Klorürler
Titanyum alaşımı	Klorürler, Metil alkol

Gözlemler duyarlılığın pH değerine de bağlı olduğunu göstermektedir. Gerilmeli korozyon yönünden pH değeri, malzemenin yüzeyinde kalın ve kırılğan bir oksit tabakasının oluşmasına olanak sağlayarak etkenliğini göstermektedir (William 2009).



**Şekil 2.12.** Gerilmeli korozyon

### 2.3. Alüminyum Alaşımlarında Korozyon

Düşük özgül ağırlık, elektrik ve ısıyı iyi iletme, yeterli sayılabilecek mekanik dayanım ve iyi plastik şekillendirilme kabiliyetine sahip olan alüminyum, değişik korozif ortamlarda kullanılabilir. Özellikle korozyon dayanımının arandığı durumlarda, alüminyumun saflığının %99,5'un altında olmaması gereklidir. Fakat genellikle alüminyumun mekanik özelliklerini geliştirebilmek için alaşımlama yapıldığından dolayı, alüminyum alaşımlarının korozyon direnci, saf alüminyumdan daha düşüktür. Çizelge 2.4'de bazı alüminyum alaşımlarının farklı korozyon ortamlarındaki durumları gösterilmiştir (Eker 2009).

**Çizelge 2.4.** Alüminyum ve bazı alaşımlarının farklı korozyon ortamlarındaki durumları

Korozif Ortam	Al(%99,5)	Al-Mg	Al-Cu-Mg	Kullanım Yeri
Asetilen (kuru)	1		2-3	Basınçlı tüp
Amonyak (kuru, sıvı)	1-2	1-2		Soğutma
Etan	1	1		Basınçlı tüp
Endüstri Atmosferi	2-3	2-3	3	İnşaat-Taşıtl
Deniz Atmosferi	1-2	1	3-5	Gemi İnşaatı
Benzol	1	1	1	Kap, Aparat
Benzin	1	1	1-2	Otomotiv
Destile Su	1-2	1-2		Kimya
Freon	1	1		Soğutma

**Çizelge 2.4.** (devam)

Buz	1	1	3	Soğutma
Deniz Suyu	2-3	1-2	3-5	Gemi
1= Çok dayanıklı 2= Dayanıklı 3= Az dayanıklı 4= Kabul edilebilir dayanıklılıkta 5= Dayanıksız				

Alüminyumun birçok koroziyon ortamına karşı gösterdiği direnç, mevcut koşullara bağlı olarak yüzeyinde oluşan, amorf veya kristalin alüminyum oksit tabakasından dolaydır.

Atmosferde oluşan yüzey filmi daha çok amorfudur, su ve su buharı içerisinde ise daha çok kristalin yapıda yüzey filmi oluşur. Oluşan tabaka ne kadar homojen ise, aynı koşullarda korozyon dayanımı da o kadar iyidir. Alüminyum malzemeler, atmosfer içerisinde korozyona oldukça dayanıklıdırlar.

Endüstri atmosferinde ( $SO_2$ , kir, toz) ve deniz atmosferinde otuz yıl sonrası koroziyon etkisi sonucu, alüminyum malzemedeki dayanım azalması, yaklaşık %9-13 kadardır. Eğer asit ve bazların etkisinde özel bir durum yoksa tahribat homojen olarak gelişir ve oksit tabakasında eşit kalınlıkta azalma olur.

Klorür iyonları içeren çözeltilerde, çukurcuk korozyonu meydana gelir. Oksit tabakasının tam olarak oluşmadığı ya da gözeneklerin mevcut olması halinde de, bölgesel tahribata rastlanılabilir (William 2001).

Çökeltme kabiliyetli alaşımlarda, daha çok taneler arası korozyon görülür. Tane sınırlarında yığılma yapan çökeltiler, tane yüzeyi üzerine nazaran genellikle soy olmayan potansiyele sahiptir ve bundan dolayı, buralardan çözülme olur. Alüminyum-bakır alaşımlarındaki çökeltiler matrise nazaran daha soy olduğu için, katı çözeltinin



tane sınırı bölgesinde bakır azalması üzerine, taneler arası korozyon meydana gelir. Isıl işlem yapılırsa, çökelmelerin olumsuz etkisi daha az olur.

Alüminyum malzemelerin korozyon şartları, anodik olarak oksidasyonla (anoksirleme, eloksal yapma ile) doğal korumadaki oksit tabakasının kalınlığı 10 µm ila 30 µm değerine arttırılarak, iyileştirilebilir. Bunun için, eloksal yapılacak parçalar, daha çok sülfirik asitli elektrolitik içerisinde doğru akım altında işlem görürler. Anot olarak bağlanan parçalarda meydana gelen oksijen, alüminyumla reaksiyon yapar ve oksit tabakası teşekkül ettirilir. Elokshal işlemi, yalnızca kimyasal dayanımı iyileştirmez, ayrıca oksit tabakasının yüksek sertliğinden dolayı, aşınma direncini de yükseltir (Aydın 2010).

Al-Mg alaşımları alkali ve tuz içeren korozyon ortamlarına karşı saf alüminyumdan daha dayanıklıdır. Fakat bu her durumda geçerli değildir. Artan magnezyum miktarıyla birlikte, taneler arası korozyona ve gerilim çatlakları korozyonuna eğilim artar. Özellikle %5'den fazla Mg içeren alaşımlarda bu durum oluşabildiğinden, bugün teknikte kullanılan alaşımlarda magnezyumun üst sınırı %5,5 kadardır. Taneler arası korozyonun sebebi, tane sınırı çökmesidir (β- fazı). Bu durum, düşürülmüş magnezyum miktarında, mangan (%1'e kadar) ilavesiyle dengelenebilir. Al-Mg-Mn gibi alaşımlar, öncelikle gemi yapımında ve özellikle çatı kaplamalarında kullanılır. Mangan ilavesi sonucunda, klorür iyonu içeren ortamlara karşı korozyon direnci artar. Alüminyum-mangan alaşımları da, doğal sertlikteki alüminyum malzemelerdir. %0,8-1,5 mangan içeren alaşımlarının korozyon dayanımı ve işlenebilirliği, saf alüminyum gibidir. Fakat daha yüksek mekanik dayanıma sahiptirler.

Çökelmeyle sertleşebilir alaşımlarından olan Al-Cu-Mg alaşımları (%2,8-4,8 Cu ve %0,4-1,8 Mg), yüksek dayanımları nedeniyle taşıt ve uçak yapımında kullanılırlar. Korozyon dayanımları, birçok alüminyum alaşımından daha düşüktür. Deniz suyuna karşı dayanıklılığı garanti edilemez. Homojenleştirme sıcaklığından çok hızlı soğutulur (en az 400°C/s hızda) ve ardından yaşlandırma yapılırsa korozyon dayanımı

arttırılabilir. Yavaş soğutma ve yaşlandırma yapıldığında meydana gelen çökelmeler, taneler arası korozyona ve gerilim çatlakları korozyonuna sebep olurlar.

Al-Zn-Mg alaşımları, orta dayanımlı ve çökelmeyle sertleştirilebilir konstrüksiyon malzemeleridir. Al-Cu-Mg alaşımlarına nazaran daha iyi korozyon dayanımı gösterirler, fakat korozyon dayanımı Al-Mg ve Al-Mg-Si alaşımlarına nazaran daha azdır. Atmosferik koşullarda, alaşımı koruyan siyah kaplama tabakası oluşur. Buna karşılık, su buharı Al-Zn-Mg alaşımlarında şiddetli korozyona neden olur. Gerilmeli korozyona da eğilimi vardır. Korozyona duyarlılık, yükselen Mg ve Zn miktarıyla artar. Genel olarak, gerilmeli korozyon hasarını önlemek için, toplam alaşım miktarının %5-6'yı aşmaması gerekir. Daha yüksek alaşım miktarlarında, %0,1-0,15 krom ilavesi, gerilmeli korozyonu azaltır.

Al-Zn-Mg-Cu alaşımları yüksek dayanımlı, sertleşebilir alaşımlardır. Al-Cu-Mg alaşımlarında olduğu gibi öncelikli olarak mekanik özelliklerinden dolayı kullanılırlar. Kullanım yerlerine örnek olarak, madencilik sektörü, uçak ve makine imalatı verilebilir. Al-Zn-Mg alaşımlarında olduğu gibi, %0,1-0,3 krom ilavesi, gerilmeli korozyona karşı eğilimi azaltır (Eker 2009).

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

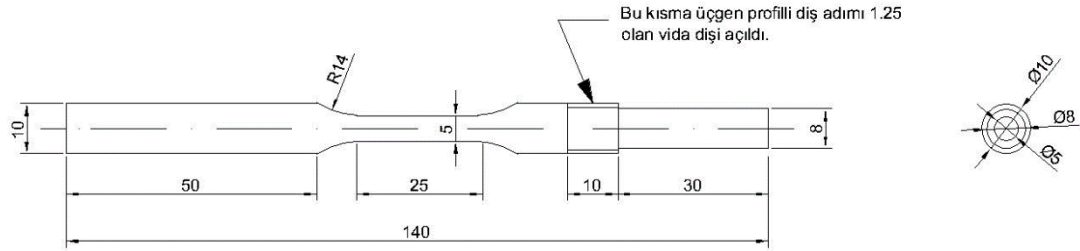
#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1. Alüminyum alaşımları

Bu çalışma kapsamında üç farklı alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Bu alaşımlar AA 2024, AA 6061 ve AA7075 olup, günümüz teknolojisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Malzemelere ait birtakım kimyasal ve mekanik veriler Çizelge 2.1’de görülebilir.

##### 3.1.2. Çekme deney numuneleri

Deneyleer kapsamında üç farklı alüminyum malzemeden imal edilmiş ve aşağıda Şekil 3.1’de teknik resmi verilen çekme deney numuneleri kullanılmıştır.



Ölçüler mm. cinsindedir.

Yüzeylerin max. pürüzlülüğü: Ra=0,4 µm

Yüzeylerin min. pürüzlülüğü: Ra=0,5 µm

İmalat işlemi: Tomalama

Şekil 3.1. Çekme deney numunesi

##### 3.1.3. Korozyon hücresi

Deneyleer kapsamında numuneler dört farklı ortamda teste tabi tutulmuştur. Korozyon hücresi test çözeltilerinin konulduğu hücredir. Uygun standartlar gereği (ASTM),

numunenin çözelti ile temas ettiği yüzey alanı dikkate alındığında yaklaşık 1 lt hacme sahip bir korozyon hücresi tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Deneylede kullanılan korozyon hücresi Şekil 3.2’de görülmektedir.



