



**ISIL İŞLEMİN MG-AL-SN-MN-LA-GD  
ALAŞIMLARININ MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE,  
AŞINMA VE KOROZYON DİRENÇLERİNE  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Esra ÖZSOY**

**2022  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA**

**ISIL İŞLEMİN MG-AL-SN-MN-LA-GD ALAŞIMLARININ MİKROYAPI  
ÖZELLİKLERİNE, AŞINMA VE KOROZYON DİRENÇLERİNE  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Esra ÖZSOY**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA**

**KARABÜK  
Haziran 2022**

Esra ÖZSOY tarafından hazırlanan “ISIL İŞLEMİN MG-AL-SN-MN-LA-GD ALAŞIMLARININ MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE, AŞINMA VE KOROZYON DİRENÇLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA .....  
Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/06/2022

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER ( SU)	.....
Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI ( KBU)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA ( KBU)	.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ .....  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Esra ÖZSOY

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ISIL İŞLEMİN MG-AL-SN-MN-LA-GD ALAŞIMLARININ MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE, AŞINMA VE KOROZYON DİRENÇLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Esra ÖZSOY

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğretim Üyesi İsmail Hakkı KARA

Haziran 2022, 34 sayfa

Bu çalışmada, Mg-Al-Sn-Mn-La-Gd alaşımlarının korozyon ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Homojenleştirme ısıl işlemi sonrası en yüksek sertlik değeri elde edilen parameter esas alınarak yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Yaşlanma süresine bağlı incelenen numunelerin korozyon ve aşınma özellikleri karşılaştırılmıştır. Isıl işlem süresince değişen ikincil fazların korozyon direncine etkisi olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında artan Gd miktarına bağlı aşınma hızında değişkenlik olması katı eriyik sertleşmesi ve ikincil fazların şekil, boyut ve dağılım bakımından yapıya farklı sertlik özellikleri kazandırmasına dayandırılmıştır. Aşınma sonrası taramalı electron mikroskobu (SEM) görüntüleri aşınma mekanizmasının değişken Gd miktarına bağlı farklılaştığını göstermiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Magnezyum alaşımları, Lantan, Gadolinyum, Isıl işlem,  
Korozyon, Aşınma.

**Bilim Kodu** : 91519

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE MICROSTRUCTURAL PROPERTIES, WEAR AND CORROSION RESISTANCE OF MG-AL-SN-MN-LA-GD ALLOYS**

**Esra ÖZSOY**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Metallurgy and Materials Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Dr. İsmail Hakkı KARA**

**June 2022, 34 pages**

In this study, corrosion and wear properties of Mg-Al-Sn-Mn-La-Gd alloys were investigated. The aging heat treatment was applied based on the parameter that obtained the highest hardness value after the homogenization heat treatment. Corrosion and wear properties of the samples examined depending on the aging time were compared. It is thought that the secondary phases that change during the heat treatment influence the corrosion resistance. In addition, the variability in the wear rate due to the increasing amount of Gd is because the solid solution hardening and secondary phases give different hardness properties to the structure in terms of shape, size and distribution. Post-wear scanning electron microscope (SEM) images showed that the wear mechanism differs depending on the variable Gd amount.

**Key Word** : Stainless steel, TIG welding, gas mixture, microstructure, fatigue and mechanical properties.

**Science Code** : 91519



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi İsmail Hakkı KARA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Korozyon ve Aşınma deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından KBÜBAP-22-YL-014 kodlu tez projesi kapsamında desteklenmiştir. Bundan dolayı Karabük Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne ve Karabük Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. MAGNEZYUM .....	1
1.2. ALAŞIM ELEMENTLERİ.....	2
1.2.1. Alüminyum .....	2
1.2.2. Kalay .....	3
1.2.3. Mangan/Manganez.....	4
1.3. NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ.....	4
1.3.1. Gadolinyum .....	4
1.3.2. Lantan .....	5
1.3. KOROZYON SÜRECİ.....	6
1.3.1. Korozyon Türleri.....	7
1.3.2. Magnezyum Alaşımlarında Korozyon .....	10
1.3.3. Korozyonu Azaltma Yolları.....	12
1.4. AŞINMA TÜRLERİ .....	13
1.4.1. Adhesiv Aşınma .....	13
1.5. AŞINMA KAYIBI ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ .....	14
1.5.1. Ağırlık Farkı Metodu .....	14

	<b><u>Sayfa</u></b>
1.5.2. Kalınlık Farkı Metodu.....	15
<b>BÖLÜM 2</b> .....	<b>16</b>
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>16</b>
2.1. MALZEMELER.....	16
2.2. HOMOJENLEŞTİRME .....	19
2.3. YAŞLANDIRMA .....	19
2.4. MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ.....	19
2.5. KOROZYON DENEYLERİ .....	19
2.6. AŞINMA DENEYLERİ.....	20
2.7. SERTLİK TESTLERİ .....	20
<b>BÖLÜM 3</b> .....	<b>21</b>
<b>SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>21</b>
3.1. SERTLİK DENEYLERİ .....	21
3.2. KOROZYON DENEYLERİ .....	22
3.3. AŞINMA DENEYLERİ.....	25
<b>BÖLÜM 4</b> .....	<b>30</b>
<b>GENEL SONUÇLAR</b> .....	<b>30</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>31</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>34</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3. 1. Korozyon hızlarının karşılaştırması. ....	23
Şekil 3. 2. A numunesinin 2-8 saat yaşlandırma sonrası tafel eğrisi değerleri. ....	24
Şekil 3. 3. B numunesinin 2-8 saat yaşlandırma sonrası tafel eğrisi değerleri.....	24
Şekil 3. 4. C numunesinin 2-8 saat yaşlandırma sonrası tafel eğrisi değerleri.....	25
Şekil 3. 5. Aşınma hızlarının karşılaştırılması. ....	27
Şekil 3. 6. A numunesinin 10N yük sonrası aşınmış yüzey görüntüsü. ....	28
Şekil 3. 7. B numunesinin 10N yük sonrası aşınmış yüzey görüntüsü. ....	28
Şekil 3. 8. C numunesinin 10N yük sonrası aşınmış yüzey görüntüsü. ....	29

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2. 1. Döküm Koşulları.....	17
Çizelge 2. 2. Üretimde kullanılan hammaddeler (ağırlıkça % olarak).....	18
Çizelge 2. 3. Üretilen alaşım grupları (ağırlıkça % olarak). ....	18
Çizelge 3. 1. Homojenleştirme sonrası sertlik değerleri .....	22
Çizelge 3. 2. Çıkan en iyi sonuca (350 °C 12 saat) uygulanan yaşlandırma ısıl işlemi sonrası sertlik değerleri. ....	22
Çizelge 3. 3. Potansiyodinamik Korozyon testi değerleri (mil/yıl). ....	23
Çizelge 3. 4. 10 N`luk aşınma testi değerleri. ....	26
Çizelge 3. 5. 20 N`luk aşınma testi değerleri. ....	26
Çizelge 3. 6. 30 N`luk aşınma testi değerleri. ....	26

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

NaCl : Sodyum klorür(Tuz)

HF : Hidrojen florür(Hidroflorik asit)

## **KISALTMALAR**

ASTM : Amerikan Test ve Malzeme Derneği

ATM : Açık hava basıncı

SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu

EDS : Enerji Dağıımlı X-ışını Spektroskopisi

XRD : X-ışını Kırınım Yöntemi

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1. MAGNEZYUM

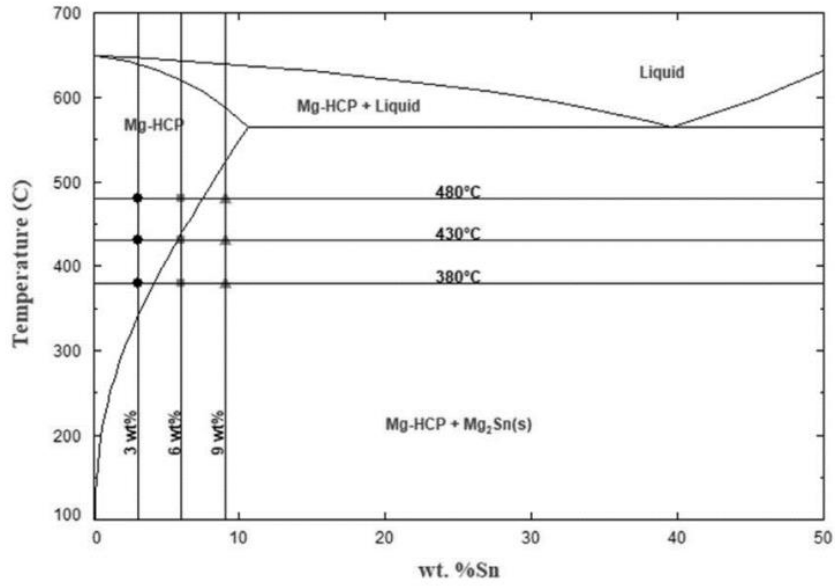
Bu dönemde üretim üzerinde çalışan imalatçıların, hafif ve daha fazla verimlilik içeren malzemeleri üretirken birçok koşula katlanmaları gerekiyor [1]. Magnezyum, üretim ve üretim ile ilgili geliştiriciler için en iyi seçenektir. İmalat ve çelik, alüminyum ve plastik içeren alaşımlar gibi malzemeler yerine kullanılabilir. Son zamanlarda, magnezyum üzerinde çok az araştırma ve geliştirme çalışması yapıldı, nedeni fiyatınının yüksek olmasıydı [2]. Günümüzde, magnezyum alaşımlarının fiyatı geçmişe göre düştüğü için magnezyum dikkate alınmıştır. Magnezyum alaşımlarının sağlam özellikleri bakır ve alüminyum bazlı alaşımlar gibi diğer metallere göre tercih edilmiştir. Magnezyum bazlı alaşımları üretmek için en çok döküm tercih edilmektedir ve bunun yaklaşık %98 yapısal uygulamasını göstermektedir [3]. Magnezyum alaşımları, daha düşük yoğunlukları, ince özgül mukavemetleri ve iyi sönümlene kapasiteleri nedeniyle otomotiv, havacılık ve tıp alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır ve magnezyum alaşımları, alüminyum alaşımları gibi diğer alaşımlarla karşılaştırıldığında daha az ağırlığa sahiptir, ayrıca magnezyum alaşımlarının mukavemet-ağırlık oranı çok iyidir ve malzeme üreticileri ve mühendisleri magnezyum alaşımlarına çok müteşekkirdir [4]. Otomotiv alanında, magnezyum alaşımları yüksek sertlikleri, titreşimleri emmek için yüksek kapasiteleri ve üstün kesme yetenekleri nedeniyle çok önemli bir rol oynamaktadır [5].





