



**MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARININ AŞINMA
DAVRANIŞLARINA ALÜMİNYUM VE ÇİNKO
İLAVELERİNİN ETKİSİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Elif YAMAN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞLARINA
ALÜMİNYUM VE ÇİNKO İLAVELERİNİN ETKİSİ**

Elif YAMAN

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Mart 2023

Elif YAMAN tarafından hazırlanan “MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞLARINA ALÜMİNYUM VE ÇİNKO İLAVELERİNİN ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 10/03/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

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

Prof. Dr. Müslüm KUZU

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.”

Elif YAMAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞLARINA ALÜMİNYUM VE ÇİNKO İLAVELERİNİN ETKİSİ

Elif YAMAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Mart 2023, 47 sayfa

Bu çalışmada amaç, Magnezyum ve alaşımlarına Al ve Zn elementlerinin sertlik ve aşınma direnci üzerine olan etkilerinin incelenmesidir. Döküm yöntemi ile dört farklı kimyasal morfolojiye sahip Mg alaşımları, Zn elementinin alaşım içerisindeki % oranı sabit tutularak Al elementinin yapı içerisindeki % oranı artırılarak AZ053, AZ13, AZ23, AZ33 kimyasal birleşime sahip numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı kimyasal morfolojiye sahip yapıların bir sonucu olarak farklı aşınma ve süneklik ilişkisine sahip Magnezyum alaşımları üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen bu alaşımlara 2N, 4N ve 8N yük, 2 mm/sn hızında 10.000 mm boyunca uygulanarak aşınma deneyi yapılmıştır. Deney sonrasında sertlikleri, mikroyapıları, optik ve SEM görüntüleri karşılaştırılmış ve alaşım oranlarının etkileri incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ise farklı kimyasal morfolojiye sahip Magnezyum alaşımlarındaki Al elementinin aşınma direncini ve sertlik değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir.

Çalışmada aşınma genişliği, aşınma derinliği ve alan kaybı detaylı olarak incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Magnezyum, Magnezyum alaşımları, Aşınma,

Bilim Kodu : 91518

ABSTRACT

Master Thesis

EFFECT OF ALUMINIUM AND ZINC ADDITIONS ON WEAR AND CORROSION BEHAVIOURS OF MAGNESIUM ALLOYS

Elif YAMAN

Karabuk University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Material Education

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

March 2023, 47 pages

In this study, the effects of Al and Zn elements on the hardness and wear resistance of Magnesium and its alloys have been researched. Mg alloys with four different chemical morphologies, the percentage of Zn element in the alloy was kept constant and the percentage of Al element in the structure was increased, and the samples with the chemical composition AZ053, AZ13, AZ23, AZ33 were produced by casting method.

As a result of structures with different chemical morphology, Magnesium alloys with different wear and ductility relation have been produced. Wear tests were carried out by applying 2N, 4N and 8N loads at a speed of 2 mm/second for 10,000 mm on these alloys. After the experiment, their hardness, microstructure, optical and SEM images were compared, and the effects of alloy ratios were researched. As a result, it has been determined that the Al element in Magnesium alloys with different chemical

morphology increases wear resistance and hardness. morphology increases wear resistance and hardness.

In this study, the wear width, wear depth and are loss has been examined in detail.

Key Word : Magnesium, Magnesium alloys, wear.

Science Code : 91518

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının oluşumunda, planlanmasında, yürütülmesinde ve araştırılmasında, ilgi ve desteklerini hiç esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden eğitim hayatım boyunca yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren kıymetli hocalarım sayın Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya ve Doç. Dr. Erkan KOÇ'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Gerekli deneylerin yapılmasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Fazıl HÜSEM'e, Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Sedef ŞİŞMANOĞLU'na ayrıca Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü'ndeki hocalarıma katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan, beni hep sevgileriyle sarıp sarmalayan sevgili annem Ayşe DÖNMEZ'e ve sevgili babam Orhan DÖNMEZ'e bu diplomayı almamda maddi manevi hiçbir yardımı esirgemedikleri ve her koşulda daima beni destekledikleri, yüreklendirdikleri için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Eğitim sürecim boyunca hep yanımda olup, beni daima destekleyen sevgili ablam Nagehan CENGİZ'e ve sevgili yeğenim Tunahan DEĞİRMENCI'ye tüm benliğimle teşekkür ederim.

Hayatımın her anında olduğu gibi bu süreçte aldığım her kararı daima destekleyen, çalışmalarına yardımcı olup katkı sağlayan sevgili hayat arkadaşım Serdar YAMAN'a hep yanımda, arkamda olduğu için tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARI	3
2.1. MAGNEZYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	3
2.2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI VE STANDARTLARI	4
2.3. MAGNEZYUM'A İLAVE EDİLEN ALAŞIM ELEMENTLERİ VE ETKİLERİ.....	6
2.3.1. Alüminyum.....	9
2.3.2. Çinko	9
2.3.3. Kalay.....	10
2.3.4. Kurşun.....	11
2.3.5. Mangan	12
2.3.6. Titanyum.....	12
2.3.7. Silisyum	13
2.3.8. Kalsiyum.....	14
2.3.9. Demir	14

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	15
AŞINMA	15
3.1. AŞINMANIN NEDENLERİ.....	16
3.1.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	16
3.1.1.1. Ana Malzeme (Aşınan) ve Karşı Malzemeye (Aşındıran) Bağlı Olan Faktörler	16
3.2. AŞINMA MEKANİZMALARI	17
3.2.1. Adhezif Aşınma	17
3.2.2. Abrazif Aşınma.....	18
3.2.3. Yorulma Aşınması	19
3.2.4. Korozif Aşınma	20
3.2.5. Erozyon Aşınma	20
3.2.6. Öğütmeli Aşınma.....	21
3.2.7. Oymalı Aşınma.....	22
3.2.8. Kazımalı Aşınma	22
3.3. AŞINMA KAYBI ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	23
3.3.1. Ağırlık Farkı Metodu.....	23
3.3.2. Kalınlık Farkı Metodu	24
3.3.3. İz Değişim Metodu	24
3.3.4. Radyoizotop Metodu	24
3.4. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞLARI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR	25
BÖLÜM 4	27
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
4.1. ÜRETİM YÖNTEMİ	27
4.2. NUMUNE HAZIRLAMA	29
4.3. MİKROYAPI İNCELEMELERİ	29
4.3.1. SEM İncelemeleri	29
4.3.2. Optik Mikroskop.....	29
4.4. SERTLİK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELEMESİ	30
4.5. AŞINMA DENEY CİHAZI.....	30
4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ TESTİ.....	30

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	31
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	31
5.1. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI.....	31
5.2. SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI	33
5.3. AŞINMA SONUÇLARI	34
5.4. ALAN KAYBI	35
5.5. SÜRTÜNME KATSAYILARI	36
5.6. AŞINAN YÜZEYLERİN SEM İNCELEMELERİ	37
BÖLÜM 6	41
SONUÇLAR	41
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Mg-Al denge diyagramı.....	9
Şekil 2.2. Mg-Zn denge diyagramı	10
Şekil 2.3. Mg-Sn denge diyagramı	11
Şekil 2.4. Mg-Pb denge diyagramı	11
Şekil 2.5. Mg-Mn denge diyagramı	12
Şekil 2.6. Magnezyum-Titanyum diyagramı	13
Şekil 2.7. Magnezyum-Silisyum denge diyagramı	13
Şekil 2.8. Mg-Ca denge diyagramı	14
Şekil 3.1. Adhezif aşınma mekanizması.	18
Şekil 3.2. 2 Elemanlı abrasif aşınma mekanizması gösterimi	19
Şekil 3.3. 3 Elemanlı abrasif aşınma mekanizması gösterimi	19
Şekil 3.4. Yorulma aşınma mekanizması gösterimi.....	20
Şekil 3.5. Erozyon aşınma mekanizması	21
Şekil 3.6. Bir kesici uçta kendi kendine meydana gelen bilenme oluşumunun şematik olarak gösterilimi.....	22
Şekil 4.1. Kullanılan metalik kalıbın şematik görünümü.	28
Şekil 5.1. AZ053 alaşımına ait mikroyapı.	31
Şekil 5.2. AZ13 alaşımına ait mikroyapı.	32
Şekil 5.3. AZ23 alaşımına ait mikroyapı.	32
Şekil 5.4. AZ33 alaşımına mikroyapısı.....	33
Şekil 5.5. Mg alaşımlarının Al miktarına bağlı olarak sertlik değişim grafikleri. ...	33
Şekil 5.6. Ağırlık Kaybı – Uygulanan Yük.	34
Şekil 5.7. Alan kaybı (mm ²) – Uygulanan yük grafiği.	36
Şekil 5.8. Sürtünme katsayısı (M) – Uygulanan yük (N).	37
Şekil 5.9. 2N yükteki SEM mikroyapısı.	38
Şekil 5.10. 4N Yükteki SEM Mikroyapısı.	39
Şekil 5.11. 8N Yükteki SEM Mikroyapısı.	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Magnezyum metaline ait birkaç fiziksel özellikler.....	4
Çizelge 2.2. Alaşım elementlerinin gösterimi.....	5
Çizelge 2.3. Mg alaşımlarına ait standartlar ve bileşimler (ASTM B 93/B 93M ve ASTM B94).	6
Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan alaşımların kimyasal analizleri (% ağırlıkça oran).	27

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Na	: sodyum
K	: potasyum
Al	: alüminyum
Ag	: gümüş
Fe	: demir
Si	: silisyum
Cu	: bakır
Sn	: kalay
Ca	: kalsiyum
Mn	: mangan
Li	: lityum
γ	: birim hacim ağırlığı
Zn	: çinko
Zr	: zirkon
Ce	: seryum
Nd	: neodimyum

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
HSP	: Hekzagonal Sıkı Paket
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
BC	: Basit Kübik
HMK	: Hacim Merkezli Kübik

SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu

XRD : Işını Kırım Yöntemi

XRF : X - Işını Floresans

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Magnezyum alaşımları diğer alaşım elementleri gibi endüstri sektöründe yapı malzemesi olarak gün geçtikçe kullanım alanı artış göstermektedir. Ayrıca savunma sanayisi ve taşımacılık sektörü gibi çoğu mühendislik alanları için çok büyük öneme sahiptir [1-2].

Magnezyum alaşımlarının demir çelik üretimine kıyasla kullanımının az olması üretim maliyet faktörüdür. Üretim maliyeti yüksek olduğu için fazla tercih edilmemektedir. Magnezyum alaşımları hafif ve kendine has dayanım özelliklerine sahip olduğu için birçok sektörlerde tercih edilirler. Magnezyum alaşımlarının yüksek ısı iletkenliği, iyi işlenebilme, geri dönüşümün kolay olması gibi faktörler tercih edilme sebeplerinden birkaçıdır. Otomotiv sektöründe yakıt sarfiyatını düşürmek için birçok alternatif yol aranmaktadır. Magnezyum alaşımlarının hafif ve mukavim olması otomotiv sektöründe de tercih sebebini oluşturmaktadır [3].

Metal ve metal dışı elementlerin saf halleri düşük mukavemet özelliğine sahip oldukları için insanoğlu geçmişten günümüze ana malzeme olarak seçtikleri elementlere alaşımlandırma yolu ile dayanım kazandırma yoluna gitmişlerdir. Özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerinde hafif, şekillendirilebilme kabiliyeti yüksek, korozyon direnci iyi malzemeler kullanılmak istenmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde magnezyum alaşımlarını oluşturan elementlerin kolay şekillendirilebilme kabiliyetine sahip yüksek dayanım gösteren alaşımlardan olması tercih edilir. Magnezyum alaşımları otomotiv sektöründe motor bloğu, krank kapağı yapımında kullanılmış yapısal düzeni bozmadan motor bloklarına oldukça hafiflik kazandırmıştır.