**Şekil 3.2.** Korozyon hücresi

#### **3.1.4. Çekme test cihazı**

Deney numunelerine uygun hızda gerilme uygulayarak, gerilmeli korozyon koşullarını oluşturan test cihazıdır. Bu cihaz üniversal çekme test cihazıdır ve cihaz sayesinde malzemeye ait mekanik özellikler elde edilmektedir. Deneylede kullanılan çekme test cihazının fotoğrafı Şekil 3.3’te verilmiştir.



**Şekil 3.3.** Çekme test cihazı

### **3.1.5. Çözeltiler**

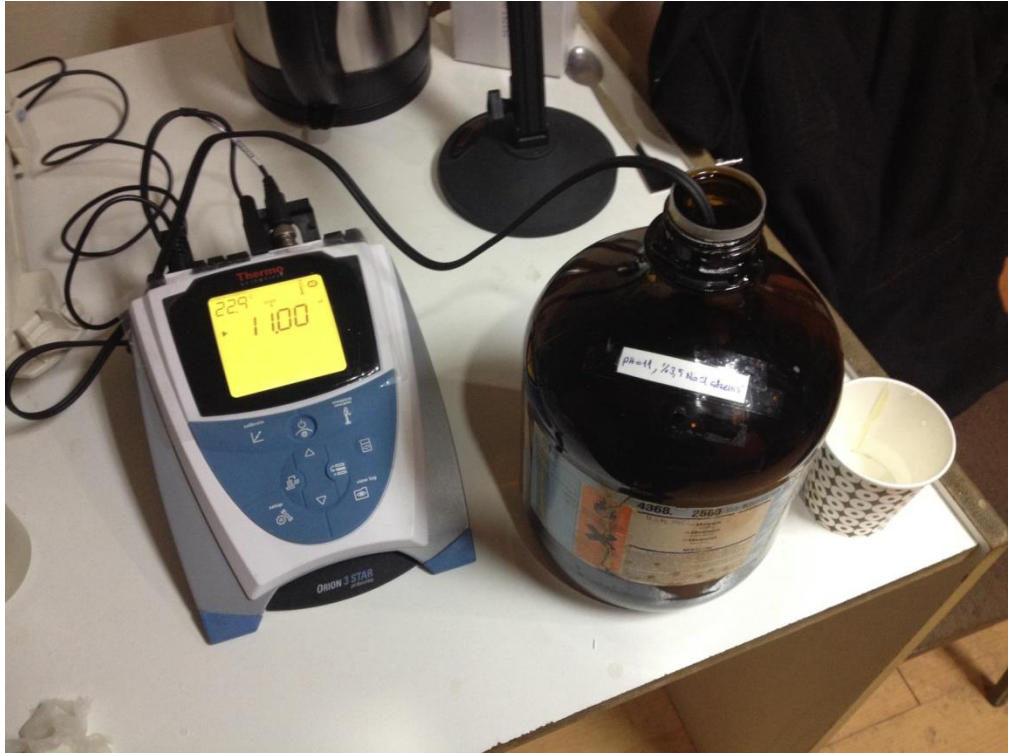
Tez kapsamında dört farklı ortamda deneyler yapılmıştır. Bu ortamlar sırasıyla;

1. Hava ortamı,
2. %3,5'luk NaCl çözeltisi,
3. pH=2 olan %3,5'luk NaCl çözeltisi,
4. pH=11 olan %3,5'luk NaCl çözeltisi,

pH=2 ve pH=11 olan %3,5 NaCl olarak hazırlanmış çözeltilerin fotoğrafları sırasıyla Şekil 3.4 ve 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.4. pH=2 olan %3,5'luk NaCl çözeltisi



Şekil 3.5. pH=11 olan %3,5'luk NaCl çözeltisi

### 3.1.6. Diğer malzemeler

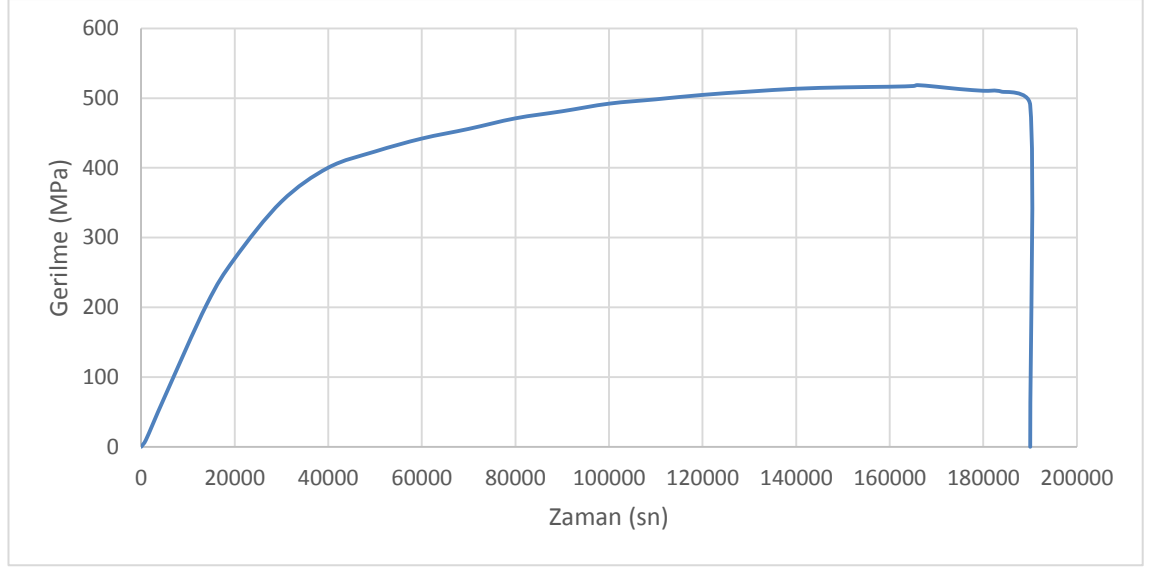
1. Çözelti hazırlarken tartım yapmaya yarayan, hassas terazi,
2. Çözelti hazırlamak için balon joje,
3. pH ölçmek için pH-metre,
4. NaOH, HCl ve NaCl kimyasalları

### 3.2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında SSRT (slow strain rate test) (yavaş deformasyon hızı testi) yöntemi kullanılmıştır. Deney numunesine uygulanan SSRT testi, ASTM G 129 00 numaralı uluslararası standartlara uygun olarak yapılmıştır. Bu kapsamda standardın göstermiş olduğu aralıktaki çekme hızı ( $10^{-4}$  ile  $10^{-7}$  1/s), asgari çözelti miktarı (minimum  $30 \text{ ml/cm}^2$ ) ve asgari numune ölçüleri (minimum uzunluk 100 mm.) standardın belirlemiş olduğu değerler bütünlüğüyle takip edilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Kısaca SSRT metodunu özetleyecek olursak; standart numuneyi, belli bir aralıktaki çekme hızı (çekme hızı çok küçük değerlerdir ve bu çalışma kapsamında numune  $0,002 \text{ mm/dak.}$  ve numunenin gösterge uzunluğu (gauge length) dikkate alındığında  $1,33 \times 10^{-6}$  1/s uzama oranına sahip çekme hızı ile test edilmiştir) ile, yine standardın belirlediği asgari çözelti miktarı (numunenin çözelti ile temas eden yüzey alanı dikkate alındığında 1 lt. kadar çözelti kullanılması uygun görülmüştür) kullanılarak, bir korozyon hücresi içerisinde bulunan alüminyum alaşım malzemesinin, bu çekme hızı ve farklı çözelti ortamlarında oluşan gerilme altında, gerilmeli korozyon direncini tespit etme çalışmasıdır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

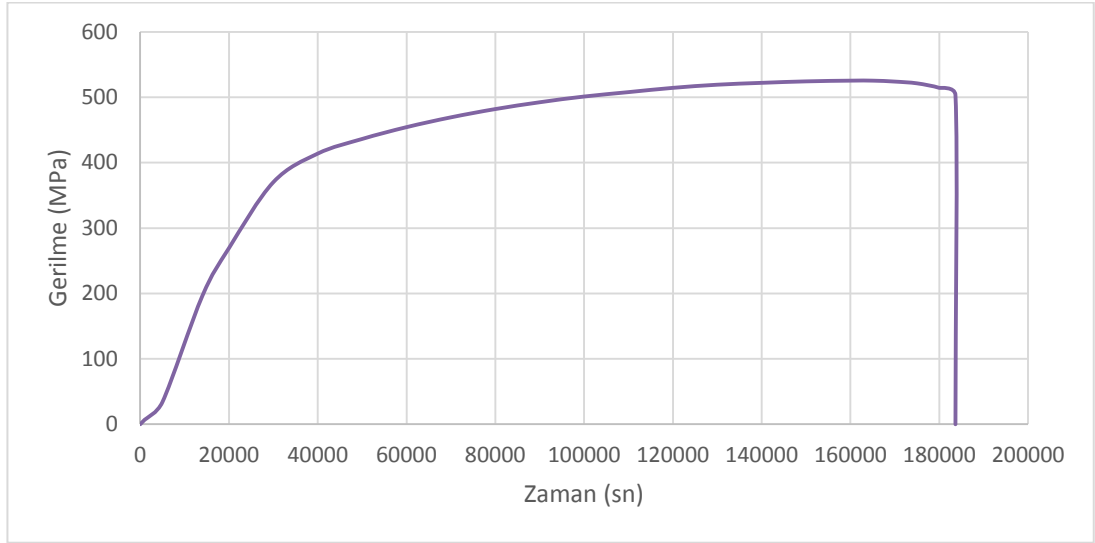
### 4.1. AA 2024 Alüminyum Alaşımlarına İlişkin Sonuçlar