### 1.2.2. Kalay

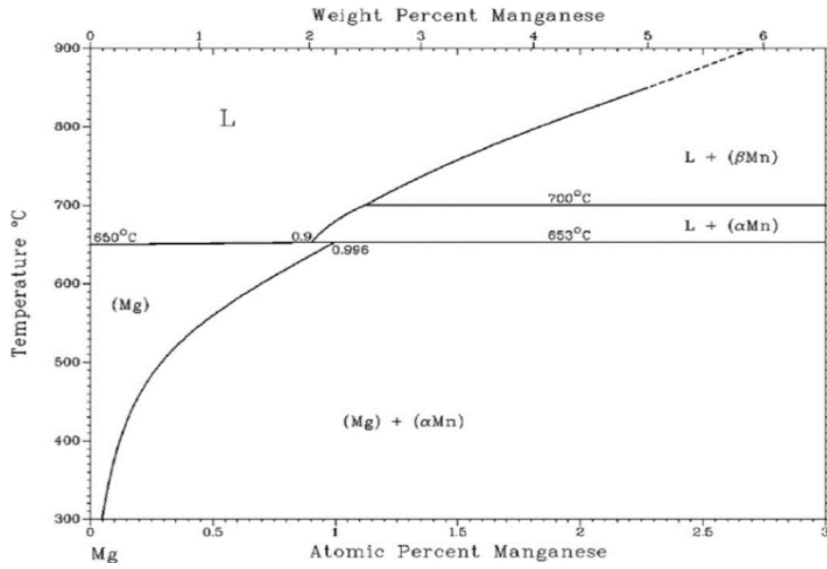
Kalay gümüş beyaz, dövülebilir bir metaldir. Kalay bir oksit tabakası ile kaplandığından, hızlı bir şekilde oksitlenmez ve korozyona karşı dayanıklıdır. Kalay deniz suyu ve musluk suyu tarafından korozyona karşı dayanıklıdır, ancak güçlü asitler, alkaliler ve asidik tuzlar tarafından saldırıya karşı hassastır. Kalay ister saf ister eterik olsun, zayıf ısı iletkenliği, düşük yoğunluğu ve düşük elastikiyet modülü nedeniyle faydalı bir metaldir. Orta mukavemet çeşitli ortamlarda güçlü korozyon direnci ve bir dizi başka elementle yüksek derecede reaktivite gösterir. Bir atomun kristal yapısı vücut merkezli bir tetrapoddur. Hem doğal hem de mineral hallerinde allotropik özellikler sergiler. Dönüşümü korozyon dönüşümü ile aynıdır çünkü metalin ondan gevrekliği olarak bilinen bir özelliğe sahip malzemeler için bir tutamaç görevi görür [9].



Şekil 1. 2. Mg-Sn ikincil faz diyagramı [9].

### 1.2.3. Mangan/Manganez

Eski çağların cam ve seramik üreticileri üretimlerinde manganez getirmişlerdir ancak 18. yüzyılda demir ve çelik üreticileri çelik üretimi için manganezden etkilenmişlerdir. Manganez demir ve çelik üretimi için gereklidir [10]. Güney Afrika, dünyanın bir numaralı manganez üreticisi olarak kabul edilmiştir, çünkü toplamın yaklaşık %82'sini üretmektedir [11]. Manganez içeren çelikler ucuz maliyet gibi birçok fayda sağlar ve korozyona karşı iyi dirençlidir. Mg-Mn ikili fazında ara bileşim yoktur [9].



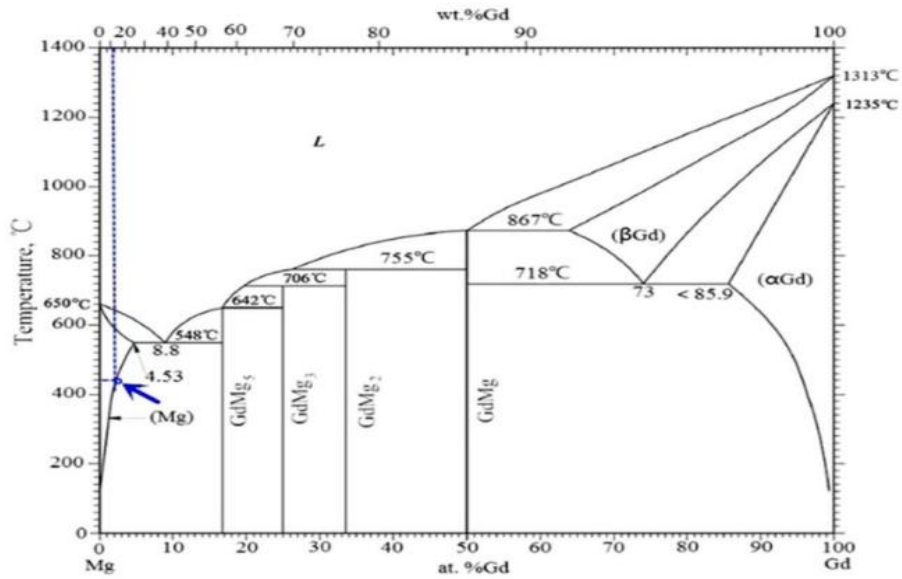
Şekil 1. 3. Mg-Mn ikincil faz diyagramı [9].

## 1.3. NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

### 1.3.1. Gadolinyum

Yeryüzündeki en nadir minerallerden biridir. Yarı elastik özelliklere sahip narın, parlak, gümüşü bir metaldir. Nemli havanın varlığında, gadolinyum oksidasyondan koruyan beyaz bir oksit formuna dönüşür. Bu element seyreltik asitlerde oldukça çözünür ve su üreten renksiz tuzlarla çok yavaş reaksiyona girer. Bileşiklerde, element üç değerlikli durumunda meydana gelir [12]. Gadolinyum ferromanyetiktir ve oda sıcaklığında veya 20° C'ye kadar düşük nikelde daha güçlü bir manyetik çekime

sahiptir. Elementin manyetizması zirvededir. Yüksek sıcaklıklarda, bu metal ikili bileşikler üretir azot, kükürt, karbon, fosfor, selenyum, bor, silikon ve arsenik içerir. Malzeme alanındaki araştırmacıların çoğunluğu, birçok alaşımın özelliklerini geliştirmek için gadolinyum kullanmıştır. Ce, La, Gd ve Nd gibi nadir toprak elementlerinin magnezyum alaşımlarına eklenmesinin korozyona ve sürünmeye karşı dirençlerini arttırdığı gösterilmiştir. Nadir toprak metalleri, yüksek sıcaklıklarda bile çok kararlı olan metaller arası konsolidasyon fazının üretilmesinden sorumludur ve yüksek çözünürlüğe sahip nadir toprak elementleri, magnezyum ve büyük tokluğa sahip alaşımlar sağlayan bir katı olan Mg matrisinde bir çözelti oluşturmaktan sorumludur. Sadece doğada oksitlenmiş formda bulunabilir. Genellikle, ayrıldığında nadir toprağın safsızlıklarını içerir [12]. Şekil 1.4'te Gd'nin magnezyum ile ikincil fazları gösterilmiştir. Bununla birlikte Mg, gösterildiği gibi %23.49'a kadar (% Gd'de) ötektik sıcaklıkta çözünür, böylece katı eriyik sertleşmesi sağlanır [9].

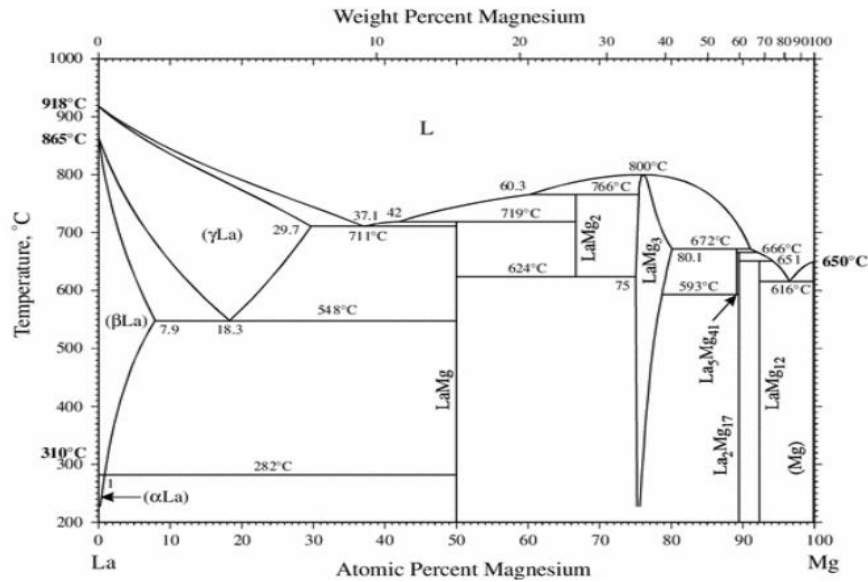


Şekil 1. 4. Mg-Gd ikincil faz diyagramı [9].