Magnezyum alaşımlarının üretim maliyeti yüksek olması dezavantaj gibi görünse de yakıt tasarrufu, performans artışı sağlaması, emisyon azaltması, güvenlik gibi birçok neden önümüzdeki yıllarda tercih edilebilirliği daha da artıracaktır.

Alümiyum ve demir elementinden sonra en çok tercih edilen elementlerden biridir. Bu çalışmada Magnezyum alaşımlarına ilave edilen Alümiyum ve Çinko elementinin etkisi irdelenmiş ve Alümiyum elementinin aşınma direnci arttırdığı gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmaların kesinleşmiş sonuçları açıklanmıştır. Beşinci ve son bölümde ise deneysel çalışmalar sonucu bir takım neticeler elde edilmiştir. Bulunan bu neticeler sonucunda ise deneysel çalışmanın hedefine ve gayesine uygun bir şekilde yorumlanıp neticelendirilmiştir.

BÖLÜM 2

MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARI

2.1. MAGNEZYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ

Magnezyum, $1,74 \text{ gr/cm}^3$ 'lük düşük yoğunluğu sebebiyle yapı çalışmalarında tercih edilen en hafif metallere biridir. İlk kez 1808 İngiliz kimyager ve fizikçi olan Humphry Davy tarafından keşfedilmiştir. Okyanuslarda ve yer kabuğunda bulunur. Periyodik cetvelde toprak alkali elementler grubunda yer alır [6].

Magnezyum, toprakta ve deniz suyunda çok bulunur ve yapı metalleri içerisinde diğerlerine nazaran oldukça hafif bir metaldir. Alüminyum'dan $2/3$ oranında daha az yoğunluğa ve yüksek mukavemete sahip bir metaldir [4].

Magnezyum metali, magnezit (MgCO_3), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) veya karnolit ($\text{K}_2\text{MgCl}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) gibi cevherlerden ya da tuz depozitlerinden, yapay tuzlu ve doğal yeraltında bulunan suların ya da deniz suyundan elde edilirler. Magnezyum metali üretimi; ergimiş magnezyum klorürün indirgenmesi şeklinde dolomit cevherlerinin elektrolizi kimyasal yollarla çöktürülerek arıtılması işlemleri ile yapılır ya da tuzlu suların elde edilmiş magnezyum oksitinin termal indirgenmesi ile 2 şekilde üretimi gerçekleştirilir [5].

Saf halde bulunan Magnezyumun fiziksel ve mekanik özelliklerini ifade etmek istersek şayet Magnezyum, farklı metal ve alaşımları ile mukayese edildiğinde titreşim gücünü sönmüleyebilmesinin arzu edildiği taleplerde genellikle tercih edilen malzemedir [6].

Magnezyum ve alaşımları, alüminyum alaşımlarına nazaran dayanım değerinin düşük, özgül dayanımının yüksek olmasından dolayı tercih edilebilir. Magnezyum

alaşımlarının rijit ve özgül dayanımları ele alındığında ise alüminyum alaşımlarına mukayese edildiğinde dayanımları daha yüksektir [7].

Çizelge 2.1. Magnezyum metaline ait birkaç fiziksel özellikler [8].

Simgesi	Mg
Atom Numarası	12
Atom Ağırlığı	24,312 g/mol
İyon Değeri	+2
Kaynama Noktası	1090 °C
Ergime Noktası	650 °C
Yoğunluk	1,74 g/cm ³
Elektron Düzeni	3s ²
Kristal Yapısı	Hekzagonal Sıkı Paket (HSP)
Çekme Dayanımı	80-180 Mpa
Young Modülü	45 GPa
Çekme (Katı-Sıvı)	4,2 %
Atom Hacmi	14,0 (Atom Ağırlığı/Yoğunluk)
Özgül Isısı	0,25 cal/g°C
Isı iletkenliği	156 W/m°K, s.cm.°C (Oda Sıcaklığında)
Kaynama Isısı	32,517 Kcal/Atomgram

2.2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI VE STANDARTLARI

Üretim metotlarına göre geleneksel sınıflandırma hala kullanılan bir yöntemdir. İlk bölüm bileşenlere göre değişim göstermektedir. Sınırlı sayıda alaşım elementinin olması, alaşım elementlerinin çoğunun alüminyum, manganez, toprak elementleri (yada benzerleri), çinko ve alüminyum, manganez serbest alaşımları, zirkonyum elementlerine bağlı olmasına neden olmuştur. Bir alaşımdaki ana elementleri gösterimi Çizelge 2.2’de ifade edilmiştir. Buna göre örneklendirecek olursak AZ91 alaşımı içerisinde, %9 Alüminyum ve %1 Çinko olduğunu ifade eder [9].

Çizelge 2.2. Alaşım elementlerinin gösterimi [9].

ALAŞIM ELEMENTİ	HARF
Alüminyum	A
Bakır	C
Nadir Elementler	E
Toryum	H
Zirkonyum	K
Lityum	L
Manganez	M
Gümüş	Q
Silisyum	S
İtriyum	Y
Çinko	Z

Magnezyum alaşımlarının geri dönüşümlerinin olması, iyi dökülebilirlikleri ve işlenebilme kabiliyetlerinin olması mukavemet/ağırlık oranlarının yüksek olması gibi önemli özelliklere sahiptirler. Magnezyum alaşımların elektrik iletkenliklerinin yüksek olması ve termal özelliklerinin oldukça iyi olmasının yanında titreşim özelliklerinin ve emme kabiliyetlerinin iyi olması gibi özellikleri vardır. Magnezyum, zehirli bir madde değildir ve farklı metodlarla şekillendirilip, işlenebilir [10].

ASTM B 93/B ve ASTM B94'e göre Magnezyum alaşımlarına ait bileşimler ve standartlar çizelgedeki gibidir.

Çizelge 2.3. Mg alaşımlarına ait standartlar ve bileşimler (ASTM B 93/B 93M ve ASTM B94).

Alaşım	Mg Alaşımları									
	AM50	AM60	AS21	AS41	AZ31	AZ61	AZ80	AZ91	ZE10	ZK60
Al	4,4-5,4	5,5-6,5	1,9-2,5	3,7-4,8	2,5-3,5	6,5	7,8-9,2	8,5-9,5	0,05 max	0,05 max
Zn	0,22 max.	0,22 max.	0,15-0,25	0,10 max.	0,7-1,3	1	0,2-0,8	0,45-0,90	1,0-1,5	4,8-6,2
Mn	0,26-0,60	0,24-0,60	0,20 max.	0,35-0,60	0,20 max.	0,15	0,15-0,5	0,17-0,40	0,1 max.	0,1 max.
Si	0,08 max.	0,05 max.	0,70-1,2	0,60-1,4	0,05 max.	0,20 max.	0,10 max.	0,05 max.	0,05 max.	0,05 max.
Fe (max)	0,004	0,005	0,004	0,0035	0,005	-	0,05	0,004	0,03	0,03
Cu (max)	0,01	0,008	0,008	0,015	0,05	0,08	0,05	0,025	0,02	0,05
Ni (max)	0,002	0,002	0,001	0,001	0,005	0,01	0,005	0,001	0,005	0,005
Be	-	-	-	-	-	-	0,002	-	0,002	0,002
Ce	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12-0,25	-
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3-0,9
Diğer	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	0,01	-	-
Mg	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

2.3. MAGNEZYUM'A İLAVE EDİLEN ALAŞIM ELEMENTLERİ VE ETKİLERİ

Diğer metallere gibi Magnezyum'da saf halde kullanılır. Döküm ya da dövme ürünleri Magnezyum'a alaşım elementlerini ilave ederek elde edebiliriz. Bu sayede ise malzemenin dayanım özelliklerinde düzelmeler elde edilir. Hekzagonal sıkı paket yapısına sahip olan Magnezyum, kristal yapısından dolayı tane çapları fazla sayıdaki elementlerle katı çözünebilmektedir. Magnezyum genellikle yapısal çalışmalarda kullanılır ve ana element olan Alüminyum, Mn, Cu, Ag, Ca, Si, Fe, Sn, Zr ve nr gibi elementler ile alkali olan Li, K, Na ve Y, Ce, Nd gibi toprak elementleriyle alaşımlandırılır. Belirtilen elementlerden biri ya da birkaçıyla Magnezyum alaşımlandırıldığı takdirde oldukça iyi mukavemet/ağırlık oranı elde edilir [11-12-13-14].

Magnezyum alaşımlarında iki önemli sertleştirme mekanizması kullanılır. Bunlardan ilki katı eriyik sertleşmesi ikincisi ise çökelti sertleşmesi oluşumdur. Hume-Rothery kurallarına göre; atomların çapları mukayese edildiğinde aradaki fark %14-15'ten fazla olursa, katı çözelti elde edilmeyebilir. Katı bir çözelti elde edebilmek için ise çözelti yapılacak elementlerin ikisi de aynı kristal yapıya sahip olması gerekmektedir [15].

Aktif bir metal olan Magnezyum'un indirgenme gibi oldukça önemli olan özelliği bulunmaktadır. Bundan dolayı magnezyum, uranyum, zirkonyum ve titanyum gibi reaktif olan metallerin ekstraksiyonlarında kullanılabilir. Magnezyum'un kullanım alanını düşük korozyon direncine sahip olması kısıtlamaktadır. Spesifik metal empüritelere olduğunda ya da klor iyonu içeren elektrolitlerin etkisindeyken korozyon direnci oldukça düşüktür. Fakat bu şartlarda bile magnezyum üzerinde bulunan oksit tabakası kırsal, endüstriyel ya da deniz atmosferindeki koşullarda önemli ölçüde bir korozyon direnci sunmaktadır. Bundan dolayı magnezyum alaşımları deniz atmosferine açık olan yerlerde dahi yumuşak çelikten çok daha iyi korozyon direnci sağlar. Korozyon direnci yumuşak çelikler ve alüminyum arasında olan magnezyum, bazı koşullarda alüminyum alaşımlarıyla kıyaslandığında çok daha iyi korozyon direnci göstermektedir [16].

Magnezyum ve alaşımları oda sıcaklıklarında şekillendirilmeleri oldukça zor olmasına rağmen kaynak edilebilirler. Magnezyumun en önemli alaşım elemanları çinko ile alüminyumdur [17].

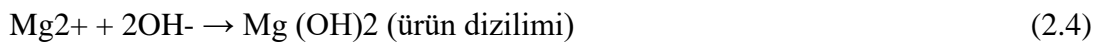
Magnezyumun kullanım alanlarına bakıldığında ve alaşımlarının düşük korozyon direncine sahipliği göz önünde bulundurulursa eğer oldukça kısıtlıdır. Korozyon direncine sahip oluşu özellikle spesifik metal empüritelere olduğunda veya klor iyonu içeren aktif elektrolitlerin etkisinde olduğunda son derece düşüktür. Magnezyum üzerinde oluşan oksit filmi korozyona karşı az da olsa bir korozyon direnci sunmaktadır. Buna bağlı olarak magnezyum alaşımlarının atmosferik korozyon dirençleri deniz atmosferindeki açık alanlarda dahi olsa yumuşak çelikten daha iyi korozyon direnci sağlar. Korozyon direnci olarak Magnezyum alaşımları mukayese edilmek istenirse eğer yumuşak çelik ile alüminyum arasındadır. Hatta bazı noktalarda alüminyumun alaşımlarına kıyasla daha bir korozyon direnci sağlamaktadır. Magnezyum klorür içeren çözeltilere de oldukça duyarlıdır. Basınçlı döküm alaşımı AZ91'in pratikte kullanılan uygulamada yöntem olarak tuz spreyi ile korozyon direnci yumuşak çelik ve alüminyum ile mukayese edildiğinde ileri miktarda yüksektir [18].