**Şekil 4.1.** AA 2024 alüminyum alaşımının hava ortamındaki SSRT test sonucu

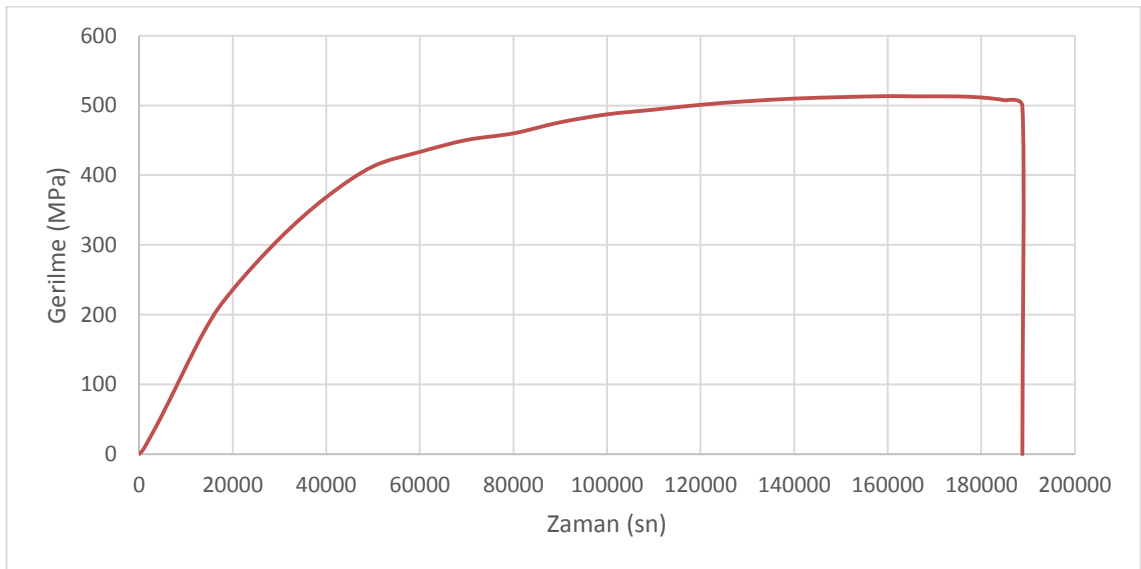
AA 2024 alüminyum alaşımı, hava ortamında SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.1’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 510,5 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 52,8 saat olarak elde edilmiştir.





**Şekil 4.2.** AA 2024 magnezyum alaşımasının asidik ortamda SSRT test sonucu

AA 2024 alüminyum alaşımı, asidik ortamda SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.2’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 503,4 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 51 saat olarak elde edilmiştir.



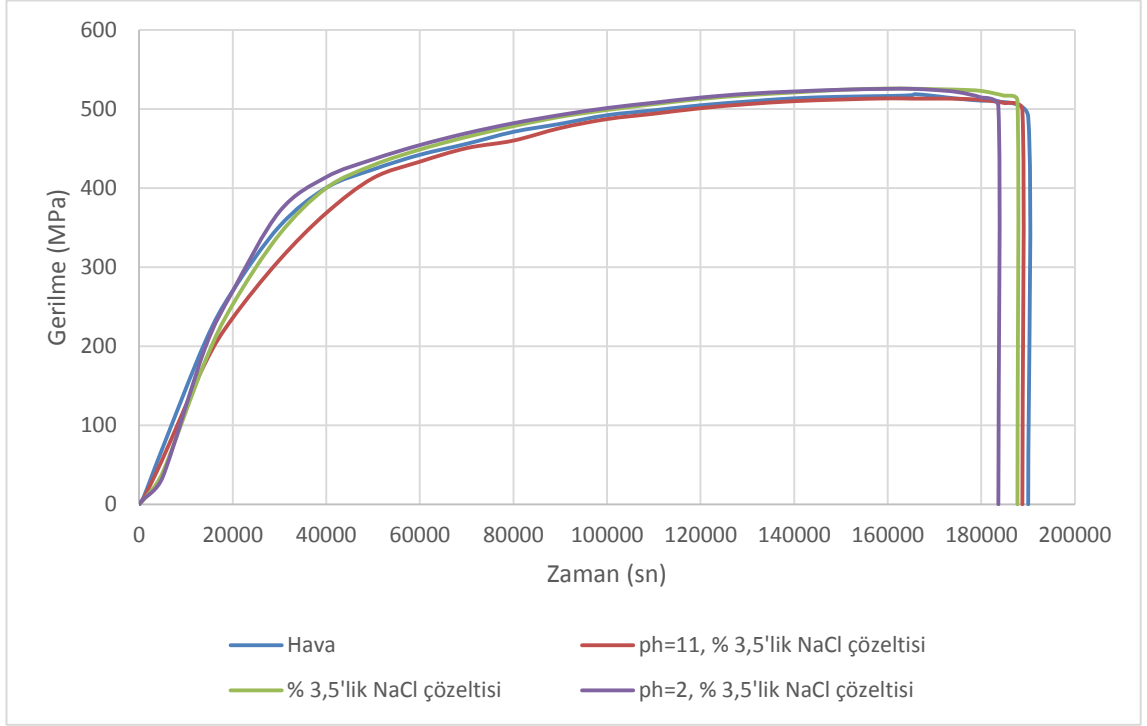
**Şekil 4.3.** AA 2024 alüminyum alaşımasının bazik ortamda SSRT test sonucu

AA 2024 alüminyum alaşımı, bazik ortamda SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.3’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 507,3 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 52,4 saat olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.4.** AA 2024 alüminyum alaşımının %3,5 NaCl ortamındaki SSRT test sonucu

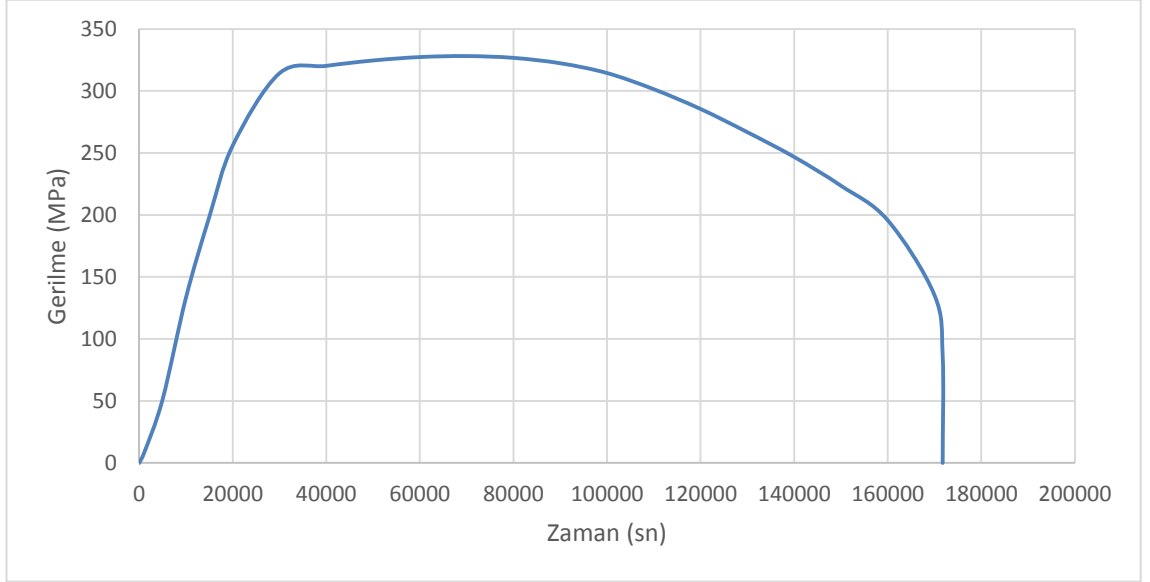
AA 2024 alüminyum alaşımı, nötr %3,5 NaCl ortamında SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.4’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 506,6 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 52,2 saat olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.5.** AA 2024 alüminyum alaşımının değişik ortamlardaki SSRT test sonuçları

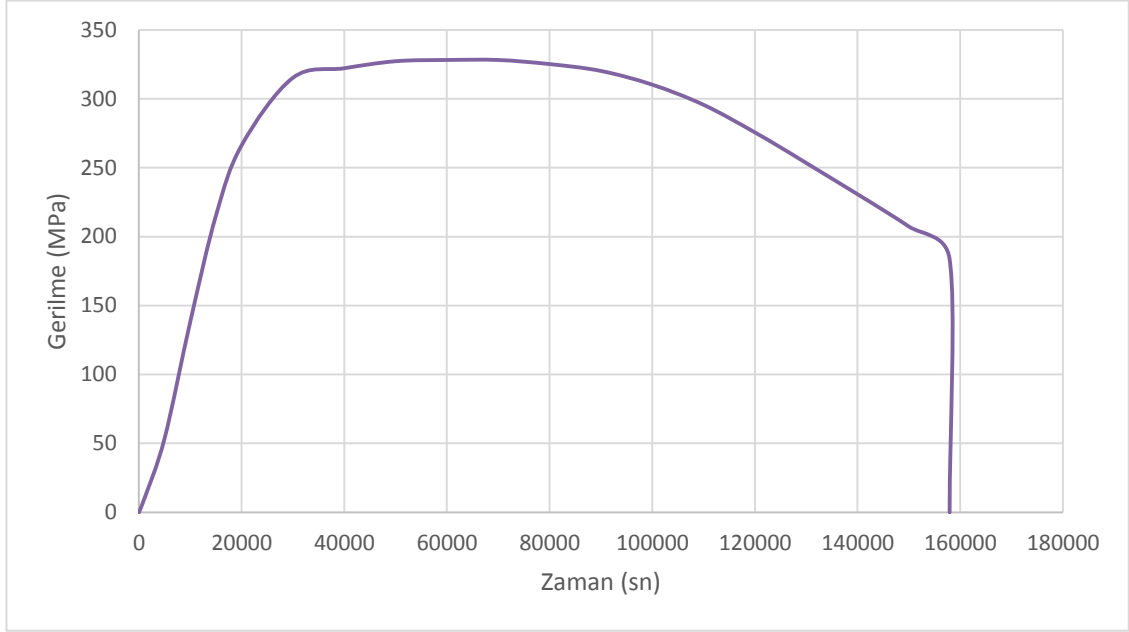
Şekil 4.5’de AA 2024 alüminyum alaşımının değişik ortamlardaki SSRT sonuçları verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, pH=2 olan çözelti içerisinde numunenin kırılma süresi 51 saat iken, pH=11 olan çözelti içerisinde numunenin kırılma süresi 52,4 saat ve nötr ortamdaki %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde kırılma süresi 52,2 saattir. Dolayısıyla ortamın asitlik düzeyi arttıkça AA 2024 alüminyum alaşımının kırılma süresi azalmıştır.