### 1.3.2. Lantan

Lantan, bıçakla kesilebilen dövülebilir, gümüş beyazı bir metaldir. Evropiyum'dan sonra ikinci en reaktif nadir toprak metalidir. Oda sıcaklığında lantan, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üretmek için havada oksitlenir. Metal yüzeyinde koruyucu bir florür tabakasının (LaF<sub>3</sub>)

oluşması nedeniyle, su ile yavaşça reaksiyona girer ve HF asidi hariç, seyreltik asitlerde hızla çözülür. Metal, 6 K'dan (267 ° C) 1.191 K'daki (918 ° C) erime noktasına kadar manyetiktir ve manyetik hassasiyet pratik olarak 4 ila 300 K (269 ve 27) arasında sıcaklıktan bağımsızdır [13]. Çoğu durumda, magnezyum, alüminyum ve diğer alaşımlara lantan gibi nadir toprak elementlerinin eklenmesi, bu alaşımların performansını artırır. Bu iyileştirmeler arasında alaşımın dayanıklılığında bir artış ve ağırlığının azalması yer alır ve bu da ürün üretiminde oldukça yararlı olan son derece hafif bir malzeme ile sonuçlanır. Nadir toprak metallerinin dahil edilmesi, magnezyum alaşımlarının akma dayanımını artırır. La, Mg'da çok düşük çözünürlüğe sahiptir ve Şekil 1.5'de gösterildiği gibi çok yüksek bir ötektik sıcaklığa (612 ° C) sahiptir. Düşük çözünmesi nedeniyle yaşlanma yeteneğini geliştirmez [9].



Şekil 1. 5. Mg-La ikincil faz diyagramı [9].

### 1.3. KOROZYON SÜRECİ

"Korozyon" teriminin tanımı, ifadeyle bağlantılı anlamların çeşitliliği sürekli genişlediği için zor bir konudur. Yandaki tanım, bilimsel literatürde en açıklayıcı olanlardan biri olarak tanımlanmıştır: "Korozyon, bir maddenin (genellikle bir metalin) veya özelliklerinin çevresiyle teması nedeniyle bozulmasıdır." Bu terim sadece seramikler, polimerler ve doğal malzemeler gibi metalik olmayan malzemeleri

değil, aynı zamanda çok geniş bir tanım olan malzemelerin kendileri bozulduktan sonra özelliklerinde bir değişiklik olarak korozyonu ifade eder[14]. Bozunma kavramına dayalı sınıflandırmaların, özellikle metallerin korozyonu ile bağlantılı olanlar olmak üzere, korozyonla ilgili tüm olayları içermediğini açıklar [15]. Bazı durumlarda, belirli koşullar altında metallerin yüzeyinde bir oksit kaplamasının oluşması, malzemenin bozulmasına karşı bir tür koruma görevi görür. Bu, olguyu açıkça örneklemektedir. Bu bakımdan madde ile etkileşimde bulunduğu çevre arasındaki etkileşim kavramlarına dayalı bir tanım daha uygun olabilir [16].

### **1.3.1. Korozyon Türleri**

İlgili metalin türü, aşındırıcı ortamın doğası, yapının geometrisi vb. gibi değişkenlere bağlı olarak korozyonun varlığı çeşitli şekillerde kendini gösterebilir. Çoğu durumda, çeşitli aşındırıcı formlar alaşım yüzeyinin görünümüne göre sınıflandırılır [16]. Bu bölüm, magnezyum ve magnezyum alaşımlarını en sık etkileyenler üzerinde durularak, farklı türde korozyon arızası süreçlerine genel bir bakış sunmayı amaçlamaktadır. Sonuç olarak, aşağıdaki korozyon türlerine atıfta bulunacağız:

#### **1.3.1.1. Galvanik Korozyon**

Korozyonun en yaygın ve zararlı türü galvanik korozyondur. Negatif korozyon potansiyelleri nedeniyle, magnezyum alaşımları diğer teknik metallerle birleştiğinde anot görevi görür. Anot ve katot arasındaki voltaj farkı, galvanik korozyonda en kritik bileşendir. Diğer bir önemli bileşen, anodik ve katodik polarizasyon direncidir. Sulu bir çözeltide Fe, Ni, Co, Cu, W, Ag ve Au, Mg alaşımından daha soylu davranır. Sırasıyla çelik ve alüminyum, alüminyum, çelik ve bazen bakır ile kullanılan Mg alaşımları için en çok ve en az zarar verenlerdir. Ayrıca Mg alaşımları kendi başlarına galvanik korozyona neden olabilir. Mikro ölçekli bileşime, mikro yapıya ve kristal yönelimlerine bağlı olarak, elektrokimyasal aktiviteler galvanik çiftlerin oluşmasına neden olur. Anot veya katodun fazı veya bileşimi bu noktada değişebilir. Mg alaşımındaki parçacıklar ise, ikincil fazlar, intermetalik ve emprenye edilmiş parçacıklar olarak eser miktarda alaşım içerdiklerinden mikro anotlar olarak çalışırlar [17].

### 1.3.1.2. Üniform Korozyon

Çözünmenin ikincil sonuçlarından biri, yüzeyden sürekli bir atom tabakasının kaybolmasıdır. Bu işlem sırasında anotlar ve katotlar malzemenin yüzeyi boyunca rastgele dağılır ve yerleri sürekli değiştirilir. En yüksek kütle kaybından aşınma formu sorumludur, ancak saldırı çok sabit olduğundan, açıkta kalan bileşenlerin veya bölümlerin ne kadar süre dayanacağını doğru bir şekilde tahmin etmek mümkündür. Öte yandan, tespiti sayesinde, genellikle yapısal tehlikeler ortaya çıkmadan önce yapıları tamir edebilen bir korozyon türüdür ve ayrıca önleyici tedbirlerin kullanılmasıyla kolaylıkla kontrol altına alınabilen bir korozyon türüdür [18].

### 1.3.1.3. Çukur Korozyonu

Aşındırıcı çukurlaşmanın ayırt edici özelliklerinden biri, iğne deliği şeklini alan küçük bir alana erozyon saldırısıdır. Bu tür korozyon, oksit tabakasında zayıf bir noktada başlar ve deniz suyunda bulunan klorür iyonları gibi agresif anyonların varlığı ile şiddetlenir. Ortamın lokal asitliğini artıran redoks işlemlerinin bir sonucu olarak mide(alan) büyür. Bu, katmanın etkilenen konumda yeniden oluşmasını engeller. Karakteristikleri nedeniyle, çukur erken evrelerinde hızla gelişir, ancak daha sonra olgunlaşmaya devam ettikçe büyük ölçüde yavaşlar. Çukurlar açık olabilir veya bir korozyon ürünleri tabakası (kabuk) ile kısmen doldurulmuş olabilir. Bu tür çukur erozyonu, ikincil faz Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>'yi içeren heterojen bir kristal yapıya sahip magnezyum alaşımları tarafından indüklenir. Daha yüksek standart gerilimlere sahip ikincil fazlar ile çevreleyen Mg matrisi arasında bir elektrik alışverişi vardır. Erozyonun morfolojisi genellikle deliklere benzer. Feng et al. AZ serisi magnezyum alaşımlarının korozyon direnci üzerindeki ikincil fazların etkisini değerlendirmek için araştırmalar yaptı. Çalışmanın sonuçlarına göre, ikincil fazlar hem tane içinde hem de tane sınırları boyunca oluşabilir. Bu sonraki aşamalar, mikro katotların rolünü yerine getirir. Bu görüşe göre, bunu yapmak magnezyumun parçalanmasını hızlandıracaktır[19]. Krater oluşumundaki ikincil aşamaların önemi Song ve meslektaşları tarafından yürütülen çalışmalarla gösterilmiştir. Daha fazla miktarda alüminyum içeren magnezyum alaşımlarının, nadir toprak elementleri içeren magnezyum alaşımlarından daha güçlü korozyon direncine sahip olduğu iyi

bilinmektedir. Arama sırasında derin delikler oluşturulmuş ve ilk olarak ikincil fazların çözünmesi, ardından ikincil fazları çevreleyen magnezyum matrisinin erimesi ve ardından ikincil fazların çözünmesinin başlaması gerçekleşmiştir[20].

#### **1.3.1.4. Taneler Arası Korozyon**

Granüler erozyon, safsızlıkların ayrılması veya tane sınırlarında ikinci bir aşama ile ilişkili bir erozyondur. Bu mekanizma, taneler arası erozyon olayları ile ilişkilidir. Alaşım, bu ikinci aşama bileşenlerinin tane sınırlarına yakın bölgelerde tükenmesi nedeniyle korozyona karşı daha hassas hale gelir. Lokalize korozyona tahmin edilmesi ve tespit edilmesi daha zor olduğu için genel korozyondan daha büyük bir risk oluşturması sebebi ile oyuklaşma, galvanik korozyon ve taneler arası korozyon dahil olmak üzere diğer korozyon türlerinden daha dikkat edilmesi önemlidir. Bu tür saldırılarda toplu kayıpların genellikle çok düşük olmasına rağmen, saldırının derinliği bir bileşenin beklenenden çok daha erken başarısız olmasına neden olur [15]. Şekil 1.9. bir magnezyum alaşımında taneler arası korozyon gösterir.

#### **1.3.1.5. İpliksi Korozyon**

İpliksi korozyon, metal yüzeylerde oluşan korozyon türlerinden biridir, örneğin boyalı yüzeyde oluşabilir. İpliksi korozyon, koruyucu metal yüzeylerde aktif olan galvanik hücrelerden kaynaklanır. Yüzeydeki oksijen yoğunluğuna bağlı olarak delik şeklindeki korozyondan sonra erken evrelerde ipliksi olarak yayılır [19]. Şekil 1.10. Mg alaşımında ipliksi korozyon gösterir.