Magnezyum alaşımları otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılır. Mühendislik ile ilgili alanların malzemelerinde kullanıldığında ise korozyon davranışı bazı istenmeyen problemlerin kaynağını oluşturmaktadır. Düşük korozyon davranışının nemli bir bölgede olmasının iki temel sebebi olmaktadır. Bunların ilki ikincil fazlardan kaynaklanarak oluşan galvanik korozyon ve içeriğinde bulunan yabancı maddelerden kaynaklanmaktadır. 2) Diğer metallere mukayese edildiğinde ise yüzeyde oluşan yarı pasif hidroksitin çok koruyamamasıdır [19].

Magnezyumun ıslak bir ortamda çözünmesi su ile beraber olmaktadır. Elektrokimyasal bir reaksiyon olarak devam eder. Magnezyum hidroksit ve moleküler hidrojen (H₂) oluşturur. Bu sayede ise magnezyumun oluşturduğu korozyon, oksijen korozyonu ile karşılaştırıldığında duyarsızdır. İlgili reaksiyon aşamaları aşağıdaki gibidir:



Tüm korozyon aşamalarının reaksiyonları parçalı tepkimelerin toplamı olarak gösterilmektedir.

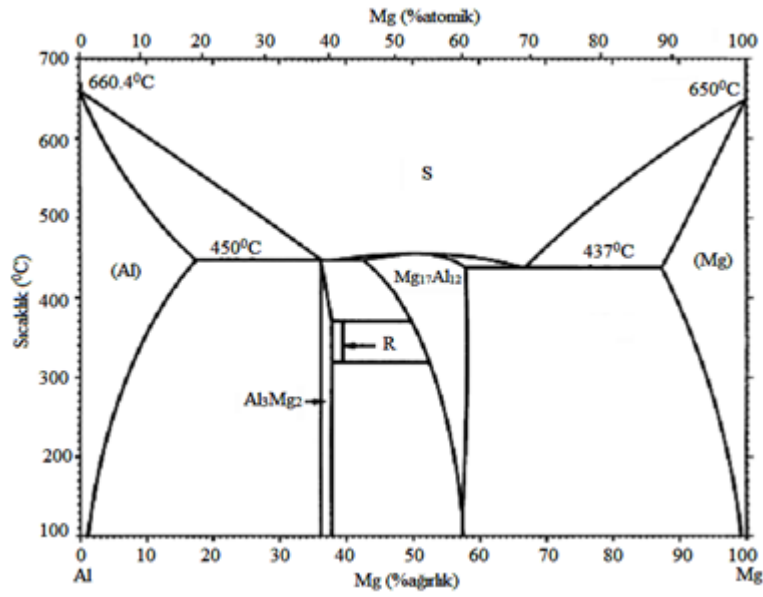


Magnezyumun korozyon dayanımı yüzeyinde oluşan film tabakasının karakteristiği ile alkalıdır. Fakat diğer çözeltilerde ise magnezyum üzerindeki pasif tabaka ile ilgili sınırlı bilgi bulunmaktadır [16].

Magnezyum alaşımlarında kullanılan elementlerin etkileri aşağıdakiler gibidir.

2.3.1. Alüminyum

Kalıp döküm alaşımlarının temelini oluşturan Alüminyum en çok kullanılmakta olan alaşım elementidir. Maksimum çözünürlük %11.5 ve %6 kütleyi aşan alaşımlar ısıtılma işlemi tabii tutulabilirler. Alüminyumun gücü, yaklaşık %6 olarak gözlemlenen güç ve süneklik kombinasyonunu oldukça güçlendirir. Alaşımlar yeniden dökülebilirler. Sürünme direnci $Mg_{17}Al_{12}$ fazının zayıf termal kararlılığından dolayı sınırlıdır [11].

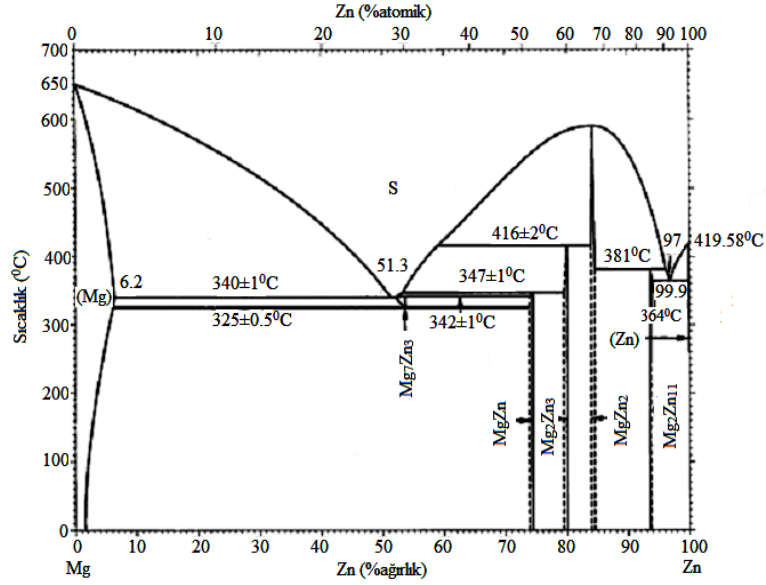


Şekil 2.1. Mg-Al denge diyagramı [22].

2.3.2. Çinko

Çinko, alaşım ilavelerinden en yaygın olanlarından biridir. Alüminyum ile birlikte kullanılır (Örneğin, AZ91 veya Zirkonyum, Toryum veya Nadir Toprak elementleri) [11].

Ortam sıcaklıklarında dayanımı, sertliği ve akıcılığı çökelti sertleşmesiyle arttırmakla beraber tane sınırlarında oluşan çökeltmeden dolayı sıcak yırtılma oluşturduğundan %2 ile sınırlı olmaktadır. Tane sınırlarında olan ötektik miktarındaki artış katılaşma sıcaklığını azaltır [11].



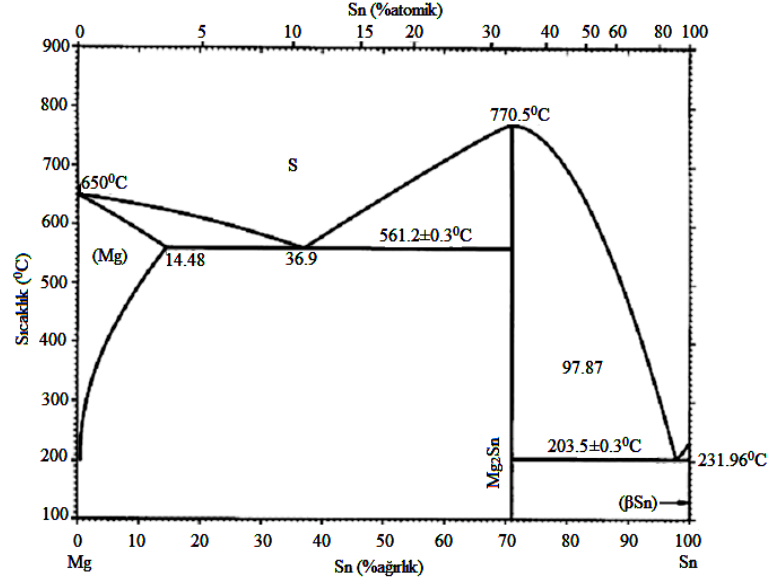
Şekil 2.2. Mg-Zn denge diyagramı [22].

2.3.3. Kalay

Kalay, Magnezyum'a nazaran düşük ergime sıcaklığına ve akıcılığa sahiptir. Magnezyum'a ilave edilen alaşım elementi elde edilen alaşımın sünekliğini artırır [20].

Az miktardaki kalay, az miktarda Al ile birlikte sünekliği arttırmak ve dövme işlemi esnasında oluşabilecek çatlama eğilimini azaltmak için kullanılır. Bu nedenle istenilen özelliklerin sağlanabilmesi için ne kadar az elementin mevcut olduğu açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Yeni ve daha iyi alaşımlar elde edebilmek için araştırmaların devam ediyor olması çoğunlukla alışılmadık elementler örneğin skandiyum stronsiyum ve terbium gibi alaşım yapılabilecek elementler araştırılıyor [11].

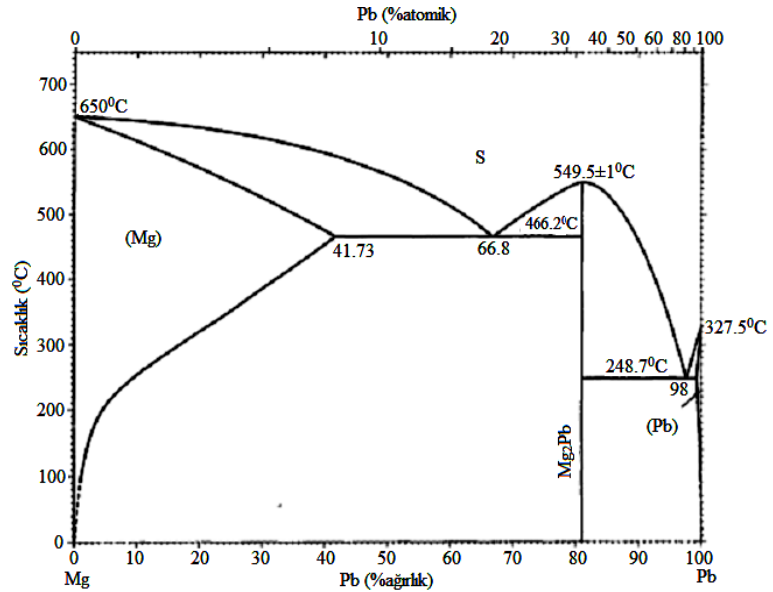
AZ91 alaşımına %0,5 Sn ilave edilmesiyle mekanik özelliklerinin iyileştiği yapılan çalışmada gözlemlenmiştir [21].



Şekil 2.3. Mg-Sn denge diyagramı [22].

2.3.4. Kurşun

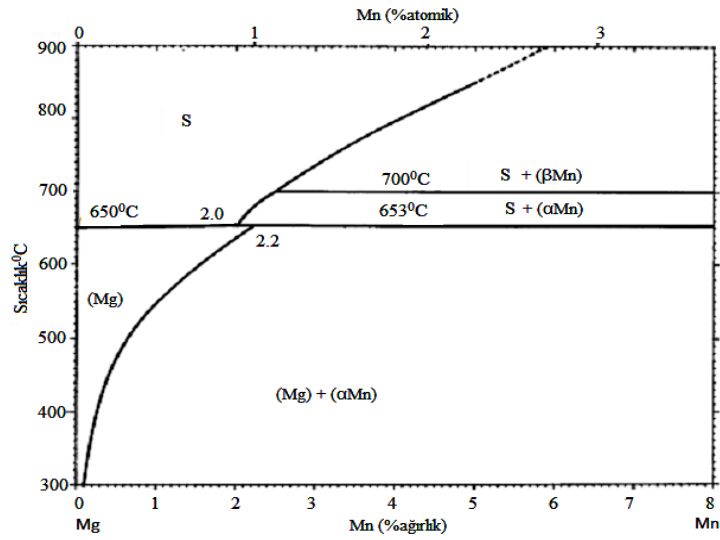
Pb ile alaşımlama yapıldığında takdirde iyi bir çözünürlüğe sahip olur. Yüksek sıcaklıklarda ise (hemen hemen 460°C) %45'e kadar çözünüp ayrı bir faz oluşturmamaktadır. Bununla birlikte Mg₁₇Al₁₂ fazını inceltirerek akma ve çekme dayanımlarını artırır [23].