#### 4.2. AA 6061 Alüminyum Alaşımlarına İlişkin Sonuçlar



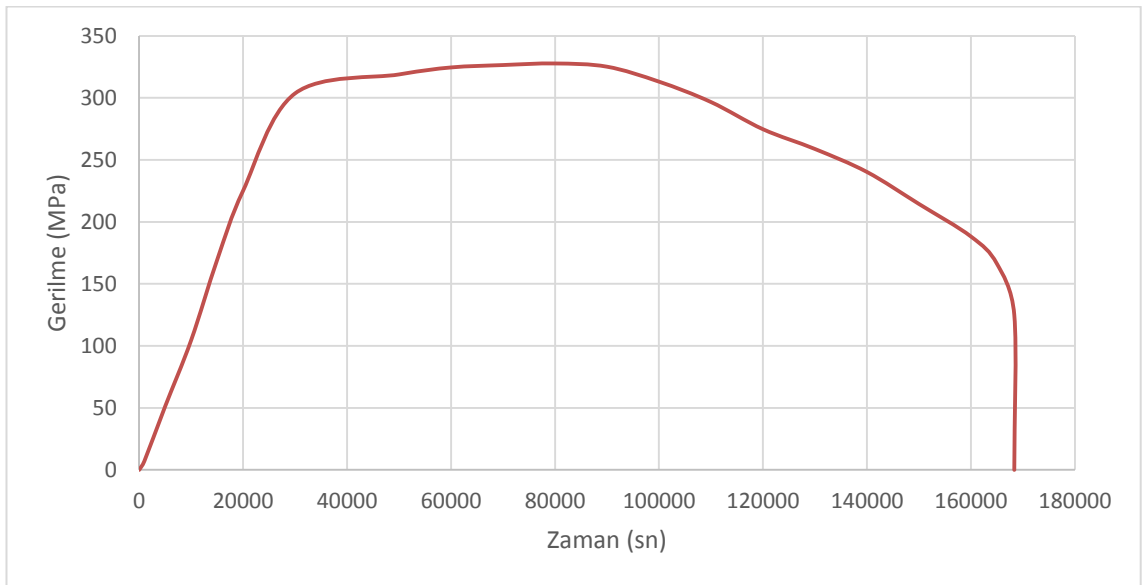
**Şekil 4.6.** AA 6061 alüminyum alaşımının hava ortamındaki SSRT test sonucu

AA 6061 alüminyum alaşımı, hava ortamında SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.6'da verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 223,8 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 47,7 saat olarak elde edilmiştir.



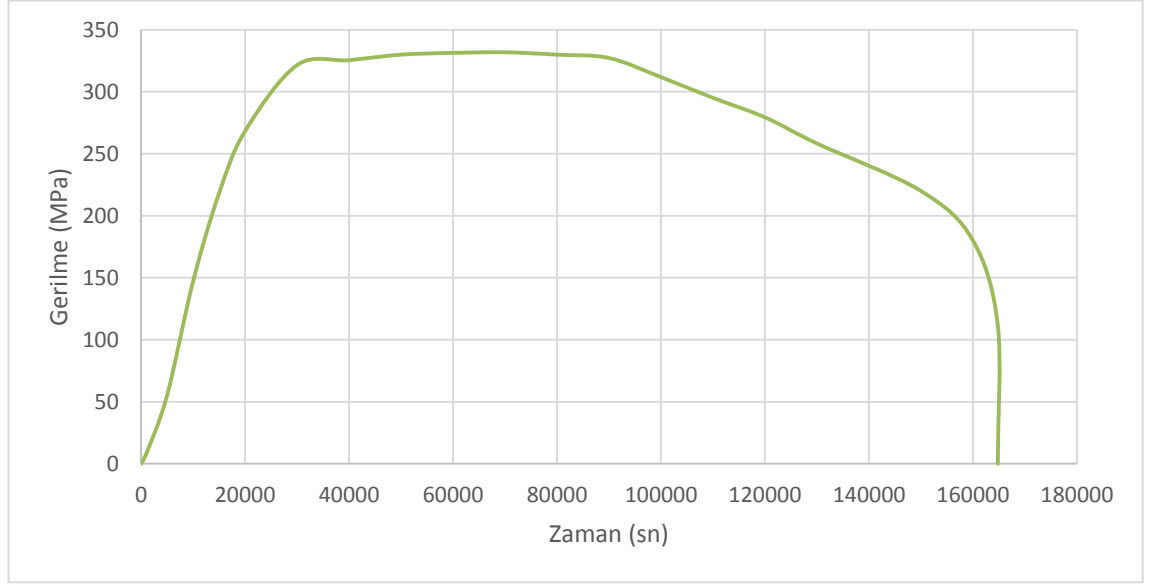
**Şekil 4.7.** AA 6061 alüminyum alaşımının asidik ortamda SSRT test sonucu

AA 6061 alüminyum alaşımı, asidik ortamda SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.7’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 183,7 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 43,9 saat olarak elde edilmiştir.



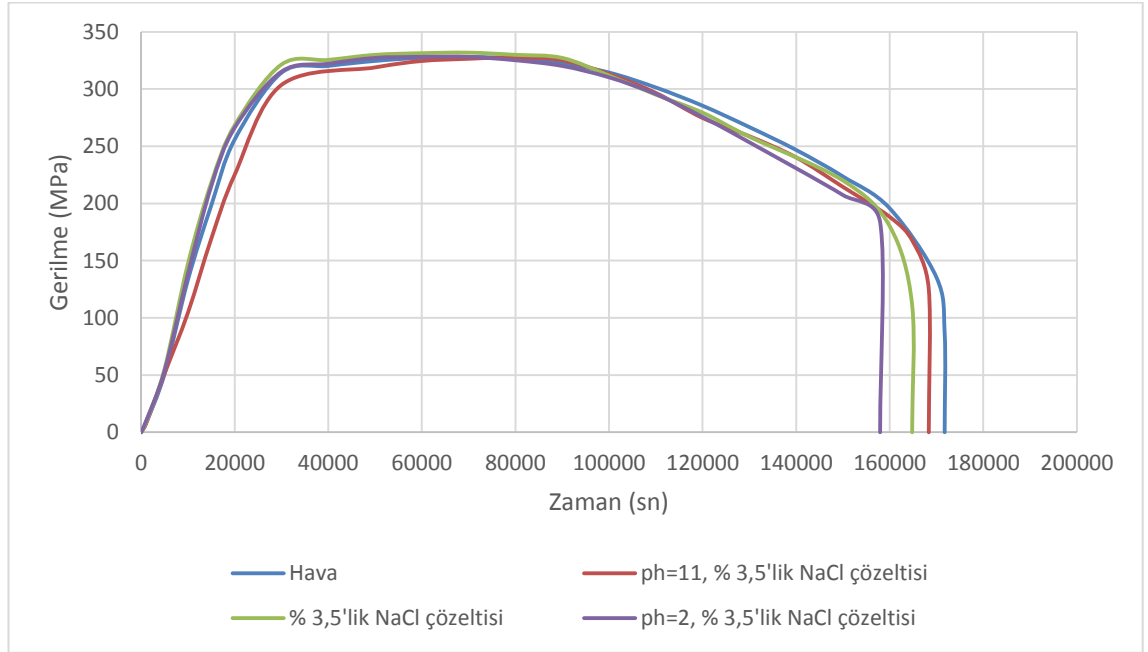
**Şekil 4.8.** AA 6061 alüminyum alaşımının bazik ortamda SSRT test sonucu

AA 6061 alüminyum alaşımı, bazik ortamda SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.8’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 188,3 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 46,8 saat olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.9.** AA 6061 alaşımının %3,5 NaCl ortamındaki SSRT gerilme-zaman grafiği

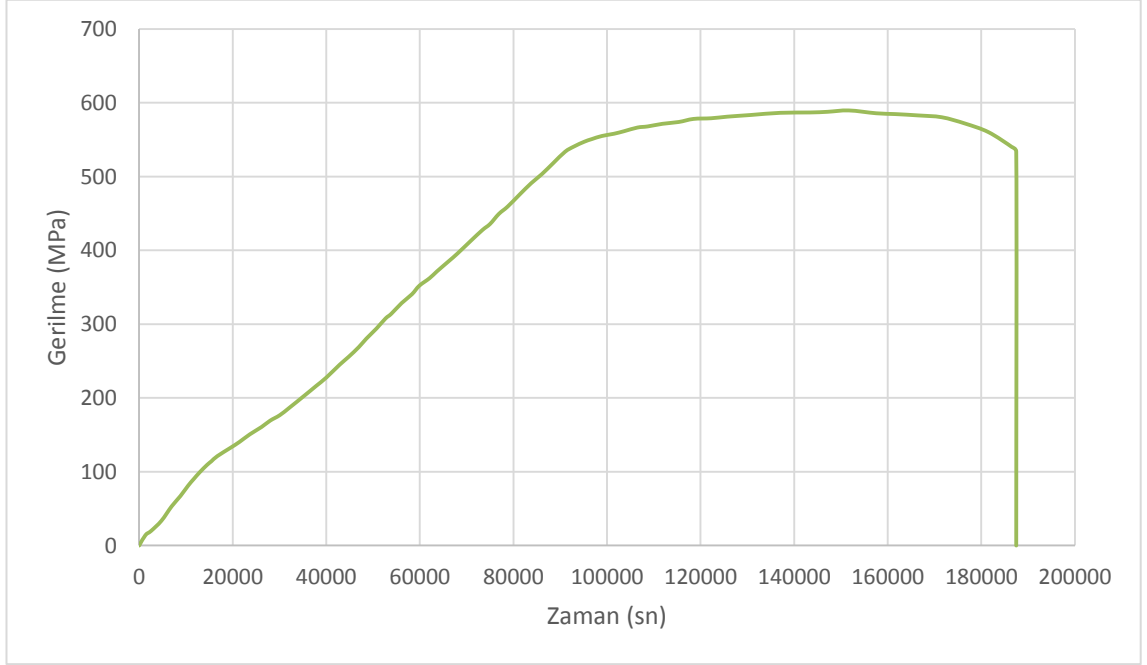
AA 6061 alüminyum alaşımı, nötr %3,5 NaCl ortamında SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.9’da verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 184,1 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 45,8 saat olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.10.** AA 6061 alüminyum alaşımının değişik ortamlarda SSRT test sonuçları

Şekil 4.10'da AA 6061 alüminyum alaşımının değişik ortamlardaki SSRT sonuçları verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, pH=2 olan çözelti içerisinde numunenin kırılma süresi 43,9 saat iken, pH=11 olan çözelti içerisinde numunenin kırılma süresi 46,8 saat ve nötr ortamdaki %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde kırılma süresi 45,8 saattir. Dolayısıyla ortamın asitlik düzeyi arttıkça AA 2024 alüminyum alaşımının kırılma süresi azalmıştır.