#### **1.3.1.6. Gerilme Korozyon Çatlaması**

Lokalize erozyonun başka bir şekli, oksijenin yenilenmesinin zor olduğu korunaklı alanlarda meydana gelen fissür erozyonudur. Bu tip korozyon, çukur korozyonu gibi birçok metal ve alaşımında yaygındır. Sürünen erozyon ve çukur erozyonu birçok ortak yönü paylaşır, ancak diğer yandan iki süreç arasında farklılıklar vardır. Her ikisi de genellikle pasif durumu içerir, ancak çukur korozyonu agresif anyonların varlığını gerektirirken, yarık korozyonunda bu durum gerekli değildir, ancak olguyu hızlandırır



ve çoğu durumda mevcuttur. Gerilim korozyonu, ekstrüde edilmiş ve ekstrüde edilmiş magnezyum alaşımlarında ve ayrıca hızlı soğutulmuş döküm alaşımlarında meydana gelir. Sürünme korozyonu, çukurlaşma korozyonundan daha kolay oluşur. Bu, belirli bir elektrolitte alaşımın açıkta kalan bölgeye göre boşlukta daha hızlı aktive olması gerçeğiyle kanıtlanır. Vakuollerdeki metallerin bu aktivasyonu genellikle çukur korozyonu için gerekli olandan daha az potansiyel gerektirir [16].

### **1.3.2. Magnezyum Alaşımlarında Korozyon**

Birkaç on yıl boyunca, magnezyum alaşımları, özellikle tuzlu su ortamlarında korozyon için kötü bir üne sahipti. Ancak 1980'lerde yüksek saflıkta alaşımların piyasaya sürülmesi, paradigmayı çarpıcı biçimde değiştirerek 1990'larda yüksek basınçlı dökümün ortaya çıkmasına yol açan birçok katalizörden birini sağladı. Ağır metal kirleticilerini azaltan yeni malzemeler içeren alaşımlar, tuzlu suda otomobillerde yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımlarıyla tutarlı ve rekabetçi olan korozyon davranışı sağlar. Bu alaşımın davranışı, hızlandırılmış testlerde veya yol tuzuna maruz kaldığında test edildiğinde öncekilerden 2-3 kat daha fazla olmalıdır. Aşağıdaki sunum, aşındırıcı ortamlarda magnezyum alaşımlarının optimum performansını elde etmek için gereksinimleri özetlemektedir. Faktörler arasında alaşım bileşimi, kirletici maddeler, üretim modeli, mikro yapı ve yüzey kalitesi yer alır [14]. (1) Magnezyum alaşım yapısının korozyon davranışını etkileyen metalik faktörler, alaşımın bileşimi ve mikro yapısıdır. Alaşımın bileşiminde, kirleticilerin varlığı kadar alaşım elementlerinin içeriği de dikkate alınmalıdır. Magnezyum diğer metallerin çoğuna göre anodiktir, bu nedenle magnezyum ve alaşım elementleri veya safsızlıklar arasında ince yığınların gelişimi dikkate alınması gereken bir konudur. (2) Bazı elementlerin tuz çözeltisindeki magnezyumun korozyon davranışı üzerindeki etkisi, alüminyum, manganez, sodyum, silikon, kurşun ve kalay gibi elementler, magnezyumun korozyon direnci üzerinde zararlı bir etkiye sahip değildir. Öte yandan, kalsiyum, gümüş ve çinkonun varlığı korozyon oranını hızlandırır ve bu etki daha çok demir, nikel, kobalt ve bakır için daha fazla olup çok ciddi etkileri olduğu gösterilmiş ve hızlandırılmıştır. Bunun nedeni, bu elementlerin katodik bölgeler olarak hareket etmeleri, suyu indirgemede aktif olmaları ve magnezyumdan fedakarlık etmeleridir. Magnezyum alaşımlarından iyi bir korozyon performansı elde etmek için en yaygın kirleticiler

nikel, bakır ve demir düşük seviyelerde bulunmaları için kontrol edilmelidir. Magnezyum-zirkonyum alaşımları ailesi, yukarıda tartışılan yüksek saflıkta alüminyum magnezyum alaşımlarına benzer bir korozyon davranışı sağlayabilmelidir. Bununla birlikte, bu alaşımların çoğu, magnezyumun korozyonunu hafifleten seviyelerde çinko veya gümüş içerir. Zirkonyum alaşım ailesi tipik olarak düşük basınçlı kum döküm veya kalıcı döküm uygulamalarında kullanılır. Alaşımların hiçbiri yüksek basınçlı döküm olarak kabul edilmez ve bu nedenle otomotiv endüstrisinde magnezyum uygulamalarında son zamanlardaki artışta yer almamıştır. İtiryum içeren zirkonyum bazlı alaşım ve nadir toprak, WE54 ve WE43, yüksek saflıkta alüminyum alaşımlarına eşdeğer bir korozyon direnci gösterdi [16]. Bu modern alaşımlar, tuzlu ortamlar gibi agresif ortamlarda daha iyi korozyon direnci sağlayan, en yaygın kirleticiler üzerinde katı sınırlar bulunan, geliştirilmiş bileşime sahip alaşımlardır. Bununla birlikte, itiryumun yüksek maliyeti nedeniyle, bu alaşımın kullanımı, havacılık endüstrisi veya ağırlığın kritik olduğu ve yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklerin gerekli olduğu diğer uygulamalarla sınırlıdır. (3) Zr ilavesiyle taneleri saflaştıran granülatörlerin etkileri oldukça etkilidir ve aslında metal alaşımlarında bildirilen en verimli tane saflaştırma katkı maddeleridir. Külçeyi kum veya kalıcı kalıba döktükten sonra granül yapısının gözlenmesi, boyutları soğuma hızı ile karakterize edilen küresel granülleri ortaya çıkarır. Soğutma koşullarına bağlı olarak, genellikle 10-100 µm aralığında partikül boyutları elde etmek mümkündür. Zr'nin saf magnezyum tanelerinin boyutlandırılması üzerindeki etkisi ve bunun sonucunda mekanik mukavemet (kopma ve akma mukavemeti) ve süneklik artışı. Tane inceltme işlemine bağlı olarak çeşitli alaşımlar Zr tarafından geliştirilmiştir. Olası mekanizma, döküm alaşımında Zr içeren temel parçacıkların oluşmasıdır. Bu intermetalik parçacıklar,  $Liq + MgZr \rightarrow \alpha-Mg$  mimari etkileşimi yoluyla  $\alpha-Mg$  büyümesi için güçlü bir substrat görevi gören bir kristal yapıya sahiptir. Zr, Zn, Ag, Nd, Ce, Y, Th vb. gibi çeşitli alaşım elementleri ile uyumludur [19].

### 1.3.3. Korozyonu Azaltma Yolları

Magnezyum esaslı malzemelerin korozyonunu azaltmak, hizmet performanslarını artırmak ve uygulama alanlarını genişletmek için korozyonu azaltmak/önlemek için yöntemler oluşturmak gerekir. Aşağıda, bilinen ve onaylanmış korozyon önleme yöntemlerinden bazıları listelenmiştir [14].

- Lazer tavlama ve iyon implantasyonu dahil olmak üzere yüzey modifikasyon teknolojilerinin kullanımı.
- Magnezyum bazlı malzeme ile çevre arasında bir bariyer sağlamak için koruyucu kaplamalar ve filmlerin uygulanması.
- Yüksek saflıkta alaşımlar kullanın ve safsızlık seviyelerini kabul edilebilir tolerans sınırlarının altına indirin.
- Ek alaşım elementleri, takviyeler veya ikincil fazlar dahil ederek yeni magnezyum bazlı malzemeler oluşturun.

Ana malzemenin kaplanması, korozyonu önlemenin en güvenilir ve etkili yollarından biridir. Korozyona karşı yeterli koruma sağlamak için kaplama tabakası aşağıdaki gibi karakterize edilmelidir.

- Ana malzemeye iyi yapıştırın,
- Gözeneklerden arındırın,
- Kaplama tek tip olmalı ve
- Kaplamada fiziksel hasarın meydana gelebileceği uygulamalar için kendi kendini iyileştirme özelliğine sahip olmalıdır[14].

### 2.5. Aşınma

Malzemelerin bir yüzeyden bir başka yüzeye taşınması ya da aşınma parçalarının oluşumu sonucu ortaya çıkan malzemedeki kayıba aşınma denir. Aşınma sisteminde; temel malzeme (aşınan) karşı malzeme (aşındırıcı), ara malzeme, hareket ve yük aşınmanın temel unsurlarını oluşturmaktadır. Tüm bu unsurların oluşturduğu sistem teknik olarak 'tribolojik sistem' olarak adlandırılır. Birbirlerine temas halinde olan malzemelerin yüzeyleri bir oksit film veya yağlayıcı ile korunsa bile, oksit tabakasının bozulması veya mekanik yük altında yağlayıcının hasar alması yüzeylerin doğrudan

birbirleri ile temas halinde olmasına neden olacaktır. Bu temastan kaynaklanan sürtünme çalışma koşullarında malzemelerin ömrünü ve performansını sınırlayarak aşınmaya sebep olacaktır. Doğru yağlama, filtrasyon, doğru malzeme seçimi ve doğru tasarım gibi faktörlerle bu hasar en aza indirilebilir ancak önlenemez [21].

## **1.4. AŞINMA TÜRLERİ**

### **1.4.1. Adhesiv Aşınma**

Adhesiv aşınma, aralarında kayma sürtünmesi olan yüzeylerde soğuk kaynak veya lokal yapışma sonucu bir yüzeyden diğerine malzeme transferi ve ardından kayma hareketinden dolayı malzeme kaybı şeklinde meydana gelir [22].