Şekil 2.4. Mg-Pb denge diyagramı [22]

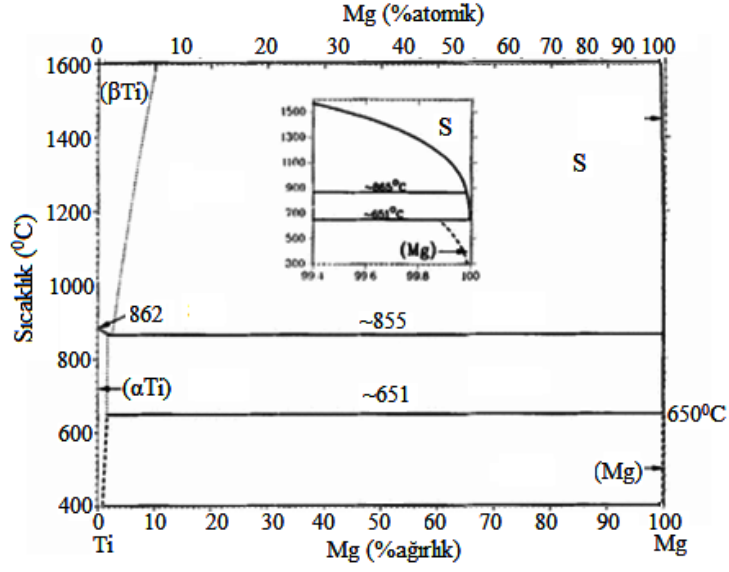
2.3.5. Mangan

Mangan genelde tek başına kullanılır. Al ile kullanılmaz. Bu durumlarda bileşik $MnAl$, $MnAl_6$ veya $MnAl_4$ şeklinde oluşturulur. Mn, Demir'in çözünebilirliğini düşürür ve daha zararsız bileşikler meydana gelir. MgAl ve MgAlZn alaşımlarının akma direnci yükseltir. Tuzlu su ise korozyon direncini oldukça geliştirir. Dövme veya haddelenmiş çubuklarda ikili alaşımlar (M1A) kullanılır. Mangan'ın maksimum miktarı kütlece %1.5 ile 2'dir. Mn, alaşımlarda korozyonu arttırmak amacıyla ilave edilir ve %0,1-0,5 arasında kullanılır. Mangan'ın Magnezyum esaslı alaşımlarda korozyonu artırır ve akma dayanımı, sürünme direncine etkileri oldukça önemlidir [24].



2.3.6. Titanyum

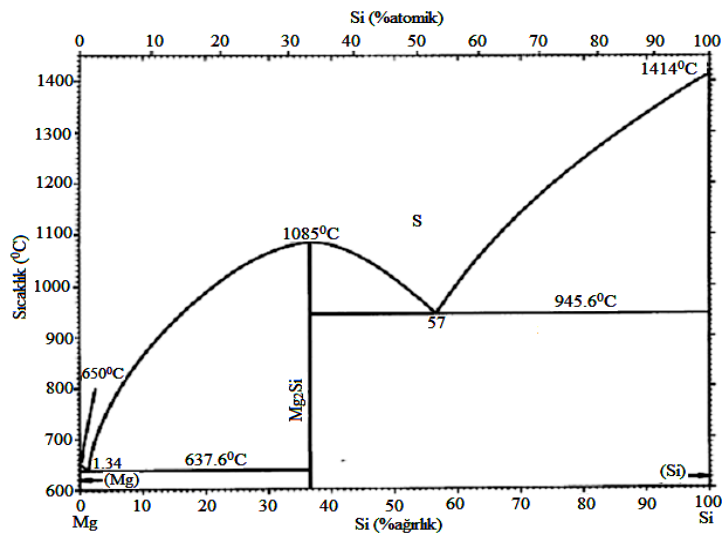
Titanyum, alaşıma minimum seviyede ilave olsa da, inceltici olarak görevi yapar. Magnezyum içerisinde çok az miktarda çözünür. Titanyum'un çözünebilirlik miktarı hızlı katılaşma ile arttırılabilmektedir [25].



Şekil 2.6. Magnezyum-Titanyum diyagramı [22]

2.3.7. Silisyum

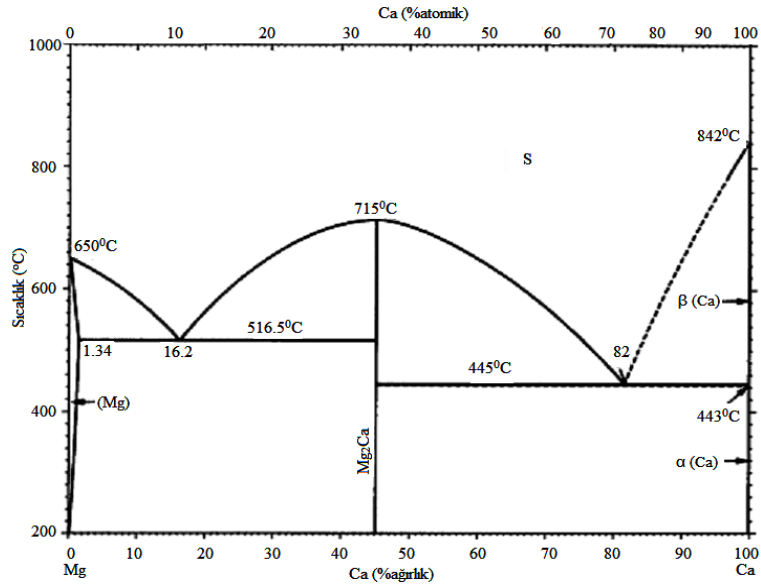
Silisyum, Magnezyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda dayanımını artırır [13-26]. Magnezyum martisinde bulunan silisyum atomları oda sıcaklığı koşullarında intermetalik faz oluşturmasından ötürü dökülebilirliğini düşürürken yüksek sıcaklıklardaki özelliklerini geliştirmektedir. Aşağıda Magnezyum-Silisyum denge diyagramı gösterilmektedir [22].



Şekil 2.7. Magnezyum-Silisyum denge diyagramı [22].

2.3.8. Kalsiyum

Kalsiyum $1,55 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğuna sahiptir. Magnezyum içerisinde 565°C 'de en yüksek çözünürlüğü $\%1,34$ 'ken 200°C 'de yaklaşık $\%0$ 'dır. Magnezyum içerisinde Kalsiyum, sınırlı miktarda çözünmesinden dolayı katı eriyik sertleşmesine olan etkisi sınırlıdır [13-26-27]. Mg_2Ca 'nın kararlı bir intermetalik olması alaşımın tane küçülmesine ve sürünme direncini arttırmaya neden olur.



Şekil 2.8. Mg-Ca denge diyagramı [22].

2.3.9. Demir

Korozyon direnci olumsuz olarak etkilediği için zararlı olarak değerlendirilmektedir. İdeal bir korozyon direnci için demir oranı ağırlıkça maksimum $\%0,005$ olarak tayin edilmiştir [28].

BÖLÜM 3

AŞINMA

Aşınma, birbiri ile temas durumunda olan yüzeylerin sürtünme hareketi sırasında oluşmaktadır. Bir yüzeyden, diğer yüzeye malzeme transferi ya da kütle transferi olarak tanımlanabilir. Aşınma birbirleri ile temas eden yüzeylerin mekanik etkilerden dolayı kopup, ayrılmasıdır [29]. Aşınma; erime, kütle kaybı, kimyasal çözünme ve fiziksel ayrılma şeklinde gerçekleşir. Aşınma uygulamalarında daha çok kimyasal çözünme ve fiziksel ayrılma görülür.

Her yıl makina parçalarının aşınması, ekonomik olarak kayıplara neden olur. Aşınmanın etkisiyle makina parçalarının yüzeylerinde, boyutlarında ve yüzeylerinde bir takım değişiklikler meydana gelir. Bir çok uygulamada yüzeyler arasında sürtünme olması istenirken, aşınmaya bağlı malzeme kaybının olmaması istenir. Aşınmadan ötürü makina parçaları görevlerini yerine getiremeyecek duruma gelmektedirler. Bu sebepten dolayı her geçen gün aşınmaya karşı dayanıklı malzeme isteği artmaktadır.

Aşınma uzun yıllardır bilinen hasar tipidir. Birbiri ile temas eden malzemelerin yüzeyleri yağlayıcılar ve oksit filmleri ile korunmalarına rağmen mekanik yüklerin etkisiyle yağlamanın ya da oksit tabakasının birbirleriyle temas ederler. Birbirleri ile temasları sırasında oluşan sürtünmeden dolayı malzemenin ömrünü ve performansını etkileyen aşınmaya sebep olur [30].

Aşınma, temel olarak malzeme yüzeyinde oluşan hasardır ve malzeme yüzeyinde oluşan her durum aşınmayı da etkilemektedir [31].

Malzemedeki yıpranmaların aşınma olarak yorumlanabilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir.

1. Mekanik etmen olmalı,
2. Sürtünme olmalı,
3. Devamlı bir hareket olmalı,
4. Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana gelmesi [32].

3.1. AŞINMANIN NEDENLERİ

Aşınma sistemi ana malzeme yani aşınan malzeme, karşı malzeme yani aşındıran malzeme ara malzeme, yük ve yoldan oluşan bir sistemdir. Bu sistem tribolojik olarak adlandırılmaktadır [33].

Bir malzemede aşınma olabilmesi için sürtünme hareketi olmalıdır. Sürtünme ile aşınma başlar ve devam eder. İmalati yapılan parçada tam olarak pürüzsüz bir yüzey elde etmek imkansızdır. Üretimde kullanılan kesici ve yontucu materyaller her ne kadar iyi bir şekilde hazırlanıp itinayla işçilikleri yapılsa da mikron yüzeylerinde pürüzler kalır. Tüm parçalarda pürüzler olduğu düşünöldüğü takdirde birbirleri ile sürtünme yapan iki farklı cismin temas alanı, normalde görölen temas alanından çok daha küçüktür [34].

3.1.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen faktörleri ana malzeme (aşınan) ve karşı malzeme (aşındıran) şartlar olarak 2 başlık altında inceleyebiliriz.

3.1.1.1. Ana Malzeme (Aşınan) ve Karşı Malzemeye (Aşındıran) Bağlı Olan Faktörler

Aşınan ve aşındıran malzemenin aşınması kristal yapı, yüzey, boyut, sertlik ve elastiklik modölü gibi faktörlere bağlıdır.

Kristal yapı olarak malzemelerin kristal yapısında ki atom yoğunluklarına bağlı olarak aşınma dirençleri değişmektedir. Malzemelerde ki atom yoğunluklar $YMK < HMK <$

BC< HSP şeklindedir. Çalışmamızda kullandığımız Mg alaşımları HSP yapıda olduğu için aşınma dirençleri diğer kristal yapılara nazaran daha yüksektir.