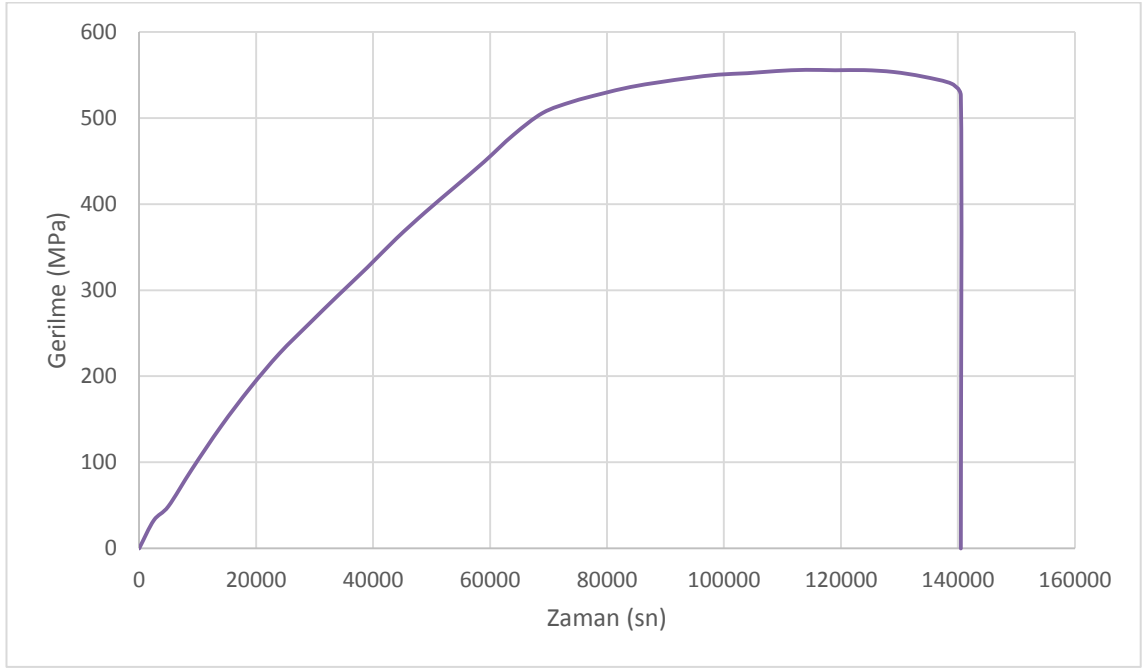
### 4.3. AA 7075 Alüminyum Alaşımlarına İlişkin Sonuçlar



**Şekil 4.11.** AA 7075 alüminyum alaşımının hava ortamındaki SSRT test sonucu

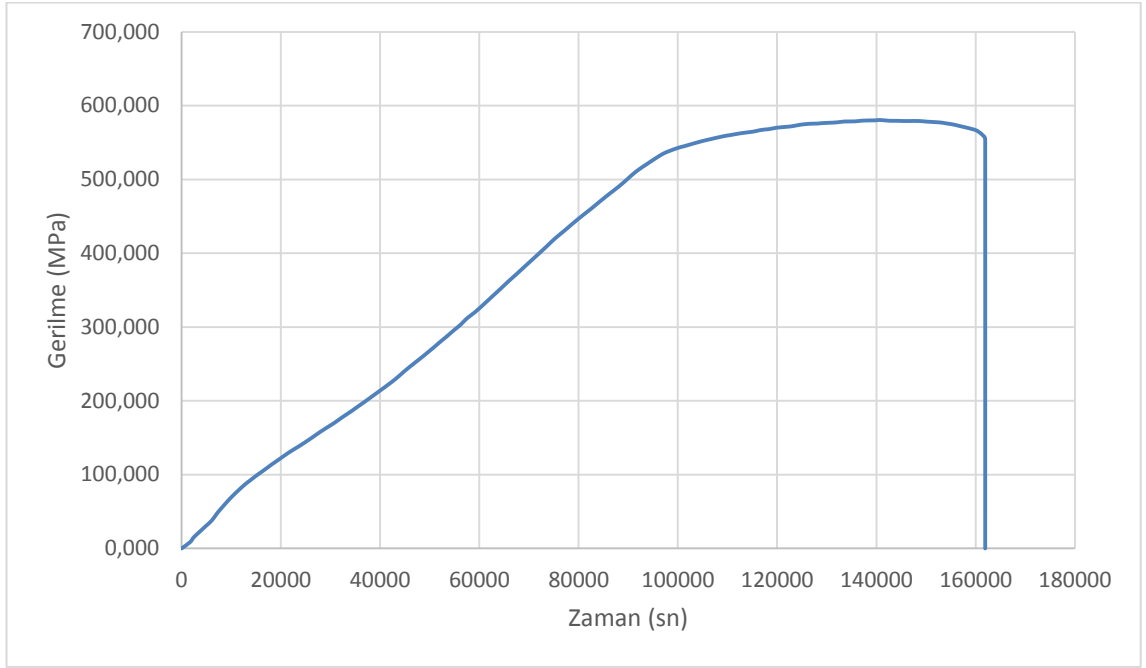
AA 7075 alüminyum alaşımı, hava ortamında SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.11’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 586,8 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 52,1 saat olarak elde edilmiştir.





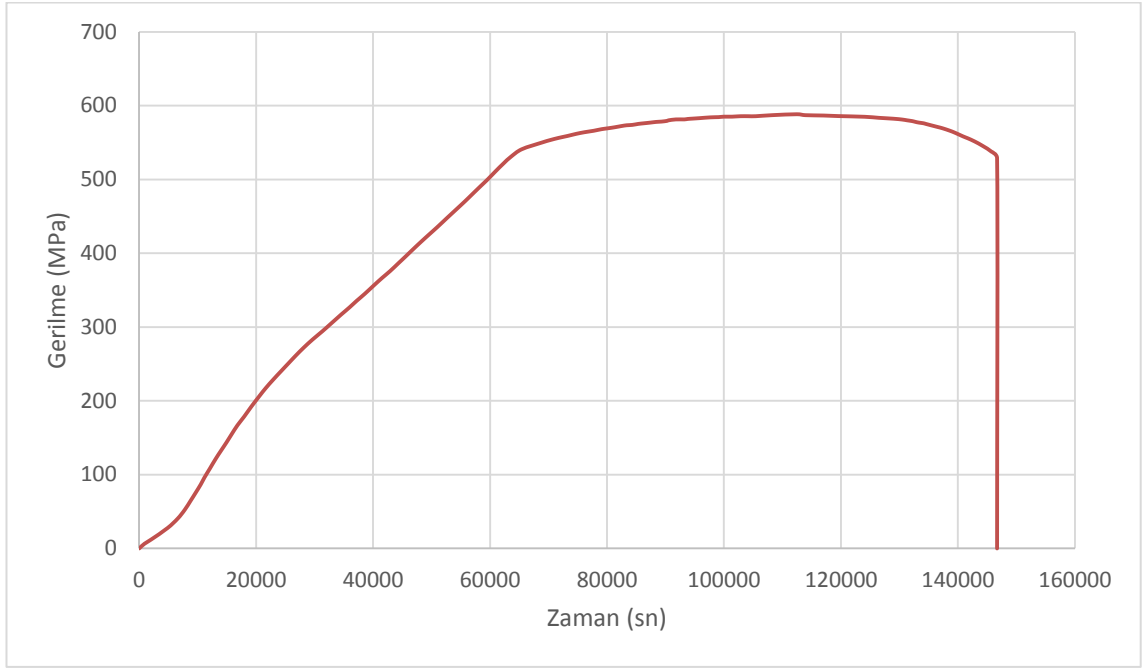
**Şekil 4.12.** AA 7075 alüminyum alaşımının asidik ortamda SSRT test sonucu

AA 7075 alüminyum alaşımı, asidik ortamda SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.12’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 526,1 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 39 saat olarak elde edilmiştir.



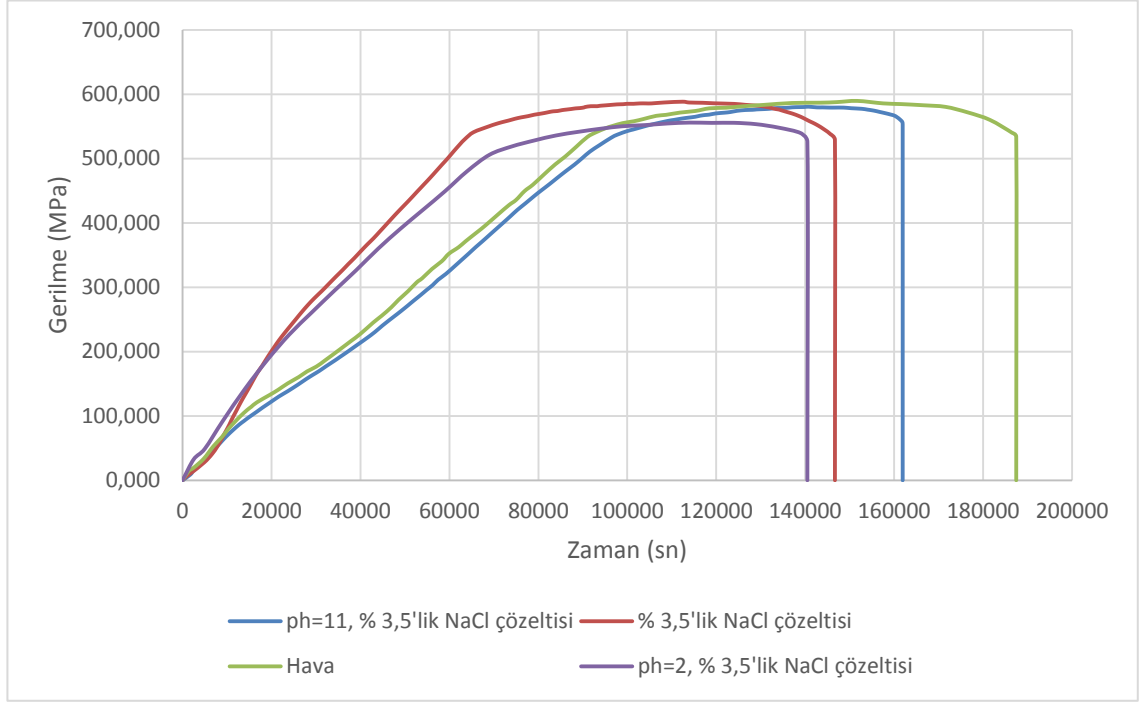
**Şekil 4.13.** AA 7075 alüminyum alaşımının bazik ortamda SSRT test sonucu