### **1.4.2. Abrasiv aşınma.**

Çizilme veya yırtılma olarak da adlandırılabilen Abrasiv aşınma türünde birbirleri ile eő çalışan malzeme çiftinde hızlı ve önemli ölçüde hasar oluşabilmektedir. Bu tür kendisinden daha sert parçacıklara maruz kalmış malzeme yüzeylerinin basınç altında etkileşmesi sonucu sert parçacıkların yüzeyden parçacık kaldırması şeklinde de tanımlanabilir [23].

### **1.4.3. Yorulma Aşınması**

Yorulma aşınması, daima temas halinde bulunan (dişli çarklar, kam mekanizmaları, rulmanlı yataklar) yüzeyler arasında yaygın olarak görülmektedir. Temas mesafeleri çok küçük olan bu tarz makine sistemlerinde yüzeylerde Hertz basınçları oluşmaktadır. Yüzeyin hemen altında bu basınç nedeni ile kayma gerilmeleri oluşmakta ve bu gerilmelerin en yüksek olduğu noktada plastik deformasyon meydana gelmektedir. Bu deformasyon yüzeyde ilerleyerek çukurcuklar oluşturur [22].

#### **1.4.4. Korozyon Aşınması**

Korozyon aşınmasının oluşma nedeni aşınan yüzeylerin, aynı zamanda korozif etkilere maruz kalmasıdır. Bu tür aşınma kendi başına meydana gelebildiği gibi diğer aşınma türleri ile de meydana gelebilir. Birbirleri ile temas halinde bulunan yüzeylerde görülen, yüzey filmi tarafınca açılan kimyasal reaksiyonlar yüzey aşınmasını önlemektedir. Ama oluşan yüzey filmi hassas ve arayüzey bağı zayıf ise sürtünme sırasında filmler çatlayarak yüzeyden ayrılır ve aşınma hızı artar [24].

#### **1.4.5. Erozyon Aşınması**

Akışkan içinde bulunan aşındırıcı parçacıkların yüksek hızla hareket eden sıvı damlacıkları ve yüksek hızdaki gaz kabarcıkları tarafınca açılmasıyla oluşan aşınmaya erozyon aşınması denir. Sıvılar ve gazların akış esnasında temasta bulunduğu parça yüzeyine çarpması ile yüzeyden kopardıkları partiküller ve girdap etkisiyle meydana getirdiği dalgalı yüzey aşınmayı daha da hızlandırır [24].

### **1.5. AŞINMA KAYIBI ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ**

#### **1.5.1. Ağırlık Farkı Metodu**

Ağırlık farkı yöntemi aşınma ölçüm yönteminde en ekonomik yöntemdir. Sonucun doğruluğunun yüksek olması nedeniyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybı genellikle 10<sup>-3</sup> veya 10<sup>-4</sup> hassasiyete sahip terazi ile ölçülmektedir. Aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinden karşılık gelen sürtünme mesafesi gr/km veya mgr/km olarak; birim alan ile hesaplanıyorsa gr/cm<sup>2</sup> olarak ifade edilir. Aşınma miktarının hacme göre hesaplanması gerektiğinde malzemenin yoğunluğu ve numuneye uygulanan yük dikkate alınarak birim yol ve birim yük ağırlığına karşılık gelen hacim kaybı kullanılarak ağırlık kaybı belirlenebilir. Spesifik aşınma miktarı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir [25].

$$W_s = \frac{\Delta m}{d \cdot F_n \cdot S} = \frac{\Delta v}{F_n \cdot S} \quad W_s = \text{Özgül aşınma miktarı}$$

d= yoğunluk

$\Delta m$ = Ağırlık kaybı

$F_n$ = Uygulanan normal kuvvet  $S$ = Aşınma mesafesi

### **1.5.2. Kalınlık Farkı Metodu**

Bu yöntemde, aşınmanın neden olduğu boyutsal değişim ölçülerek ve başlangıç değeri ile karşılaştırılarak aşınma miktarı belirlenir elde edilen kalınlık farkı değeri kullanılarak hacim kaybı değeri bulunabilir, böylece birim hacim başına düşen aşınma miktarı bulunur. Bu yöntemde, hassas bir kalınlık ölçer kullanmak (1 $\mu$  hassasiyet) ölçüm doğruluğunu artırmak için oldukça önemlidir [25]

### **1.5.3. İz Değişim Metodu**

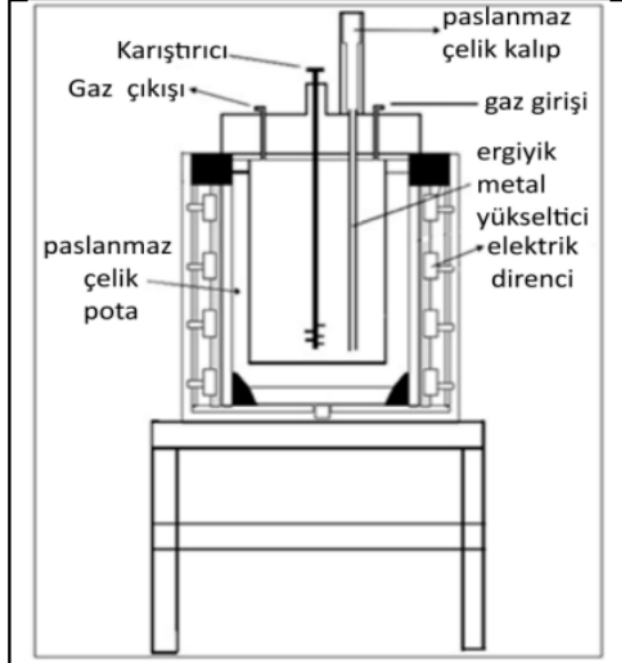
Bu yöntemde aşınmış yüzey üzerinde belirli bir geometrik yörünge oluşturmak için plastik deformasyon kullanılır. Brinell sertliği veya Vickers sertlik ölçüm yörüngeyi oluşturmak için kullanılır. Deney sırasında oluşan izlerin boyutundaki değişiklikler mikroskopik ölçümlerle değerlendirilir [25].

## BÖLÜM 2

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 2.1. MALZEMELER

Bu çalışmada ana malzeme olarak AT31 Mg alaşımı ve modifiye AT31 Mg kullanılmıştır. Saf Mg, saf Al, saf Sn Türkiye'den temin edildi ve ana alaşımlar Çin'den tedarik edildi. Üretim için özel yapım düşük basınçlı kalıcı kalıba döküm yöntemi (Şekil 2.1) kullanılmış ve Çizelge 2.2.'de verilen döküm şartları sağlanmıştır. Önce paslanmaz çelik pota içerisine saf Mg eklendi. Üretimde kullanılan malzemeler Çizelge 2.2'de verilmiştir. 775 °C sıcaklığa ulaşıldığında bekleme süresi 1 saattir. Daha sonra potaya saf Al ve ardından ana alaşımlar eklendi. Bu arada, kaptaki erimiş metal sürekli karıştırıldı. Saf Sn potasına nihai alaşım ilavesi eklendi ve 10 dakikalık karıştırmadan sonra erimiş metal 2-3 atm basınç altında 350 °C'ye ulaştı. Yüksek sıcaklığa sahip paslanmaz çelik metal kalıplara enjekte edildi.



Şekil 2. 1. Düşük basınçlı kalıcı kalıp döküm fırınının şeması.

Çizelge 2. 1. Döküm koşulları.

Koruyucu Gaz	Ergime Noktası (°C)- Bekleme Süresi(dk)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Yolluk Sıcaklığı (°C)	Gaz Basıncı (atm)
Argon	775-60	350	350	2-3



Çizelge 2. 2. Üretimde kullanılan hammaddeler (ağırlıkça % olarak).

Külçe Malzemeler	Mg	Al	Sn	Mn	La	Gd
Saf Mg	%99,9	-	-	-	-	-
Saf Al	-	%99,9	-	-	-	-
Saf Sn	-	-	%99,9	-	-	-
Mastar Mn	%90	-	-	%10	-	-
Mastar La	%70	-	-	-	%30	-
Mastar Gd	%75	-	-	-	-	%25

Çizelge 2. 3. Üretilen alaşım grupları (ağırlıkça % olarak).

Alaşım	Kısaltması	Mg	Al	Sn	Mn	La	Gd
Mg-2.5Al-1.0Sn- 0.3Mn-0.4La- 0.16Gd	A	Kalan	2,53	1,04	0,37	0,36	0,16
Mg-2.5Al-1.0Sn- 0.3Mn-0.4La- 0.66Gd	B	Kalan	2,4	1,03	0,31	0,41	0,66
Mg-2.5Al-1.0Sn- 0.3Mn-0.4La- 1.33Gd	C	Kalan	2,4	0,99	0,35	0,39	1,33

## **2.2. HOMOJENLEŞTİRME**

Isıl işlem fırını kullanılarak 300,350 ve 400 °C’de 4,8,12 ve 16 saat boyunca KBÜ Mühendislik Fakóltesi laboratuvarlarında homojenleştirme ısıl işlemi yapılmıŐtır.

## **2.3. YAŞLANDIRMA**

İlk olarak 545 °C’de 8 saat solüsyona alma işlemi yapılmıŐtır, su verme işlemi yapılarak numuneler sođutulmuŐtur. Sonrasında 200 °C’de 2,4,6 ve 8 saat boyunca yaşlandırma ısıl işlemi yapılmıŐtır. Yaşlandırma KBÜ Mühendislik Fakóltesi laboratuvarlarında yapılmıŐtır.

## **2.4. MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ**

Alaşımların kimyasal içeriği KBÜ-MARGEM Lab.’da XRF makinesi (Rigaku Primus II-WD) tarafından belirlenmiştir. Metalografi teknikleri zımparalama (600 kum- 2500 kum), parlatma (6µm ve 3µm) ve dağlama (70ml etanol-10ml saf su-10ml asetik asit-4.2gr pikrik asit) mikroyapının incelenmesine maruz bırakıldı. Mikroyapı resimleri için ıŐık optik mikroskobu (LOM) (Clemex yazılımı ile Nikon Eclipse MA200) kullanılmıştır. İkincil faz karakterizasyonunu gerçekteŐtirmek için enerji dağıtıcı spektroskopi (EDS, Quantax 200, Bruker) bağlantısı ile alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (Carl Zeiss ULTRA PLUS FE-SEM) kullanılmıştır. Ayrıca, ikincil faz karakterizasyonu için X-ıŐını difraktometresi (Rigaku ULTIMA IV) kullanılmıştır.