Yüzey açısından ise malzemelerdeki aşınmaların engellenmesindeki etkili yollardan birisi yüzey sertliğini artırma işlemidir.

Sertlikte ise malzeme sertliği arttıkça aşınmaya karşı olan dirençleri artar. Tezimizde kullandığımızda AZ053<AZ13<AZ23<AZ33 alaşımlarının sertliği şeklinde sıralanabilir. Sertliği en yüksek olan AZ33 malzemesi en düşük aşınmayı vermesi beklenmektedir.

Elastiklik modülü ise elastiklik modülü fazla olan malzemelerin aşınmaya karşı dirençleri daha fazladır. Malzemenin plastik deformasyona uğraması ve kopması için daha fazla yüke ihtiyaç duyulur.

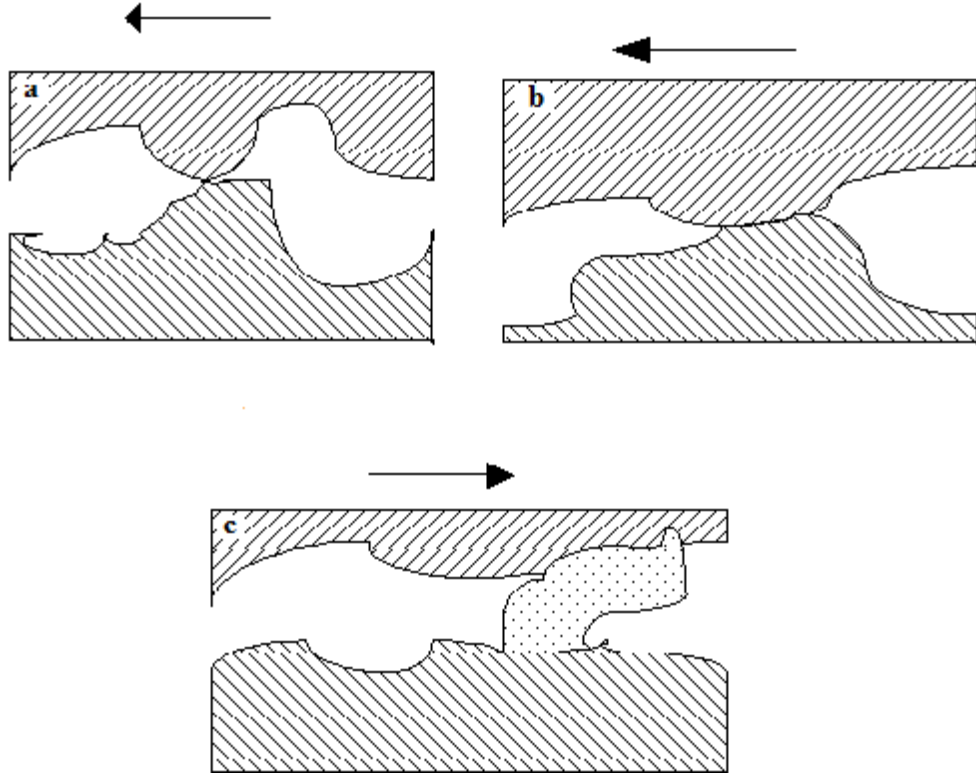
Bunlara ek olarak boyut, ısı, nem, basınç ve hız faktörleri de aşınma mekanizmalarını etkileyen oldukça önemli faktörlerdir.

3.2. AŞINMA MEKANİZMALARI

Önemli aşınma mekanizmaları aşağıda ana başlıklar halindeki gibidir. Aşınmanın olduğu uygulamalarda aşınma mekanizmalarının 2 ya da daha fazlası birlikte görülebilmektedir.

3.2.1. Adhezif Aşınma

Metal yüzeyleri arasında birbiri üzerinden kayma hareketi ile oluşan aşınma türüdür [35]. İki farklı metalin yüzeyleri basıncın etkisinde bir araya getirildiklerinde yüzeylerde bulunan çıkıntılar sürtünmenin etkisiyle oluşan ısı ve soğuk kaynaklaşmanın etkisiyle bağ yaparlar ve oluşan bağ çıkıntılarının bölgelerindeki bağdan daha kuvvetli bağ olabilmektedir. Yüzeylerin sürtünmesinden dolayı bağ kuvvetlerinin zayıf olduğu bölgelerde kopmalar meydana gelmediği takdirde yüzeyler arası malzeme transferi olur [36-37].



Şekil 3.1. Adhezif aşınma mekanizması.

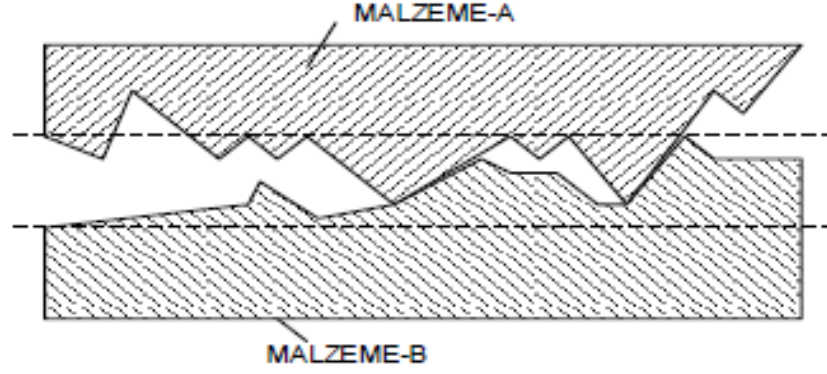
Adhezif aşınma mekanizması üstteki gibidir. (a) Çıkıntıların buluşarak bağ oluşturması (b) Bağın bir yüzeyden koparak diğer yüzeye yapışması (c) Uzayan çıkıntının diğer malzemedeki çıkıntıya teması sonucu kırıntı oluşması [5].

3.2.2. Abrazif Aşınma

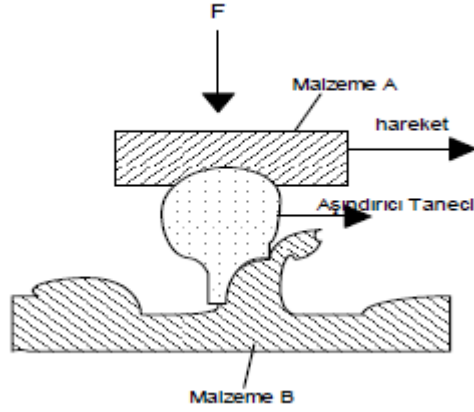
Abrazif aşınma, aşınan metalin kendisinden daha da sert ve pürüzlü bir aşındırıcı yüzeyle sürtünmesi sonucunda meydana gelir. Buna aşınma türüne örnek olarak dışarıdan sisteme giren küçük parçacıklar verilebilir [38].

Abrazif aşınma önemli bir aşınma mekanizması olup, aşınmanın olduğu sistemde hızlı ve önemli malzeme kayıplarına sebep olur. Sert partiküller yardımıyla metal yüzeylerden parça koparılması ile hacim kaybı gözlenir. Uygulanan yükün azaltılması, aşınan malzemenin sert olması ve dayanımının artması, yüzeyin ince ve sert film tabakalarıyla kaplanması aşınma hızını oldukça düşürmektedir.

Abrasif aşınmayı 2 elemanlı ve 3 elemanlı olmak üzere 2'ye ayırabiliriz. 2 Elemanlı abrasif aşınma da ana malzeme ve karşı malzeme birbirleriyle temas halindedirler. 3 elemanlı abrasif aşınma da ise temas halinde bulunan ana malzeme ve karşı malzeme arasında sert partiküller ya da yüzeyden kopan parçalar yer alırlar. Şekil 3.2 ve 3.3'te abrasif aşınma mekanizması görülmektedir [35].



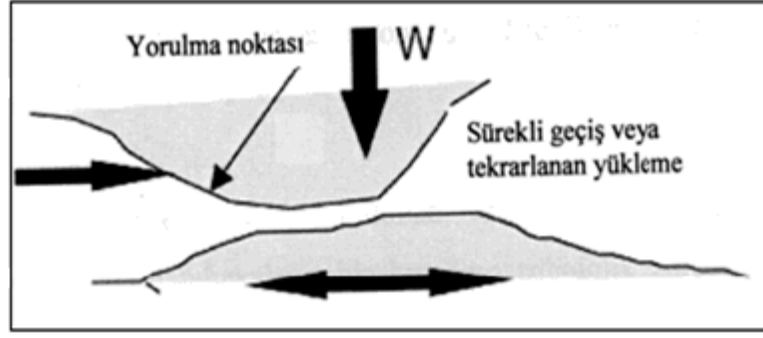
Şekil 3.2. 2 Elemanlı abrasif aşınma mekanizması gösterimi [4].



Şekil 3.3. 3 Elemanlı abrasif aşınma mekanizması gösterimi [4].

3.2.3. Yorulma Aşınması

Temas halinde bulunan malzemelerin sürtünme esnasında değişken ve tekrarlı yüklere maruz kalması ile meydana gelir. Bu kuvvetlerin etkisi ile yüzeyinde ya da yüzeye yakın bölgelerde kırılma ve çatlamlar oluşur. Dönme hareketi yapan malzemelerde bu aşınma mekanizmasında sıklıkla rastlanmaktadır.



Şekil 3.4. Yorulma aşınma mekanizması gösterimi [39].

3.2.4. Korozyif Aşınma

Temas halindeki yüzeylerin korozyona uğraması sonucu oluşan bir aşınma türüdür. Kendiliğinden oluşup, kendiliğinden olabildiği gibi diğer aşınma mekanizmalarıyla da oluşabilir.

İmalat parçalarını oluşturan metal veya metal alaşımları korozyif bir ortamda bulunmaları halinde bileşik oluşturabilirler. Bileşik, ana malzemenin çevre ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyona girerek oluşur. Oluşturdukları bu bileşiklerin ana metalle bağlantıları zayıflar ve ana metalden koparlar [40].

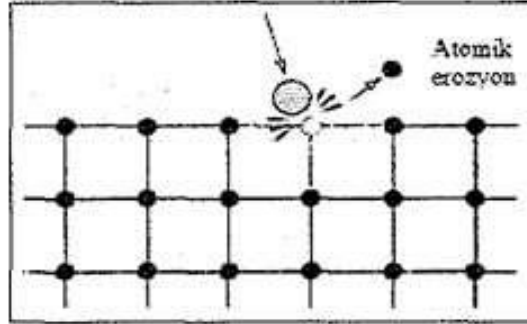
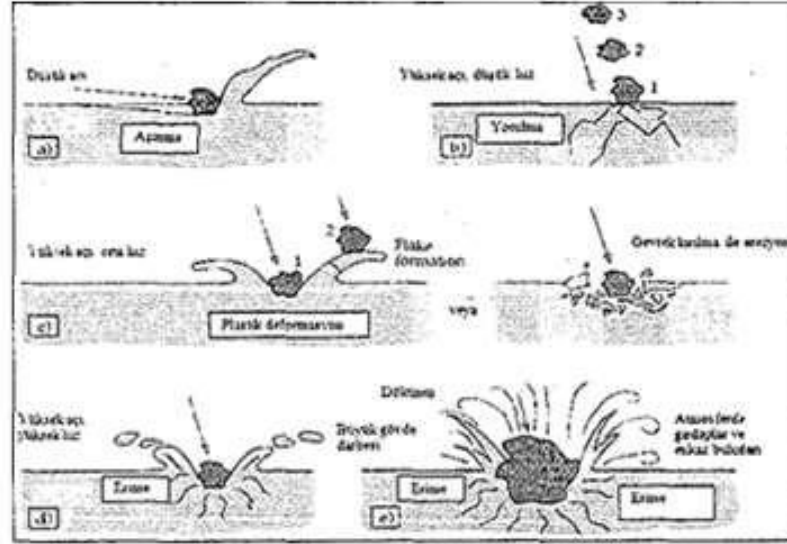
Korozyif aşınma, ortam şartlarına ve ısısının durumuna göre oksitlenme, nitrürlenme, karbürlenme ve metal tozlaşması, erimiş tuz, halojen, sıvı metal, sülfürlenme, tuz çökeleği korozyonu olarak oluşabilir [41].