AA 7075 alüminyum alaşımı, bazik ortamda SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.13’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 580,6 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 45 saat olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.14.** AA 7075 alüminyum alaşımının %3,5 NaCl ortamındaki SSRT test sonucu

AA 7075 alüminyum alaşımı, nötr %3,5 NaCl ortamında SSRT deneyine tabi tutulmuş ve yapılan deney sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.14'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi kopma mukavemeti yaklaşık 558,4 MPa ve kırılma süresi yaklaşık olarak 40,8 saat olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.15.** AA 7075 alüminyum alaşımının değişik ortamlarda SSRT test sonuçları

Şekil 4.5'de AA 7075 alüminyum alaşımının değişik ortamlardaki SSRT sonuçları verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, pH=2 olan çözelti içerisinde numunenin kırılma süresi 39 saat iken, pH=11 olan çözelti içerisinde numunenin kırılma süresi 45 saat ve nötr ortamdaki %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde kırılma süresi 40,8 saattir. Dolayısıyla ortamın asitlik düzeyi arttıkça AA 2024 alüminyum alaşımının kırılma süresi azalmıştır.

#### 4.4. Ortamların Alüminyum Alaşımının Gerilmeli Korozyon Direncine Etkileri

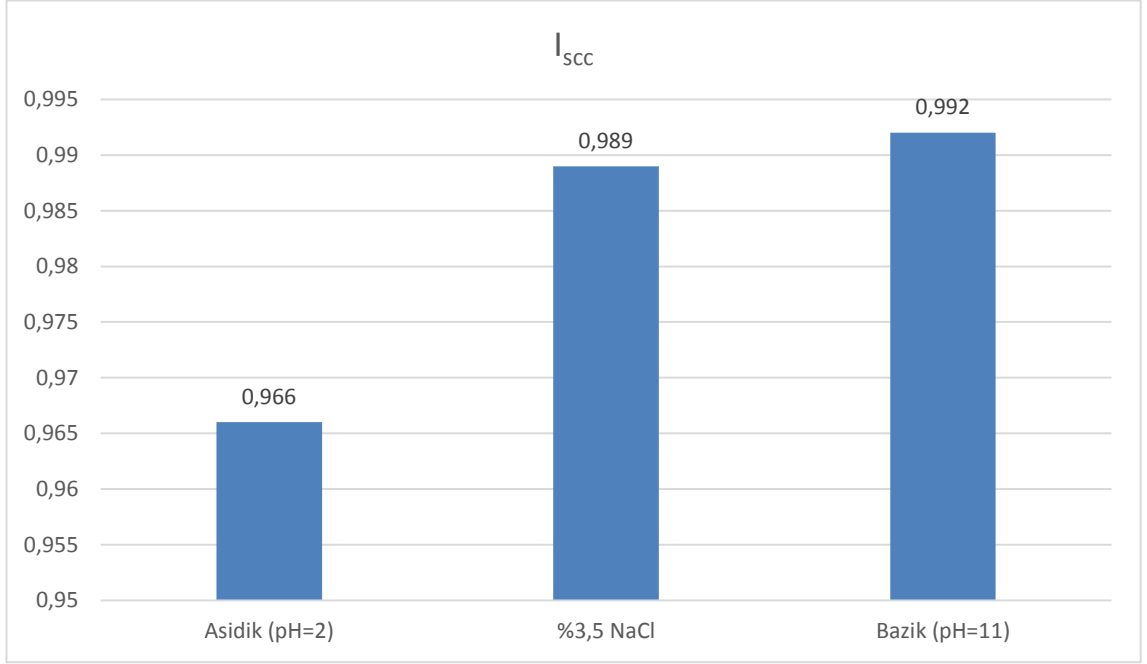
Malzemelerin gerilmeli korozyon dirençleri, gerilmeli korozyon indeksleri ( $I_{sc}$ ) bulunarak belirlenmektedir. Aşağıda değişik ortamlarda AA 2024, AA 6061, AA 7075 alüminyum alaşımının gerilmeli korozyon dirençleri bulunmuştur.

#### 4.4.1. AA 2024 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri

AA 2024 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri çizelge 4.1 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Görüldüğü gibi, AA 2024 alüminyum alaşımının %3,5'lük NaCl çözeltisi içerisindeki SSRT testleri sonucunda, gerilmeli korozyon indeksi ( $I_{sc}$ ) en düşük asidik (pH=2 olan) ortamda ve en yüksek bazik (pH=11 olan) ortamda elde edilmiştir. AA 2024 alüminyum alaşımının belirtilen ortamların üçünde de gerilmeli korozyona karşı hassasiyete sahip olduğu ve gerilmeli korozyon direncinin en az olduğu ortamın asidik ortam, gerilmeli korozyon direncinin en yüksek olduğu ortamın ise bazik ortam olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.1.** AA 2024 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri

		Kırılma süreleri (saat)	$I_{sc}$
AA 2024	Hava	52,8	
	Asidik (pH=2)	51	0,966
	%3,5 NaCl	52,2	0,989
	Bazik (pH=11)	52,4	0,992



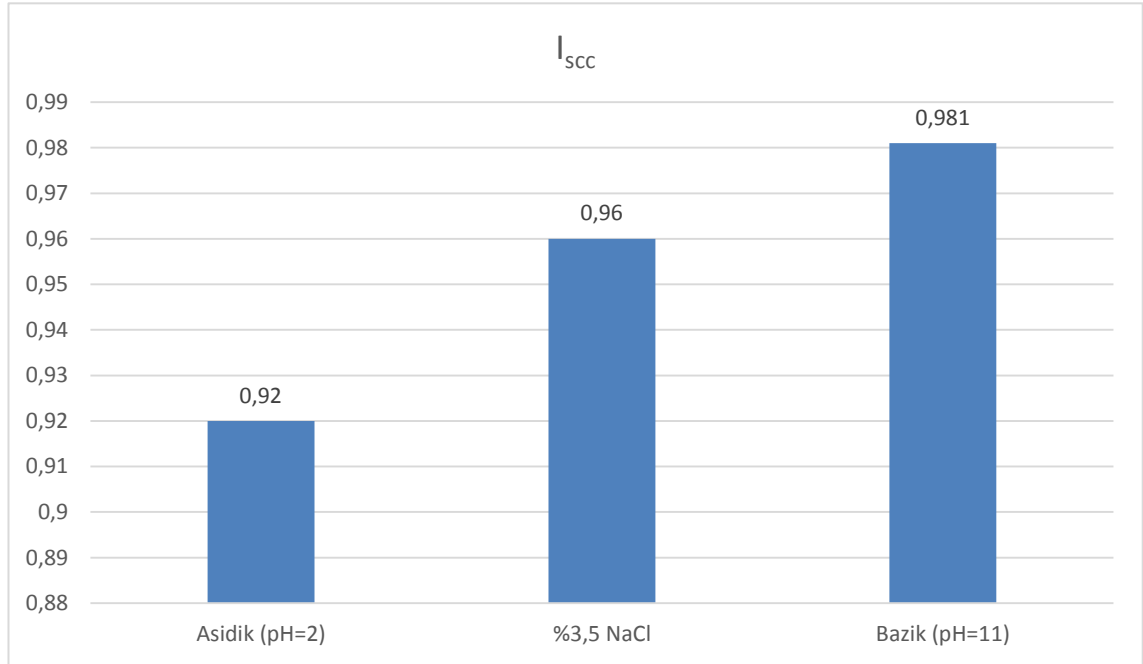
**Şekil 4.16.** AA 2024 alüminyum alaşımının gerilmeli korozyon indekslerinin grafik gösterimi

#### 4.4.2. AA 6061 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri

AA 6061 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri Çizelge 4.2 ve Şekil 4.17'de verilmiştir. Görüldüğü gibi AA 6061 alüminyum alaşımının %3,5'luk NaCl çözeltisi içerisindeki SSRT testleri sonucunda, gerilmeli korozyon indeksi ( $I_{scc}$ ) en düşük asidik (pH=2 olan) ortamda ve en yüksek bazik (pH=11 olan) ortamda elde edilmiştir. AA 2024 alüminyum alaşımının belirtilen ortamların üçünde de gerilmeli korozyona karşı hassasiyete sahip olduğu ve gerilmeli korozyon direncinin en az olduğu ortamın asidik ortam, gerilmeli korozyon direncinin en yüksek olduğu ortamın ise bazik ortam olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.2.** AA 6061 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri

AA 6061		Kırılma süreleri (saat)	$I_{sc}$
	Hava	47,7	
Asidik (pH=2)	43,9	0,920	
%3,5 NaCl	45,8	0,960	
Bazik (pH=11)	46,8	0,981	