## **2.5. KOROZYON DENEYLERİ**

Gamry modeli PC4/300 mA potansiyostat/galvanostat`i elektrokimyasal korozyon testlerini elde etmek için kullanılmıştır. 25 °C 'de ağırlıkça% NaCl çözeltilisi standart üç elektrot hücresi doymuŐ bir kalomel referans elektrodu ile kullanıldı, grafit karşı elektrodu ve çalışan bir elektrot. Potansiyodinamik polarizasyon eğrileri 1 mV/s. tarama hızında elde edildi 0,25 ila + 0,25 V voltaj aralığında incelenen numunelerin korozyon değerleri potansiyel ve korozyon akımı yoğunluk Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile belirlenmiştir.

## **2.6. AŞINMA DENEYLERİ**

Numunelerin aşınma davranışını araştırmak için, Tribometre test cihazı kullanılarak ASTM G133-05'e göre 25°C'de ileri-geri kuru aşınma testi kullanılmıştır. 8 mm strok mesafesine sahip toplam 100m mesafe, 10N, 20N ve 30N yük altında 0,8 m / s hızda kullanılmıştır. Kullanılan 100Cr6 çelik bilyalar 6mm çapa ve 24-62 HRC sertliğe sahiptir. Kuru aşınma testlerinden sonra, Archard katsayısı ile spesifik aşınma oranının hesaplanması elde edilmiştir [26]. Mitutoyo SJ-410 cihazı, aşınma izinin üç derinliğinin (h) ve genişliğinin (L) ölçüldüğü 2D alanı hesaplamak için kullanıldı.

## **2.7. SERTLİK TESTLERİ**

Üniversal Brinell sertlik test aracı (Bulut Makine Sanayi Sertlik Testi), 10 saniye boyunca 2.5 mm bilye çapına sahip çelik bilyeler ile 187.5 kg yükte kullanılmıştır.

## BÖLÜM 3

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu kısımda homojenleştirme ve yaşlandırma ısı işlemi uygulanmış numunelerin sertlik, korozyon ve aşınma test sonuçları verilmiştir. Homojenleştirme parametrelerinden en iyi sonucu 350°C 12 saat kombini sağlamıştır.

#### 3.1. SERTLİK DENEYLERİ

Homojenleştirme ısı işlemi uygulanmış numunelerin sertlik sonuçları tabloda verilmiştir. Yaşlanma testi öncesi en yüksek sertlik sonucu sağlayan homojenleştirme ısı işlem sonuçları kullanılmıştır (350 °C 12 saat). Yaşlandırma ısı işlem uygulanmış numunelerin sertlik sonuçları tabloda verilmiştir.

Çizelge 3. 1. Homojenleştirme sonrası sertlik değerleri.

Sıcaklık	Numune	4	8	12	16
300°C	A	53,66	50,35	51,60	54,42
	B	50,84	51,11	50,40	50,71
	C	55,48	57,71	56,86	56,85
350°C	A	54,97	51,36	54,16	53,63
	B	51,86	52,09	54,68	50,35
	C	59,12	56,85	57,13	54,94
400°C	A	53,63	53,63	53,63	53,43
	B	50,85	52,86	52,62	49,86
	C	51,80	56,31	56,87	57,69

Çizelge 3. 2. Çıkan en iyi sonuca (350 °C 12 saat) uygulanan yaşlandırma ısıl işlemi sonrası sertlik değerleri.

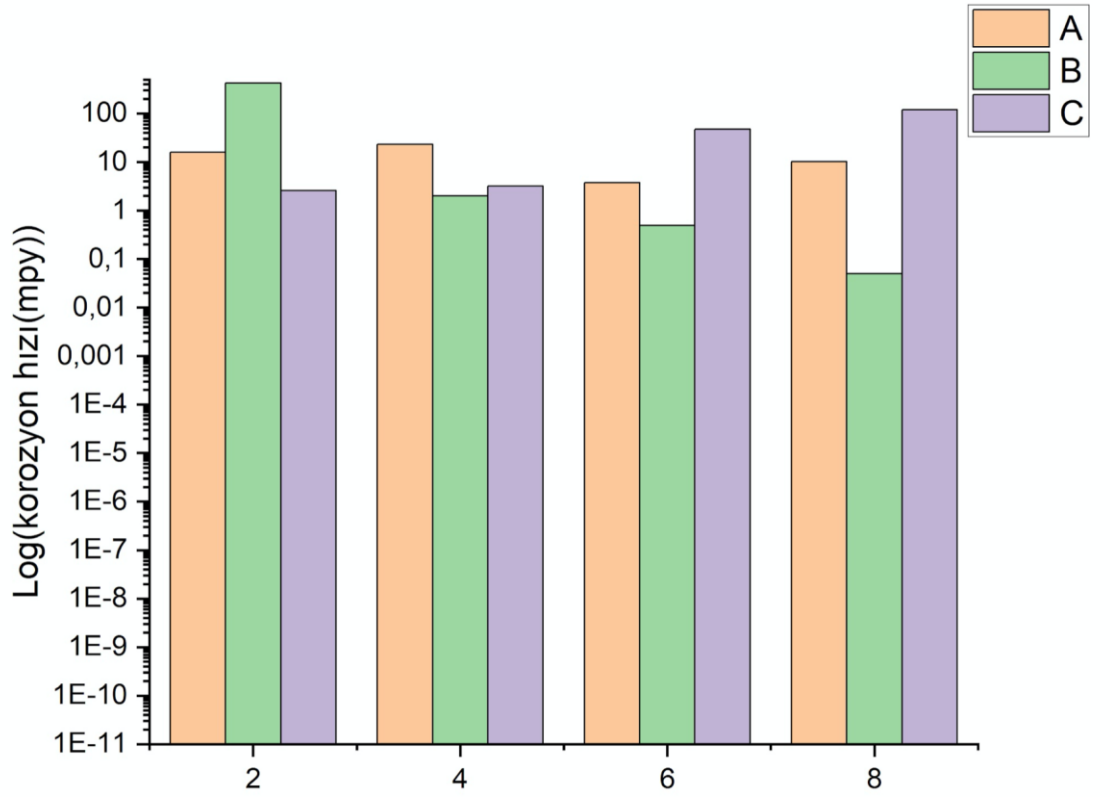
	Numune	2	4	6	8
200°C	A	50,64	53,11	53,11	53,40
	B	50,12	52,86	51,34	56,33
	C	54,68	54,95	53,89	55,76

### 3.2. KOROZYON DENEYLERİ

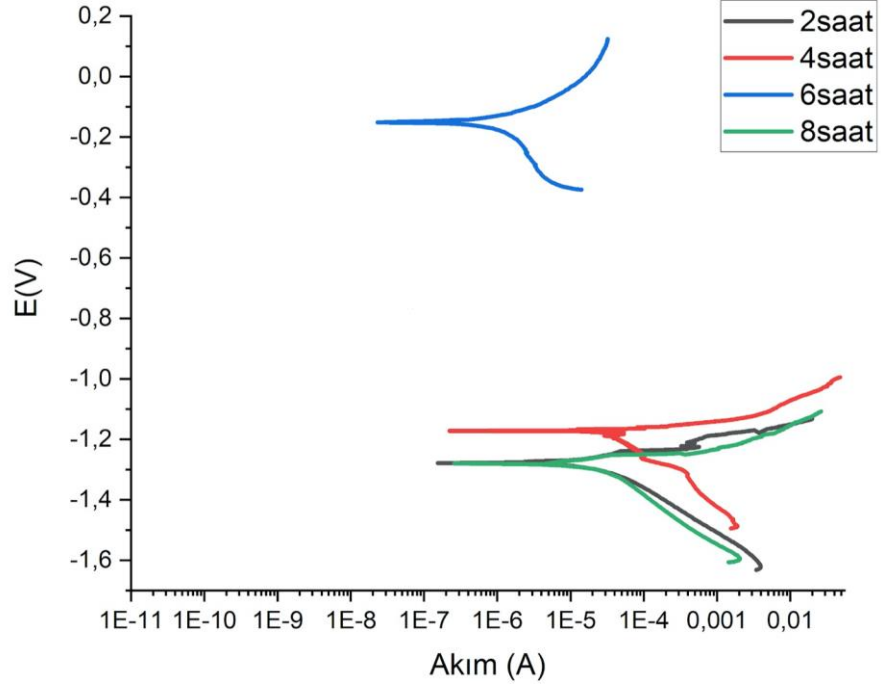
Yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelere ait potansiyodinamik korozyon test sonuçları Çizelge 3.3’de verilmiştir. İncelenen alaşımların yaşlanma sürelerine bağlı korozyon dirençleri incelendiğinde 6 saat ve 8 saat sürelerde en düşük korozyon hızlarının B numunesinde fakat en yüksek korozyon hızının C numunesinde olduğu görülmektedir. Buna rağmen 2 saat yaşlandırılmış numuneler içinde en yüksek ve en düşük korozyon hızları sırasıyla B ve C numunelerinde görülmüştür.

Çizelge 3. 3. Potansiyodinamik Korozyon testi değerleri (mil/yıl).