3.2.5. Erozyon Aşınma

Erozyon aşınma mekanizmasında gaz ya da sıvı ortamda akışkan ile taşınan ara malzemeler yüzeye belli bir açıda çarpar. Bu çarpma sonucu yüzeylerde aşınma oluşur. Yumuşak malzemelerde bu mekanizmanın görülmesi daha kolaydır.

Ara malzemenin boyutunun büyük olması, hızı, sertliği, şekil yapısı gibi durumlar erozyon aşınmasını etkileyen faktörlerdir [11].

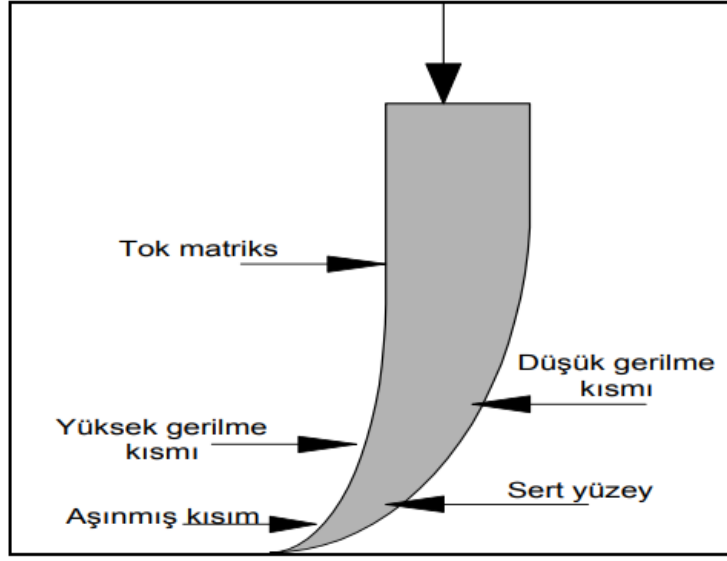
Genellikle uçaklarda gaz türbin bıçaklarında görülmektedir. Şekil 3.5'te erozif aşınma mekanizması görülmektedir.



Şekil 3.5. Erozif aşınma mekanizması [42].

3.2.6. Öğütmeli Aşınma

Bu aşınma mekanizmasında, yüksek basınca maruz kalan parçacıkların metal yüzeyi ile düşük hızlarda temas etmesiyle oluşan bir aşınma türüdür. Kepçelerin kesici uç yüzeylerinde aşınmadan dolayı körleşme oluşur ve bilyalı değirmenlerde görülmektedir. Malzemenin sertliğinin artırılması bu aşınmanın oluşmasını azaltır. Bu aşınma türü Şekil 3.6'da verilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi aşınma hızı kesici takımın düşük gerilmeye sahip olan yüzeye sert metal ilavesi yapıлып azaltılır. Diğer yüzey hem yüksek gerilim hem malzemenin kendi sertliğinin düşük olmasından dolayı aşınma hızı diğer yüzeye oranla daha fazladır [43].



Şekil 3.6. Bir kesici uçta kendi kendine meydana gelen bilenme oluşumunun şematik olarak gösterilimi [43].

3.2.7. Oymalı Aşınma

Bu aşınma türü, aşınan malzemeye çok büyük oranda baskı uygular ve genellikle birincil ve ikincil kırıcılarda ortaya çıkar. Büyük aşındırıcı partiküller aşınma bileşenine sürtünerek aşınan parçacıkları dışarı atar [44].

Bu aşınma tipi, diğer aşınma türleri ile kıyaslandığında oldukça hızlı olduğundan bu aşınan parçaların yedeği ile değiştirilmesi ve kullanıma devam edilmesi çok daha maliyeti düşürmektedir [45].

Oyma abrazyonu en çok kazıcı kepçelerde, döner kaya ve silindir kırıcılarında ve ekskavatör kovalarında görülür [46].

3.2.8. Kazımalı Aşınma

Bu aşınma türü adhezif aşınmaya benzerdir fakat bundaki fark yüzeylerin birbirleri ile temas halinde olan yüzeylerde hareket olmamasıdır. Bu aşınma türü daha çok titreşimli ortamlarda meydana gelir. Titreşim hareketinin azaltılması metal yüzeylerindeki aşınma hızını düşürecektir. Kazımalı aşınma, somun perçin gibi vibrasyonlu ortamda

çalışan parçalarda meydana gelmektedir. Birbirleriyle temas halinde olan yüzeylerde kazımalı aşınma gerçekleşir buna örnek olarak otomobil şaft parçaları verilebilir [47].

3.3. AŞINMA KAYBI ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Aşınma sonucu oluşan malzeme kaybının ölçülmesi, birbiri ile etkileşim halinde bulunan parçaların birinde ya da her ikisindeki ağırlık kayıpları göz önüne alınarak yapılmaktadır. Aşınma doğrudan ya da dolaylı olarak yapılan ölçümlerle verilir [42].

Endüstriyel uygulamalarda kullanılmakta olan aletlerin, ekipmanların uygunluklarına göre istenilen özelliklerden biri de servis şartlarıdır. Kullanılan makine parçalarının kullanım süresinin azalması maliyeti arttırmakla birlikte onarım çalışmalarına harcanan süre üretimin azalmasına neden olur. Bu sebeplerden ötürü imalatı yapılacak makine parçaları maruz kalacağı aşınmadan dolayı aşınma direnci yüksek malzemeler tercih edilmektedir [48].

3.3.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ölçülen büyüklük, alet duyarlılığının kapasitesinde olması ve ekonomik oluşu sebebiyle sık kullanılır fakat deney numuneleri cihaz üzerindeyken ölçüm yapılamaması dezavantajdır. Ağırlık kaybı ölçümü 10^{-3} ya da 10^{-4} gram hassasiyetli terazi ile ölçülür. Ölçümü yapılan aşınma toplamı miligram ya da gram cinsinden ifade edilecekse, metre yada kilometre olarak ele alınan sürtünme yoluna göre, birim sürtünmede olan ağırlık kaybının miktarı gr/km yada mg/m cinsinden ifade edilir. Birim alanı için hesap yapılmak istenirse, hacimsel aşınma miktarı belirtilirken ağırlık kaybından yararlanarak, kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesine etki eden yük ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından yola çıkılarak birim alan hesaplanır. Ağırlık kaybı ölçüm metodu genellikle aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} (\text{mm}^3.N^{-1} m^{-1})$$

$$W_a = \text{aşınma oranı} (\text{mm}^3.N^{-1}m^{-1})$$

$$G = \text{ağırlık kaybı (mg)},$$

$$S = \text{kayma mesafesi (m)},$$

M = yükleme ağırlığı (N),

d = aşınan malzemenin yoğunluğu (gr / cm³),

Aşınma oranının (Wa) aşınma oranının tersi de aşınma direncidir (Wr) [48].

$$Wr = \frac{1}{Wa} (N.m/mm^{-3})$$

3.3.2. Kalınlık Farkı Metodu

Aşınma ile birlikte oluşan boyut değişikliklerinin ölçümü ve ölçümün başlangıçtaki değeri ile karşılaştırmasıyla elde edilir. Kalınlık farkı olarak ele alınan bu değer sayesinde birim hacimdeki aşınma ve hacimsel kayıp değerleri hesaplanır. Kalınlığı ise hassas ölçüm aletleri vasıtasıyla µm duyarlılığında ölçüm yapılmalıdır [48].

3.3.3. İz Değişim Metodu

Sürtünen yüzeyde, plastik deformasyon yöntemi sayesinde düzgün bir geometrisi olan iz meydana getirilir. Deney esnasında bu ize ait belli bir boyutunun değişimi hesaplanır. Bu çalışmada Vickers sertlik ölçümü veya Brinell sertlik ölçüm deneyleri kullanılır. Elmas piramidin yada bilyenin bıraktığı izin değişimi mikroskop ile ölçülür [48].

3.3.4. Radyoizotop Metodu

Sürtünme yüzey bölgesinde olur. Proton, nötron ve α parçacıklarıyla tetiklenir. radyoaktif hale getirilerek uygulanan bir methodur. Aşınmaya bağlı oluşan değişimi büyük hassasiyetle ölçmesi bu yöntemin avantajıdır. Yöntem çok ekonomik olmadığından yaygın kullanılmamasıyla birlikte daha çok özel çalışmalarda tercih edilir [48].

3.4. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞLARI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan bir çalışmada aşınma sıcaklığını 25°C'den 300°C'ye artırılan aşınma sıcaklığı 5, 20 ve 40 N yükler altındaki aşınma davranışlarını incelemiştir. Aşınan yüzeylerin incelenmesi ana aşındırıcı mekanizmanın 25°C'deki 40N yük altında aşınma sıcaklığının arttığını gözlemlenmiştir. Fakat 20 N'luk yük altında, aşınma sıcaklığı 100°C'den 250°C'ye çıkarıldığında aşınma sıcaklığı %58 oranında azalma görülmüştür. Bununla birlikte sıcaklık 250°C'ye çıktığında fazının yumuşaklığı ve çözünmesinden dolayı alaşımın aşınmasında artış kaydedilmiştir. 5N'luk yük altında ise aşınma sıcaklığı 250°C'ye çıkarıldığında aşınma oranının azaldığını belirtmişlerdir [49].

Yapılan bir diğer çalışmada ise AZ91 magnezyum alaşımlarının döküm özelliklerinin daha iyi hale gelebilmesi için alaşıma %0.2, 0.3 ve 0.4 değerinde yüzey aktif (Sn, Pb) ilave edilir. Yüzey aktif olmayan (Si) ve aşındırıcı elemanları (Ti, Zr) ilave edilir. Bu sayede ise akıcı olup olmadığı, mikroyapı ve mekanik özellikleri ve bu özelliklere etkileri incelemiştir. Sonuçlar incelendiğinde ise Pb ve Sn'in akıcılığı arttırdığını gözlemlenmiştir. Bu durumu da Mg'un yüzey enerjisini azaltması ve buharlaşma nedeniyle oluşan oksidin engellemesiyle ilişkilendirmiştir. Sıcak yırtılma Ti ilavesi ile arttığını gözlemlerken diğer alaşım elemanlarının ilavesinde herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir. Ayrıca Pb ve Sn ilaveleri çekme ve akma dayanımlarını sırasıyla yaklaşık %35 ve %65 arttırmıştır. Si, Ti ve Zr sıcak yırtılma eğilimini arttırırken akıcılığı düşürmüştür. Si ve Zr ilave edilmesi çekme dayanımı ve akma dayanımını arttırmıştır. Pb ve Sn ilave edildiğinde daha az olduğunu gözlemlenmiştir [50].