**Şekil 4.17.** AA 6061 alüminyum alaşımının gerilmeli korozyon indekslerinin grafik gösterimi

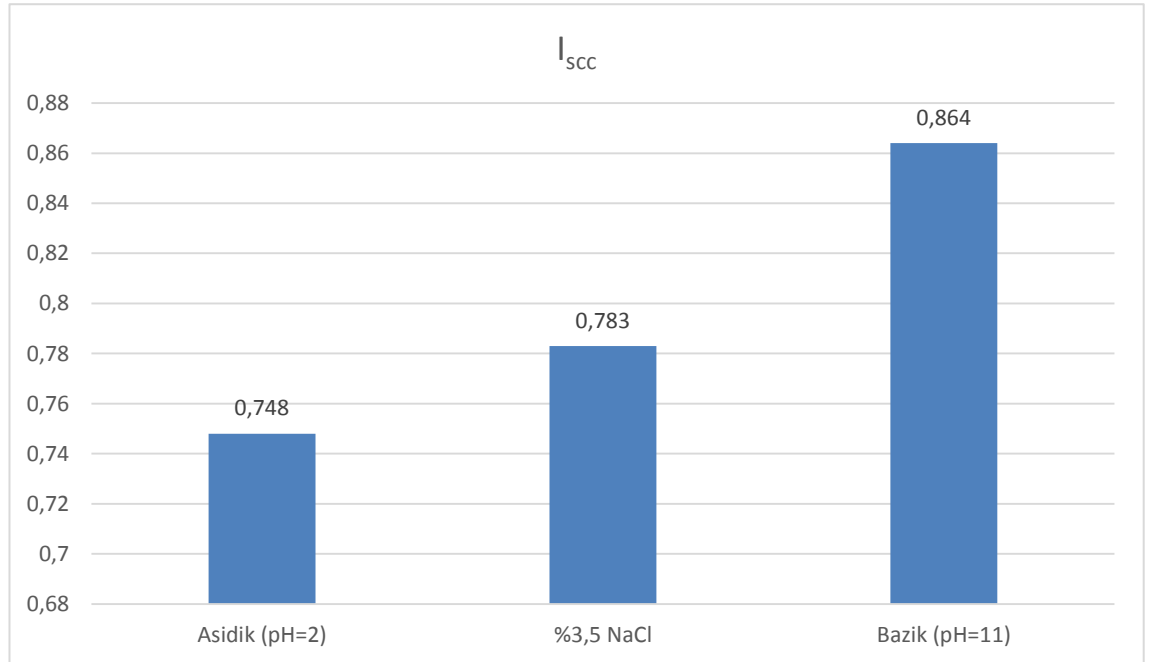
#### 4.4.3. AA 7075 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri

AA 7075 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri Çizelge 4.3 ve Şekil 4.18'de verilmiştir. Görüldüğü gibi AA 7075 alüminyum alaşımının %3,5'luk NaCl çözeltisi içerisindeki SSRT testleri sonucunda, gerilmeli korozyon indeksi ( $I_{sc}$ ) en düşük asidik (pH=2 olan) ortamda ve en yüksek bazik (pH=11 olan) ortamda elde

edilmiştir. AA 7075 alüminyum alaşımının belirtilen ortamların üçünde de gerilmeli korozyona karşı hassasiyete sahip olduğu ve gerilmeli korozyon direncinin en az olduğu ortamın asidik ortam, gerilmeli korozyon direncinin en yüksek olduğu ortamın ise bazik ortam olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.3.** AA 7075 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indeksleri

AA 7075		Kırılma süreleri (saat)	$I_{sc}$
	Hava	52,1	
Asidik (pH=2)	39	0,748	
%3,5 NaCl	40,8	0,783	
Bazik (pH=11)	45	0,864	

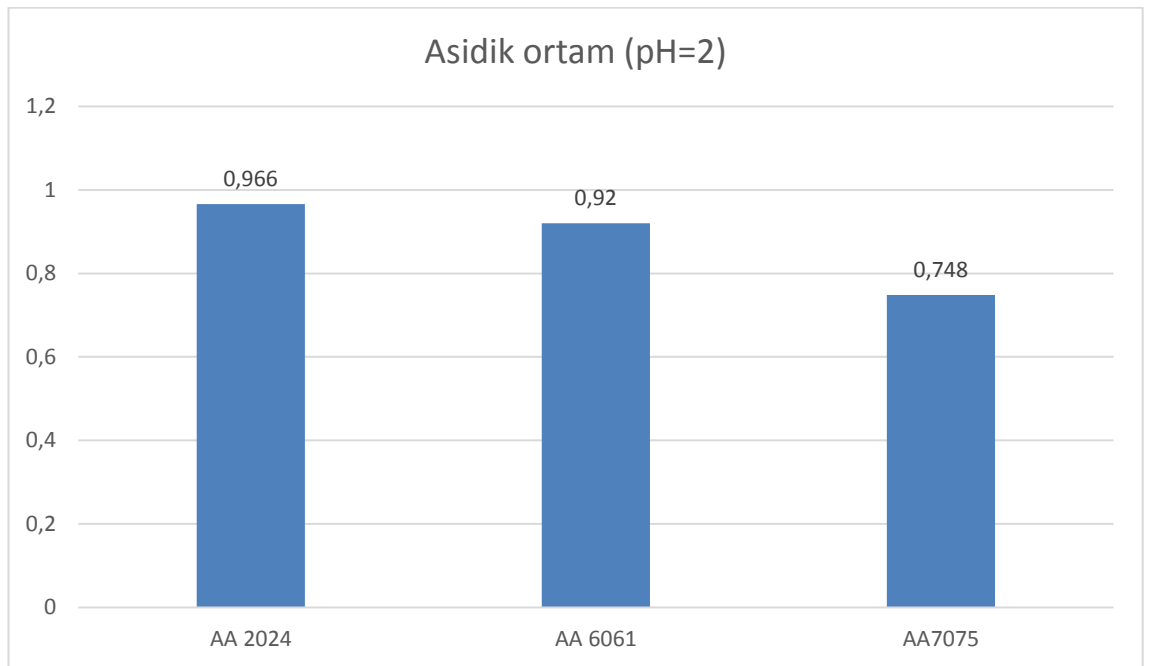


**Şekil 4.18.** AA 7075 alüminyum alaşımının gerilmeli korozyon indekslerinin grafik gösterimi



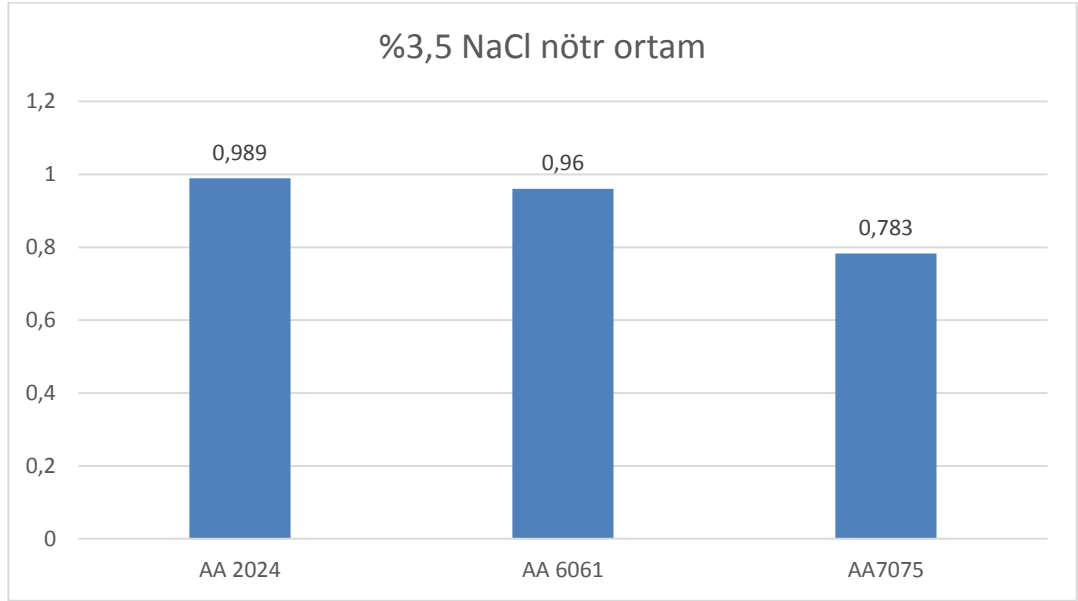
#### 4.4.4. Farklı ortamlarda AA 2024, AA 6061, AA 7075 alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon indekslerinin karşılaştırılması

Asidik (pH=2), bazik (pH=11) ve %3,5 NaCl nötr çözelti ortamlarında AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 alüminyum alaşımlarına ait İscv değerlerinin karşılaştırılması grafik halinde sırasıyla Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir.



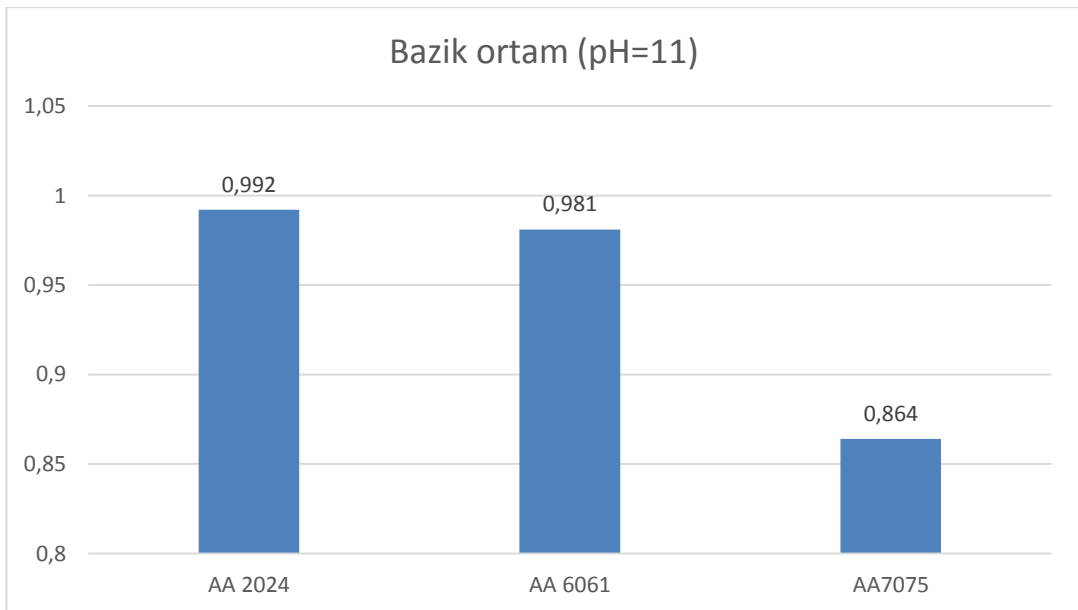
**Şekil 4.19.** Farklı alüminyum alaşımlarının asidik ortamlardaki SSRT test sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 4.19’da görüldüğü gibi pH=2 olan asidik ortamda kullanılan alaşımlar içerisinde gerilmeli korozyon direncinin en yüksek olduğu alüminyum alaşımının AA 2024 olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.20.** Farklı alüminyum alaşımlarının %3,5 NaCl nötr ortamlardaki SSRT test sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi %3,5 NaCl nötr çözelti ortamında kullanılan alaşımlar içerisinde gerilmeli korozyon direncinin en yüksek olduğu alüminyum alaşımının AA 2024 olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.21.** Farklı alüminyum alaşımlarının bazik ortamlardaki SSRT test sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi pH=11 olan bazik ortamda kullanılan alaşımlar içerisinde gerilmeli korozyon direncinin en yüksek olduğu alüminyum alaşımının AA 2024 olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak her üç ortamda da AA 2024 alüminyum alaşımının gerilmeli korozyon indeksi diğer AA 6061 ve AA 7075 alüminyum alaşımlarına göre daha yüksektir.