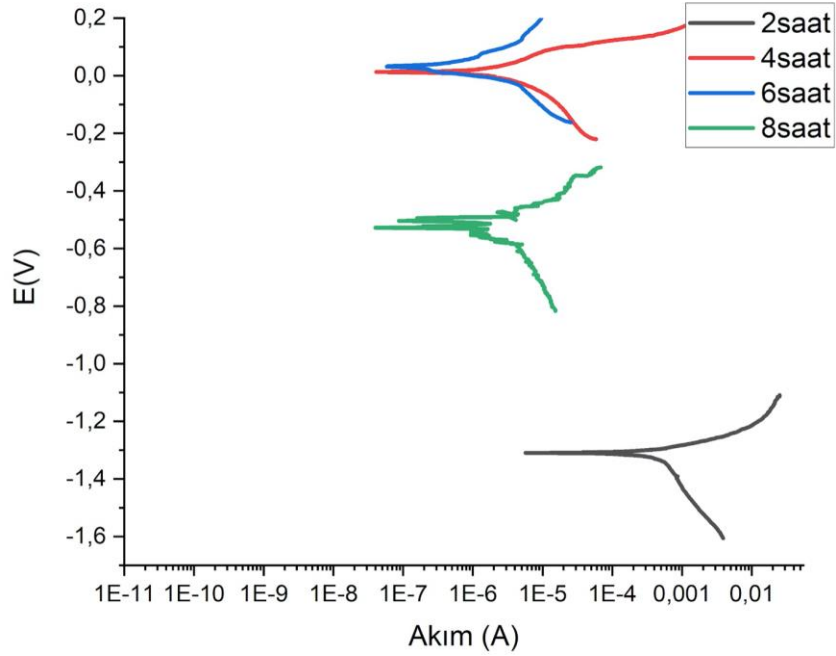
SÜRE (saat)	A	B	C
2	15,94	426,33	2,60
4	23,11	2	3.210
6	3,74	0,49	47,25
8	10,22	0,05	120,33



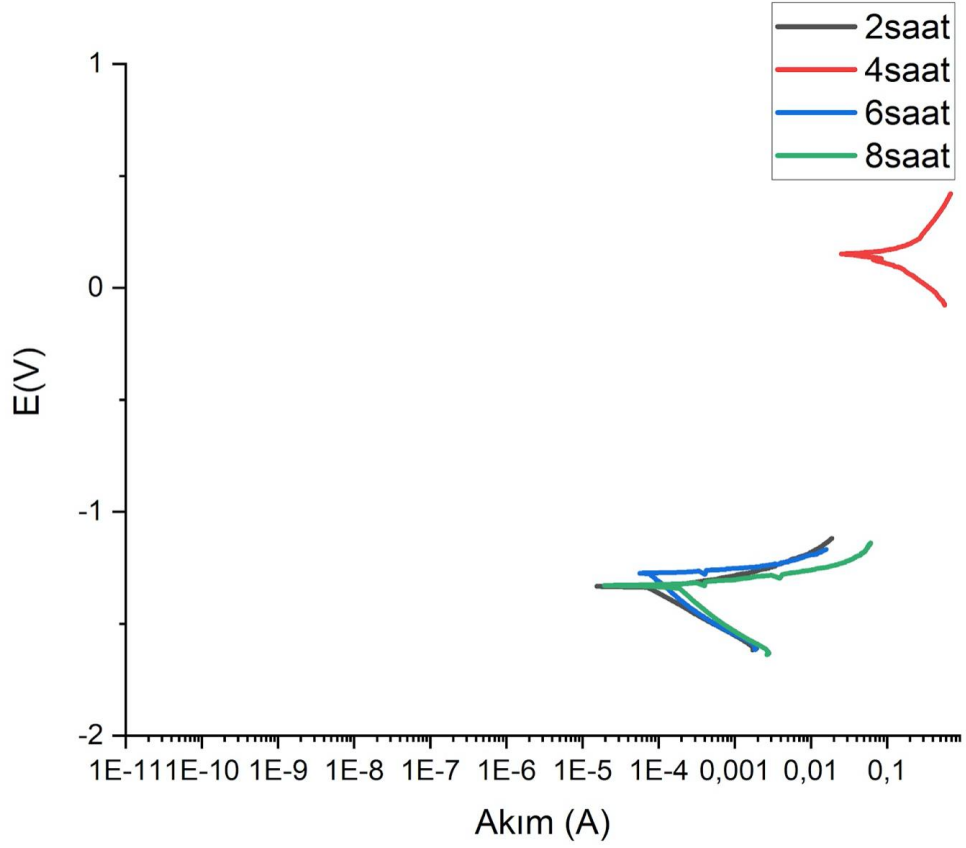
Şekil 3. 1. Korozyon hızlarının karşılaştırması.



Şekil 3. 2. A numunesinin 2-8 saat yaşlandırma sonrası tafel eğrisi değerleri.



Şekil 3. 3. B numunesinin 2-8 saat yaşlandırma sonrası tafel eğrisi değerleri.



Şekil 3. 4. C numunesinin 2-8 saat yaşlandırma sonrası tafel eğrisi değerleri.

### 3.3. AŞINMA DENEYLERİ

Yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelere ait aşınma test sonuçları Çizelge 3.4-6'de verilmiştir. Sonuçlara geniş açıdan bakabilmek için A, B ve C numunelerinin 10 N, 20 N ve 30 N'daki sonuçlarına bir grafikte x ekseninde aşınma hızı ve y ekseninde numuneler ile birlikte yaşlandırma sürelerini görüyoruz (bakınız Şekil 3.5). Sonuçları incelediğimizde aynı numune üzerinde yük arttıkça aşınma hızının düştüğünü görüyoruz. Sonuçlar arasında doğru orantı söz konusu değil, yaşlanma süresine bağlı oluşan iç yapıdaki gelişmeler aşınma sonuçlarını etkiliyor.



Çizelge 3. 4. 10 N`luk aşınma testi değerleri.

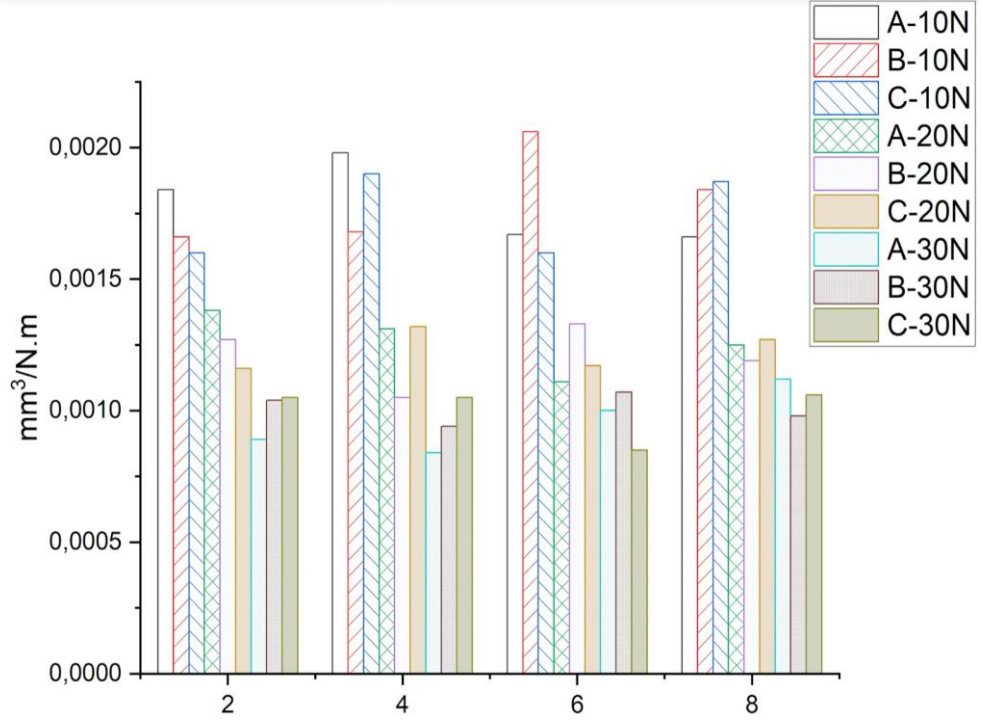
	mm <sup>3</sup> /N.m			
10 NEWTON	2	4	6	8
A	0,00184	0,00198	0,00167	0,00166
B	0,00166	0,00168	0,00206	0,00184
C	0,00160	0,00190	0,00160	0,00187

Çizelge 3. 5. 20 N`luk aşınma testi değerleri.

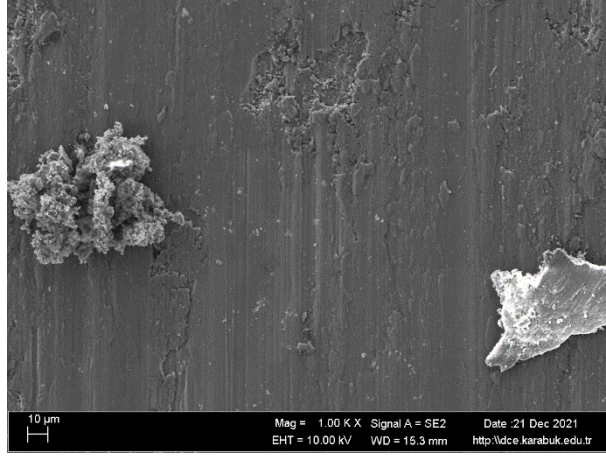
	mm <sup>3</sup> /N.m			
20 NEWTON	2	4	6	8
A	0,00138	0,00131	0,00111	0,00125
B	0,00127	0,00105	0,00133	0,00119
C	0,00116	0,00132	0,00117	0,00127

Çizelge 3. 6. 30 N`luk aşınma testi değerleri.

	mm <sup>3</sup> /N.m			
30 NEWTON	2	4	6	8
A	0,00089	0,00084	0,00100	0,00112
B	0,00104	0,00094	0,00107	0,00098
C	0,00105	0,00105	0,00085	0,00106

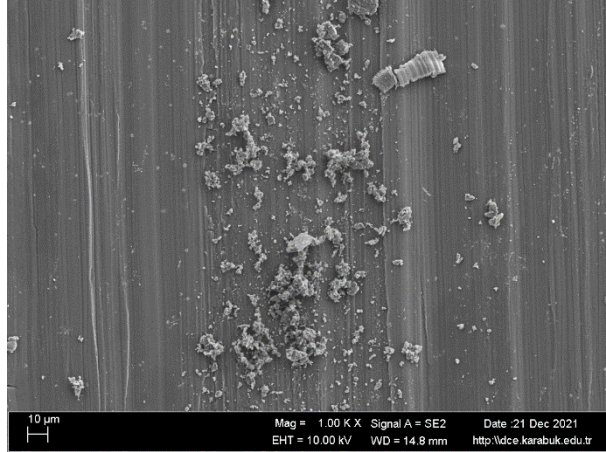


Şekil 3. 5. Aşınma hızlarının karşılaştırılması.