Bir diğer yapılan çalışmada AZ91 ve %3 RE Magnezyum alaşımlarının aşınma davranışları 20N'luk yük altında 25°C - 250°C aşınma test sıcaklığında 0.4 ve 1 ms⁻¹ parametrelerinde sürtünme davranışları incelenmiştir. Sürtünme katsayısı 0.4'ten 1ms⁻¹'e artırıldığında AZ91 ve AZ91 %3 RE Mg alaşımlarında sırasıyla yaklaşık olarak %8 ve %60 oranında azalma görülmüştür. Aşınma sıcaklığı 100°C'ye artırıldığında AZ91 alaşımının aşınma oranı 0,4 ms⁻¹ sürtünme hızında %58 azalmıştır. Ayrıca sürtünme artışına bağlı olarak 100°C'deki aşınma sıcaklığı AZ91 ve AZ91 %3 RE Mg

alaşımındaki aşınma oranı, alınma yüzeyi üzerinde kararlı bir oksit tabası oluşturmasından dolayı %55 oranında azalmaya yol açmıştır [49].

Yapılan çalışmada; NaCl çözeltisi içerisindeki Mg-Al alaşımlarında Al miktarının korozyon davranışına olan etkisini incelemişlerdir. Al miktarındaki artışla β fazının hacim oranının arttığını gözlemlemiştir ve bu artışa bağlı olarak Mg-Al alaşımlarının korozyon hızını artırmıştır. Mg-Al alaşımlarının korozyon davranışı β fazı ile α fazı ve ötektik fazları arasında oluşan galvanik bir çift ile belirlenir. β fazının hacim oranındaki artış β fazında olan katodik etkisi artar. Al miktarının artmasıyla korozyon ürünlerinin dağılımı düzenli olmaz. Makro hatalar olduğu gözlenir. Korozyon hız artışındaki en önemli nedenlerinden bir tanesi olarak belirtilir [51].

Yapılan başka bir çalışmaya göre, Al-Si alaşımına farklı miktarlarda Mg ilave edilmiştir. Alaşımların aşınma ve korozyon davranışları incelenmiştir. Al-Si alaşımı Mg ilavesiyle Mg_2Si partiküllerinin boyutu yükselip miktarı artmıştır. Alaşımın sertliği artmıştır. Aşınma direnci daha iyileşirken korozyon dayanımında bir miktar azalma kaydedilmiştir [52].

Yapılan başka bir çalışmada Mg matrisli alaşımların kütlelerinin eylemsizlik durumları değerlendirilmiştir. Aşınma durumlarını incelemişlerdir. Kullanmış oldukları alaşımlara birkaç takviye yaparak yeni kompozit malzemeler üretmişlerdir. Disk üzerine numune ve yüzük üzeri pim isimli aşınma testleri kullanıldı. Aşınma deneyleri vakum altında ve hava ortamında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi sonucu vakum altında aşındırılan alaşımların aşınma dirençlerinin arttığını göstermiştir [53].

Mg-Zn-Al-Ca alaşımlarıyla ilgili yapılan çalışmaların sonucunda sertlik değeri ölçümleri yapmışlardır. Farklı oranlarla elde etmiş oldukları alaşımların sertlik değerleri 65-115 HV arasında çeşitli değerler göstermiştir [54].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada % 3 Zn içeren Mg matrisli alaşımların üretimine ve aşınma davranışına % 0,5, 1, 2 ve 3 Al içeriğinin etkisi araştırılmıştır. Alaşımların üretimi atmosfer kontrollü elektrikli direnç ocağında yapılmıştır. Üretimi yapılan alaşımların metalografik numune hazırlama işlemlerine tabi tutulduktan sonra mikroyapı ve aşınma incelemeleri yapılmıştır. Daha sonra aşınma testleri, 2N, 4N ve 8N yükleri altında 10000 mm kayma mesafelerinde ve 2 m/sn kayma hızında gerçekleştirilmiş ve aşınma deney sonuçları aşınma izi ve yüzey pürüzlülüğü testleri yapılarak detaylı olarak incelenmiştir.

4.1. ÜRETİM YÖNTEMİ

Deneylede kullanılan Mg alaşımlarını üretmek amacı ile %99,9 saflıkta Mg, Al ile Al-%10Mn master alaşımı ilavesi yapılarak ön alaşım ile gerçekleştirilmiştir. Deneye ait numuneler, ön alaşım yapılmış olan malzemelerden ikinci defa ergitildikten sonra dökülmüştür. Elde edilen alaşımların analizleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü, Rigaku marka X-Ray Fluorescence (XRF) cihazında yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Deneylede kullanılan alaşımların kimyasal analizleri (% ağırlıkça oran).

Bileşim	Al	Zn	Diğer	Mg
Mg+%0,5Al+%3Zn	0,53	3,05	0,26	Kalan
Mg+%1Al+%3Zn	1,05	3,02	0,25	Kalan
Mg+%2Al+%3Zn	2,05	3,04	0,25	Kalan
Mg+%3Al+%3Zn	3,04	3,03	0,29	Kalan

Ergitilme işlemi, grafit potada yapılmıştır. Ergitme işlemi sırasında atmosfer kontrollü ortam sağlamak amacıyla inert gaz olarak argon gazı kullanılmıştır.

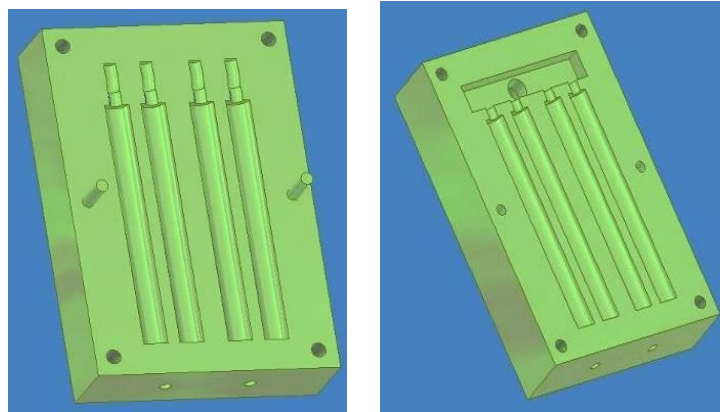
Potadan sıvı metalin kolay alınması için potanın alt kısmına açma kapama kolu ile kontrol edilebilen delikli sistem yapılmıştır.

Uygun döküm şartlarının sağlanabilmesi için ocağın ve metalin sıcaklığı 750°C olarak belirlenmiştir. Ocak belirlenen sıcaklığa ulaştıktan itibaren yaklaşık 10 dakika bekletildi. Bu sayede alaşımın istenen döküm sıcaklığı sağlanmıştır.

Alaşımın döküm sıcaklığına eriştikten sonra, ertitme ocağına ait olan açma kapama kolu yolu ile dikkatli bir şekilde ertitme potasının tabanı açıldı. Kalıba sıvı metal döküldü. Ergiyik, 20 mm çapına sahip 250 mm uzunluğu olan çubuk şekilli ingotlar üretilebilmek amacıyla 250°C’de metalik kalıba dökülmüştür.

Döküm işlemi daha önce rapor edilen şekilde yapılmış olup kalıplara koruyucu gaz (%99,2 CO₂ + %0,8 SF₆ karışım gazı) verilerek; en gerekli döküm şartlarını sağlayan 250°C kalıp sıcaklığında yapılmıştır. Kullanılan metalik kalıbın teknik resmi ve şematik görünümü Şekil 4.1’de verilmiştir [55].

Alaşım döküm sıcaklığına çıktıktan sonra, ertitme ocağı tabanından yapılmış olan sistem ile kontrollü bir şekilde sıvı metalin akması sağlanmıştır. Sıvı metal, 250°C’deki çubuk şekilli metalik kalıba dökülerek ürün elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Kullanılan metalik kalıbın şematik görünümü.

4.2. NUMUNE HAZIRLAMA

Mg alaşımları, yumuşak Mg matrisi ile sert intermetaliklerini içermesinden dolayı metalografik olarak numune hazırlanma sürecinde sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bu sorunun yanı sıra Mg alaşımları, su ile tepkimeye girdiği için genellikle parlatma solüsyonu olarak kullanılmaz. Bu sebeplerden dolayı üretimi yapılmış bütün alaşımlar için farklı parlatma teknikleri kullanılır. Farklı dağlayıcı kullanılır Mg-Al-Zn alaşımları için farklı dağlayıcılar mevcuttur. Bu çalışmada en iyi mikroyapı sonucunu elde etmek için dağlayıcı olarak asetik-pikral kullanılması gerekmektedir. Dağlayıcı olarak kullanılan asetik-pikral kullanıldı. Asetik pikral içeriği ise 10 mL Saf Su, 20 mL Asetik Asit, 100 mL Etil Alkol, 6 gr Pikrik Asit, bileşimine sahiptir. Asetik-pikral malzeme yüzeyinde kahverengi film tabakası oluşana kadar uygulanır. Bu dağlayıcının kullanımını tane sınırları ve ikizlenmelerin kolay görünür hale gelmesini sağlar.

4.3. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

4.3.1. SEM İncelemeleri

Dökümü yapılan malzemeden 20 mm çapında 8mm genişliğinde silindirik numuneler discotom ile kesilerek hazırlanmıştır. Metalografik numune hazırlamak için yüzeyleri 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh zımparalar ile zımparalandı. Saf su ile zımparalama işlemi yapılmıştır. Zımparalama işleminden sonra 1µm alümina solüsyon kullanılarak polisaj keesinde parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatılan numuneler Asetik-Pikral dağlama sıvılarıyla dağlanmış numunelerin ve aşınma sonuncundaki yüzeydeki değişim görüntüleri Karabük Üniversitesi Demir elik Enstitüsü Carl Zeiss Ultra Plus Gemını Fesem markalı SEM cihazında görüntüler elde edilmiştir.

4.3.2. Optik Mikroskop

Numunenin mikroyapı incelemesi Nikon markalı optik mikroskop cihazı ile yapılmıştır.

4.4. SERTLİK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELEMESİ

Sertlik deneyleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü laboratuvarındaki Q10 A + QNESS marka mikro sertlik test cihazında test edilmiştir. Vickers 1 mm çaplı elmas kare piramit batıcı uç kullanılmıştır. 500 gr (HV5) batma yükü uygulanmıştır. Numunelere sertlik deneyi yapılmıştır. Numunenin ölçüm yapılabileceği en dış noktadan merkeze kadar eşit aralıklarla 5 adet başarılı ölçüm elde edilmiştir. Elde edilen ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Sertlik değerleri tespit edilmiştir.

4.5. AŞINMA DENEY CİHAZI

Aşınma deneyinde ise ileri geri hareket edebilen pin on disk tipi aşınma test cihazı ile yapılmıştır. Cihazın markası UTS Tribometer T10 Test Cihazı'dır. Bu cihaz her türlü yükte çalışmaktadır. Farklı devirlerde ve kayma hızında çalışabilmektedir. Mg-%3Zn-xAl alaşımlarının aşınma davranışı 2N-8N yükleri altında, toplamda 10000 mm kayma mesafesinde ve 2 m/s kayma hızında incelenmiştir. Tüm metalik malzemelerdeki aşınma derinliği ve sürtünme katsayı analizi yapılabilmektedir.