## 5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Yapılan çalışmada alüminyum alaşımlarına ait üç farklı numunenin, deneysel verilerini sırasıyla inceleyecek olursak;

Her üç alüminyum alaşımı (AA 2024, AA 6061, AA 7075) için de, hava ortamında yapılan SSRT testlerinde en yüksek mukavemet ve en fazla kırılma süresi elde edilmiştir.

Deneye tabii tutulan tüm alaşımlar (AA 2024, AA 6061, AA 7075), çalışılan korozif ortamlar içinde en iyi gerilmeli korozyon direnci, bazik ortam olarak adlandırdığımız (%3,5'lik NaCl çözeltisi, pH=11) ortamda sergilenmektedir.

Deneye tabii tutulan tüm alaşımlar için bazik ortamdaki gerilmeli korozyon direncini, nötr ortam olarak adlandırdığımız (%3,5'lik NaCl çözeltisi, pH=7) ortam izlemektedir. Bu ortamda gerilmeli korozyon direnci bazik ortama göre azalma göstermektedir.

Deneye tabii tutulan tüm alaşımlar için de en düşük gerilmeli korozyon direnci, asidik ortam olarak adlandırdığımız (%3,5'lik NaCl çözeltisi, pH=2) ortamda sergilenmektedir. Ortamdaki gerilmeli korozyon direnci nötr ortama göre daha düşüktür.

Bu çalışma şunu açıkça kanıtlamaktadır. Ortamın pH seviyesi azaldıkça gerilmeli korozyon direnci de azalmaktadır.

Kırılma sürelerini incelediğimizde, deneyleri yapılan bu üç numune içerisinde en çok gerilmeli korozyon hasarına uğrayan malzemenin AA 7075 olduğu görülmektedir. Korozif çözelti ortamlarındaki kırılma süreleri incelendiğinde; AA 7075 alaşımının kırılma süresinin deneyi yapılan diğer malzemelere (AA 2024, AA6061) göre daha uzun olduğu gözlenmektedir. Dolayısıyla AA 7075 alaşımının gerilmeli korozyon direncinin diğer iki malzemeye göre daha kötü olduğu söylenebilir.

Alüminyum üzerindeki oksit filmi pH= 4–9 aralığında iken oldukça kararlıdır. Ancak zamanla film üzerinde gelişen yerel anot ve katot bölgelerine bitişik durgun sıvı filminin pH değerindeki değişmelerle (katodik bölgeler alkali, anodik bölgeler asidik hale gelirler) filmin bu bölgelerdeki yerel çözünmesi nötral ortamlarda da oluşabilir. Bununla beraber filmin çözünürlüğü sadece pH'ya bağlı olmayıp, bazı anyon ve katyonların varlığının filmin direncini kırdığı ve filmin kendi kendini tamir edemediği koşullarda yerel korozyon oluştuğu tespit edilmiştir (Kıyak 1995). Bu durum, nötr ortamlarda da yerel korozyon oluşabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla yapılan çalışmada en iyi gerilmeli korozyon direncinin bazik ortamda elde edilmesi bu bilgiye dayandırılabilir.

**KAYNAKLAR**

- Astarita, A., Bitondo, C., Squillace, A., Armentani, E., Bellucci, F., 2013. Stress corrosion cracking behaviour of conventional and innovative aluminum alloys for aeronautic applications. *Surface and interface analysis*, 45 (10), 1610-1618.
- Aydın, H. ve Bayram, A., 2010. Farklı ısıtma işlem koşullarındaki 2024 alüminyum alaşımlarının korozyon sonrası mekanik özelliklerindeki kaybın belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi dergisi*, 5 (1), 159-168.
- Başer, T. A. 2012., Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 53 (635), 51-58.
- Chen, S. Y., Chen, K. H., Peng, G. S., Liang, X., Chen, X. H., 2012. Effect of quenching rate on microstructure and stress corrosion cracking of 7085 aluminum alloy. *Transactions of nonferrous metals society of China*, 22 (1), 47-52
- Demir, E., 2008. Alüminyum alaşımlarında ısıtma işlem etkilerinin incelenmesi. Y.Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Eker, A. A., 2009. Demir dışı metal ve alaşımlarının korozyonu ders notları.
- Prefer, A. A., Abosdell, A. M., Raddad, B. S., 2013. The use of slow strain rate technique for studying stress corrosion cracking of an advanced silver-bearing Aluminum-Lithium alloy. 3. International advances in applied physics and materials science congress, USA.
- Jiang, J. T., Xiaio, W. Q., Yang, L., Yuan, S. J., Zhen, L., 2014. Ageing behaviour and stress corrosion cracking resistance of a non-iso thermally aged Al-Zn-Mg-Cu alloy. *Materials science and engineering a-structural materials properties microstructure and processing*, 605, 167-175.
- Kannan, M. B., Raja, V. S., 2010. Enhancing stress corrosion cracking resistance in Al-Zn-Mg-Cu-Zr alloy through inhibiting recrystallization. *Engineering fracture mechanics*, 77 (2), 249-256.
- Kıyak , T., “Alüminyumun (Katodik) korozyonunun pH 4-6 aralığında sıcaklığa bağlı olarak belirlenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara, 36-37, 53-55 (1995).
- Kumar, S. R., Gudimetla, K., Venkatachalam, K., Ravisankar, P., 2010. Stress corrosion cracking of Al 7075 alloy processed by equal channel angular pressing. *International journal of engineering, science and technology*, 2 (12), 53-61.
- Li, H. Z., Zhang, X. M., Chen, M. G., Li, Y. F., Liang X. P., 2007. Effect of pre-deformation on the stress corrosion cracking susceptibility of aluminum alloy 2519. *Rare metals*, 26 (4), 385-390.
- Oğuz B., 1990. Alüminyumun gösteriliş şekilleri ve normlar. Oerlikon yayını.
- Peng, G. S., Chen, K.H., Chen S.Y., Fang H.C., 2012. Effect of the deformation on the stress-corrosion cracking of Al-Zn-Mg-Cu alloys. *Materials and corrosion*, 63 (3), 254-258.
- Qi, X., Song, R.G., Wang, C., Li, H., Qiao, L.J., Su, Y.J., Chu, W.Y., 2014. Effects of cathodic polarization on stress corrosion behaviour of 7050 aluminum alloy. *Transactions of nonferrous metals of society of china*, 24 (3), 631-636.

- Rout, P. K., Ghosh, M. M., Ghosh, K.S., 2014 Effect of solution pH on electrochemical and stress corrosion cracking behaviour of a 7150 Al-Zn-Mg-Cu alloy. *Materials science and engineering a-structural materials properties microstructure and processing*, 604, 156-165.
- Savaşkan T., 2000. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Derya Kitapevi, No:330, 347 s, Trabzon.
- Sharma, S.C., 2000. A study on stress corrosion behaviour of Al 6061/albite composite in higher temperature acidic medium using autoclave. *Corrosion science*, 43, 1877-1889.
- Spathis, P., 2014. Influence of anodic coatings on stress corrosion behaviour of 7017 aluminium alloy. *Anti-corrosion methods and materials*, 61 (1), 27-31.
- Sun, X. Y., Zhang, B., Lin, H. Q., Zhou, Y., Sun, L., Wang, J. Q., Han, E. H., Ke W., 2013. Correlations between stress corrosion cracking susceptibility and grain boundary microstructures for an Al-Zn-Mg alloy. *Corrosion science*, 77, 103-112.
- Tsai, T. C., Chuang, T. H., 1996. Role of grain size on the stress corrosion cracking of 7475 aluminium alloys. *Materials science&Engineering*, 225, 135-144.
- Weissbach W., Çev: Anık S., Anık S. E., Vural M., 1998. Malzeme Bilimi ve Muayenesi. Birsen Yayınevi, No: 29, 348 s, İstanbul.
- William F. S., Çev: Kınıkoğlu N. G., 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. Literatür Yayıncılık, No: 47, 855 s, İstanbul.
- Yalçın H., Koç T., 1990. Mühendisler için Korozyon. TMMOB Kimya Mühendisleri Odası.
- Yetiştiren, H., Tülbentçi, K., 1995. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarında ısıtılma işleminin gerilmeli korozyon çatlaması direncine etkilerinin araştırılması. 6. Denizli malzeme sempozyumu, Denizli.
- Yue, T. M., Dong C. F., Yan L. J., Man H. C., 2003. The effect of laser surface treatment on stress corrosion cracking behaviour of 7075 aluminum alloy. *Material letters*, 58, 630-635.
- Yue, T. M., Yan, L. J., Dong C. F., 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., İç T. Y., 2002. Havacılık alanında kullanılan alüminyum alaşımlarının seçimi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 17 (2), 1-23.

## ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Erzurum’da doğan Batuhan ÖZAKIN, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Gazi Ahmet Muhtar Paşa İlköğretim Okulu ve Erzurum Lisesinde tamamlamıştır. 2007 yılında kazandığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümünü 2011 yılında başarıyla bitirmiştir. Aynı zamanda 2008 yılında çift ana dal programıyla Mühendislik Fakültesi İnşaat bölümüne başlamış ve 2012 yılında başarıyla tamamlayarak mezun olmuştur. 2011 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

2013 yılından beri Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM) Müdürlüğünde Bilimsel Proje Uzmanı olarak çalışmaktadır.