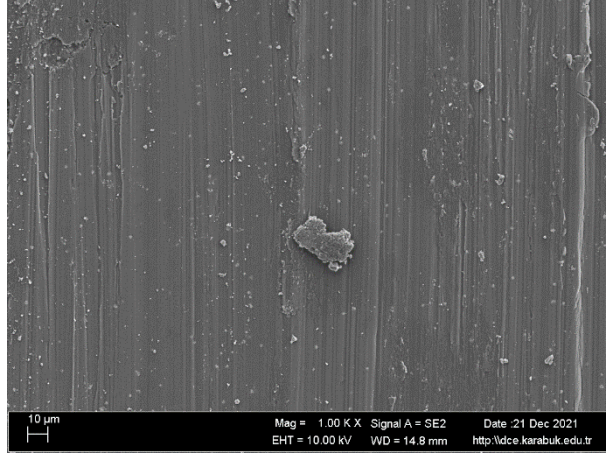
Şekil 3. 6. A numunesinin 10N yük sonrası aşınmış yüzey görüntüsü.

A numunesinin aşınmış yüzeyi delaminasyon türü aşınma mekanizmasının 10N yük altında oluştuğunu göstermektedir. Sert çelik bilye, yorulma çatlaklarını ve delaminasyonu görebildiğimiz yumuşak yüzeye kolayca nüfuz eder [24]. Aşınma ürünleri esas olarak bir abraziv aşınma mekanizması altında gözlenir [22].



Şekil 3. 7. B numunesinin 10N yük sonrası aşınmış yüzey görüntüsü.

B numunesinin 10 N yük altında geniş çukurlara maruz kaldığı görülmektedir.



Şekil 3. 8. C numunesinin 10N yük sonrası aşınmış yüzey görüntüsü.

C numunesinin aşınmış yüzeyinde ince çizikler ve dar genişlikte çukurlar 10N yük altında meydana gelmiştir.

## BÖLÜM 4

### GENEL SONUÇLAR

Homojenleştirme ısıl işleminin sonucu A, B ve C numuneleri için optimum sertlik değerleri 350 de 12 saat parametresi sonucu elde edildiği için yaşlandırma öncesi uygulanan sıcaklık ve süre olarak belirlenmiştir. Yaşlandırma ısıl işleminin sonucu en yüksek sertlik 56,33 brinell olarak B numunesinin 8 saatlik yaşlandırılma sonucu ölçülmüştür. Korozyon testleri sonucu en yüksek korozyon hızı 426,33 mil/yıl değeriyle B alaşımının 2 saat yaşlandırılmış numunesinde, aynı zamandan en düşük korozyon hızı B alaşımının 8 saat yaşlandırılmış numunesinde 0,05 mil/yıl olarak ölçülmüştür. Yaşlandırma ısıl işleminin sonucu en yüksek aşınma hızı 0,00206 mm<sup>3</sup>/N.m değeriyle 10 N yük altında aşınan 6 saat yaşlandırılmış B numunesinde, buna rağmen en düşük aşınma hızı 0,00084 mm<sup>3</sup>/N.m değeriyle A alaşımının 4 saat yaşlandırma ısıl işleminin gören numunesinde ölçülmüştür.

## KAYNAKLAR

1. Hono, K., Mendis, C. L., Sasaki, T. T., and Oh-Ishi, K., "Towards the development of heat-treatable high-strength wrought Mg alloys", *Scripta Materialia*, 63 (7): 710–715 (2010).
2. Ae, R. N., Mauermann, R., Stephan, A. E., Ae, D., and Kraus, C., "A new technology for the joining by forming of magnesium alloys", *Production Engineering 2007 1:1*, 1 (1): 65–70 (2007).
3. She, J., Pan, F., Zhang, J., Tang, A., Luo, S., Yu, Z., Song, K., and Rashad, M., "Microstructure and mechanical properties of Mg–Al–Sn extruded alloys", *Journal Of Alloys And Compounds*, 657: 893–905 (2016).
4. Witte, F., "The history of biodegradable magnesium implants: A review", *Acta Biomaterialia*, 6 (5): 1680–1692 (2010).
5. Lu, Y., Bradshaw, A. R., Chiu, Y. L., and Jones, I. P., "Effects of secondary phase and grain size on the corrosion of biodegradable Mg–Zn–Ca alloys", *Materials Science And Engineering: C*, 48: 480–486 (2015).
6. Mondolfo, L., "Aluminum alloys: structure and properties", (2013).
7. Davis, J., "Aluminum and aluminum alloys", (1993).
8. Santos, M. C., Machado, A. R., Sales, W. F., Barrozo, M. A. S., and Ezugwu, E. O., "Machining of aluminum alloys: a review", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 86 (9–12): 3067–3080 (2016).
9. Mezbahul-Islam, M., Mostafa, A. O., and Medraj, M., "Essential Magnesium Alloys Binary Phase Diagrams and Their Thermochemical Data", (2014).
10. Tsakiris, V., Tardei, C., and Clicinschi, F. M., "Biodegradable Mg alloys for orthopedic implants – A review", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 9 (6): 1884–1905 (2021).
11. Tsakiris, V., Tardei, C., and Clicinschi, F. M., "Biodegradable Mg alloys for orthopedic implants – A review", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 9 (6): 1884–1905 (2021).

12. Elliott, J. F., Legvold, S., and Spedding, F. H., "Some Magnetic Properties of Gadolinium Metal", *Physical Review*, 91 (1): 28 (1953).
13. Singh, D., "Ground-state properties of lanthanum: Treatment of extended-core states", *Physical Review B*, 43 (8): 6388 (1991).
14. Koch, G., "Cost of corrosion", *Trends In Oil And Gas Corrosion Research And Technologies: Production And Transmission*, 3–30 (2017).
15. Gusieva, K., Davies, C. H. J., Scully, J. R., and Birbilis, N., "Corrosion of magnesium alloys: the role of alloying", [Http://Dx.Doi.Org/10.1179/1743280414Y.0000000046](http://dx.doi.org/10.1179/1743280414Y.0000000046), 60 (3): 169–194 (2014).
16. Makar, G. L. and Kruger, J., "Corrosion of magnesium", [Http://Dx.Doi.Org/10.1179/Imr.1993.38.3.138](http://dx.doi.org/10.1179/Imr.1993.38.3.138), 38 (3): 138–153 (2013).
17. Xie, J., Zhang, J., You, Z., Liu, S., Guan, K., Wu, R., Wang, J., and Feng, J., "Towards developing Mg alloys with simultaneously improved strength and corrosion resistance via RE alloying", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 9 (1): 41–56 (2021).
18. Esmaily, M., Svensson, J. E., Fajardo, S., Birbilis, N., Frankel, G. S., Virtanen, S., Arrabal, R., Thomas, S., and Johansson, L. G., "Fundamentals and advances in magnesium alloy corrosion", *Progress In Materials Science*, 89: 92–193 (2017).
19. Atrens, A., Song, G. L., Cao, F., Shi, Z., and Bowen, P. K., "Advances in Mg corrosion and research suggestions", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 1 (3): 177–200 (2013).
20. Zhao, M. C., Liu, M., Song, G., and Atrens, A., "Influence of the  $\beta$ -phase morphology on the corrosion of the Mg alloy AZ91", *Corrosion Science*, 50 (7): 1939–1953 (2008).
21. Prasad, A., Jain, J., and Gosvami, N. N., "Effect of minor La addition on wear behaviour of Mg-10Dy alloy", *Wear*, 486–487: 204121 (2021).
22. Sulong, M. Z. A. M. and Aziz, R. A., "Wear of materials used in dentistry: A review of the literature", *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 63 (3): 342–349 (1990).
23. Zheng, Y., Bashandeh, K., Shakil, A., Jha, S., and Polycarpou, A. A., "Review of dental tribology: Current status and challenges", *Tribology International*, 166: (2022).
24. Patel, M., Kumar, A., Pardhi, B., and Pal, M., "Erosive and Corrosive Wear in Slurry Pumps-A Review Article", *International Research Journal Of Engineering And Technology*, (2020).

- 25.Karabaşoğlu, M., Danişmanı, T., Doç, Y., and İlhan, E., "AşINMA DENEY CİHAZI TASARIMI VE İMALATI YÜKSEK LİSANS TEZİ Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EğİTİMİ", (2008).
- 26.Archard, J. F., "Contact and rubbing of flat surfaces", *Journal Of Applied Physics*, 24 (8): 981–988 (1953).



## ÖZGEÇMİŞ

İlk ve ortaöğretimi Karabük'te okudum ardından liseyi de 75. Yıl Anadolu Lisesi (Karabük Anadolu Lisesi)'nde okudum. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde lisans programına başladım. 2020 yılında mezun olup ardından, Karabük Üniversitesi'nde Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Yüksek Lisans programına başladım. Bu dönem Yüksek Lisans programını da tamamlayacağım. Aynı zamanda 2022 yılında Çelsantaş Çelik Mamülleri firmasında satınalma uzman yardımcısı olarak iş hayatına başladım ve mesleğime devam etmekteyim.