4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ TESTİ

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Mitutoyo SJ 400 marka profilometre cihaz ile ISO 1997 standartları kullanılmıştır. Profilometre iğnesinin uç hassasiyeti 0.01 μ ve ölçme kuvveti 0.75 mN, tarama hızı 0.5mm/s, örnekleme uzunluğu ise 0.8mm'dir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

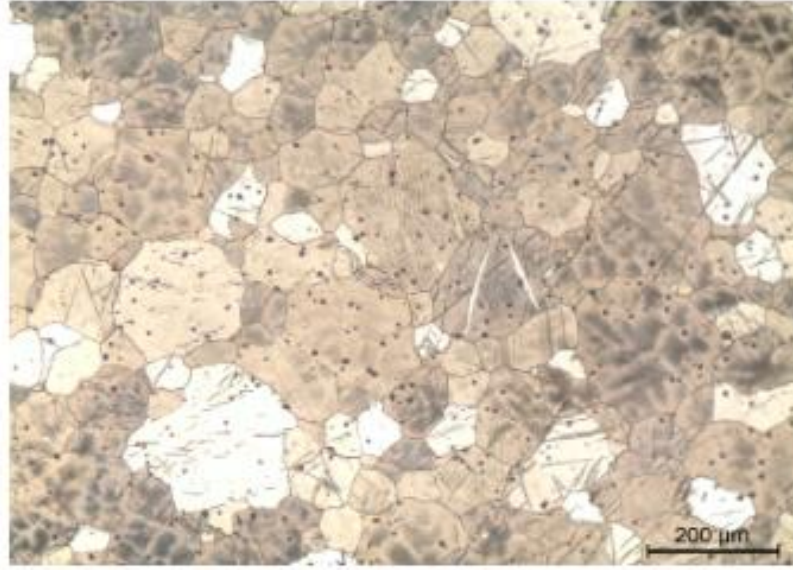
Çalışmadaki amaç detaylı mikroyapısal değişikliklerinden ziyade aşınma - mekanik özellikleri ilişkisini kapsadığı için mikroyapısal değişiklikler belirlenmiş ve aşınma - mekanik özelliklerini irdelerken tartışılmıştır.

Şekil 5.1’de Mg+%0,53 Al içeren alaşıma %3 Zn ilavesiyle elde edilen mikroyapı görüntüleri yer almaktadır. %0,5 Al ilave edilmiştir. Al, mikroyapıda katı eriyik olarak çözülmüştür. Zn ilavesi ile tane boyutunun küçülmüştür. Ancak tane boyutunda olan küçülme, Al içermeyen alaşımlara göre daha az etkili olduğu gözlenmiştir.

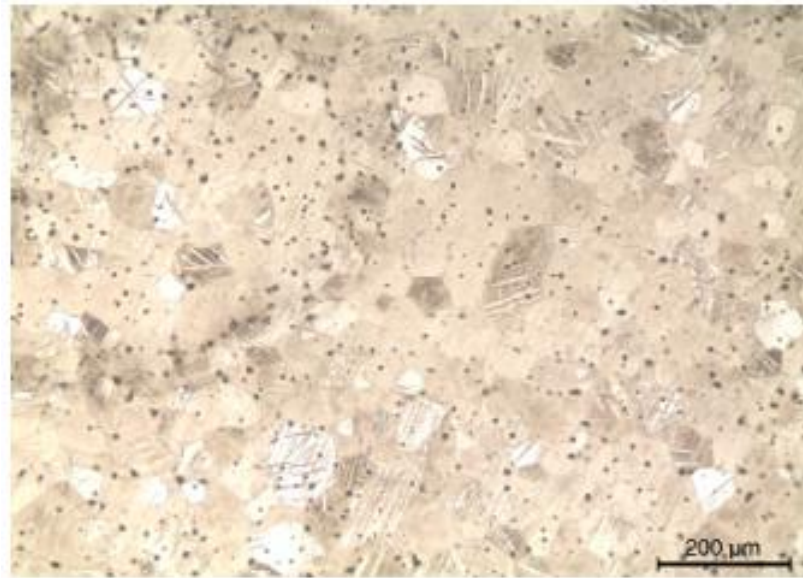


Şekil 5.1. AZ053 alaşımına ait mikroyapı.

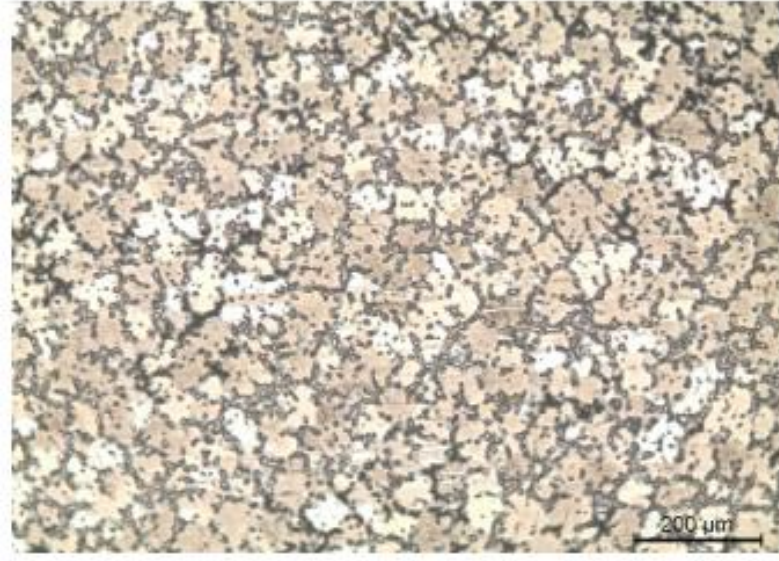
Şekil 5.2-Şekil 5.4'te sırasıyla %1, 2 ve 3 Al içeren alaşımların mikroyapısı verilmektedir. Mikroyapı görüntüleri, Zn miktarı sabit kalmasına rağmen Al içeriğinin artması ile tane boyutunun incelmesini ve tane içinde ikizlenmelerin ortaya çıktığını, tane sınırlarında ötektik β fazının oluşmaya başladığını ve %3 Al içeriğinde oldukça yoğun ötektik fazın meydana geldiğini göstermiştir.



Şekil 5.2. AZ13 alaşımına ait mikroyapı.



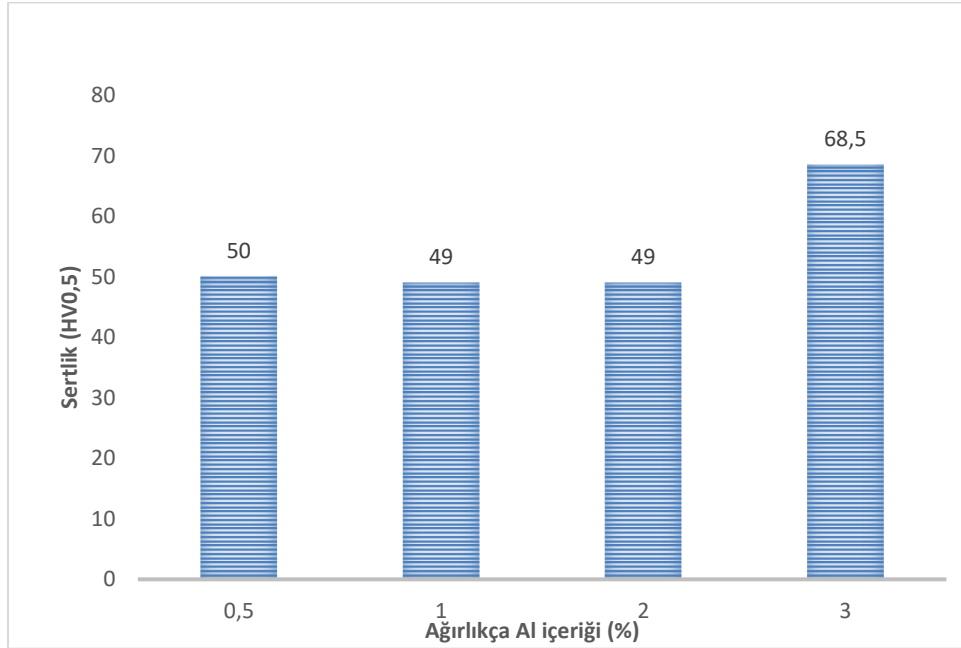
Şekil 5.3. AZ23 alaşımına ait mikroyapı.



Şekil 5.4. AZ33 alaşımına mikroyapısı.

5.2. SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

Çinkonun sabit tutulup Al'un artırılmasıyla elde edilen Mg alaşımlarının sertlik değişim grafikleri Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



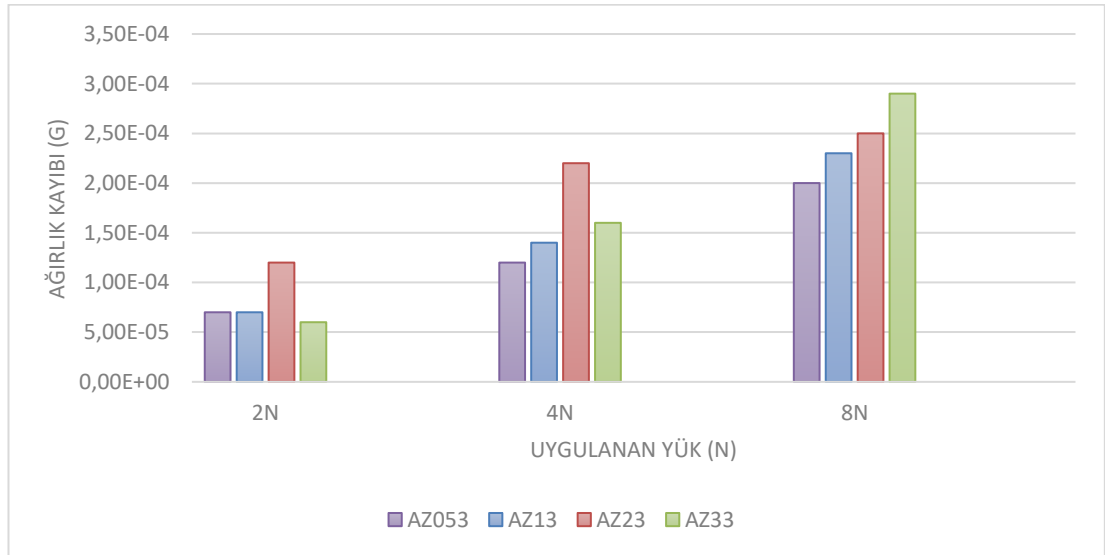
Şekil 5.5. Mg alaşımlarının Al miktarına bağlı olarak sertlik değişim grafikleri.

Mg-Al alaşımlarında Al miktarının artmasıyla beraber sertlik değeri %2'ye kadar yaklaşık aynı seviyelerde kalmaktadır. %3 oranına çıkarılan Al miktarı ile sertlikte ciddi anlamda artış gözlenmektedir. Bu artış %3 Al'un yapıdaki ötektik β fazlarının oluşumundan kaynaklandığına dayandırılmıştır ve Şekil 5.4 dikkatli bir şekilde incelendiğinde tane sınırlarında β fazı ağı rahatlıkla görülebilmektedir.

5.3. AŞINMA SONUÇLARI

Bu çalışmada döküm yöntemiyle elde edilen Mg-Zn-Al alaşımlarında, Al miktarını artırarak malzemede oluşan aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma testleri, 2N, 4N, 8N farklı yükler altında 10.000 mm kayma mesafelerinde ve 2 m/sn kayma hızında yapılmıştır. Alaşımlarda oluşan ağırlık kayıpları belirlenmiş ve daha sonra aşınma oranı denklemi ile hesaplanmıştır.

Şekil 5.6'da farklı oranlarda Al ilave edilerek üretilen alaşımların farklı yükler altında ağırlık kayıpları verilmiştir.



Şekil 5.6. Ağırlık Kaybı – Uygulanan Yük.

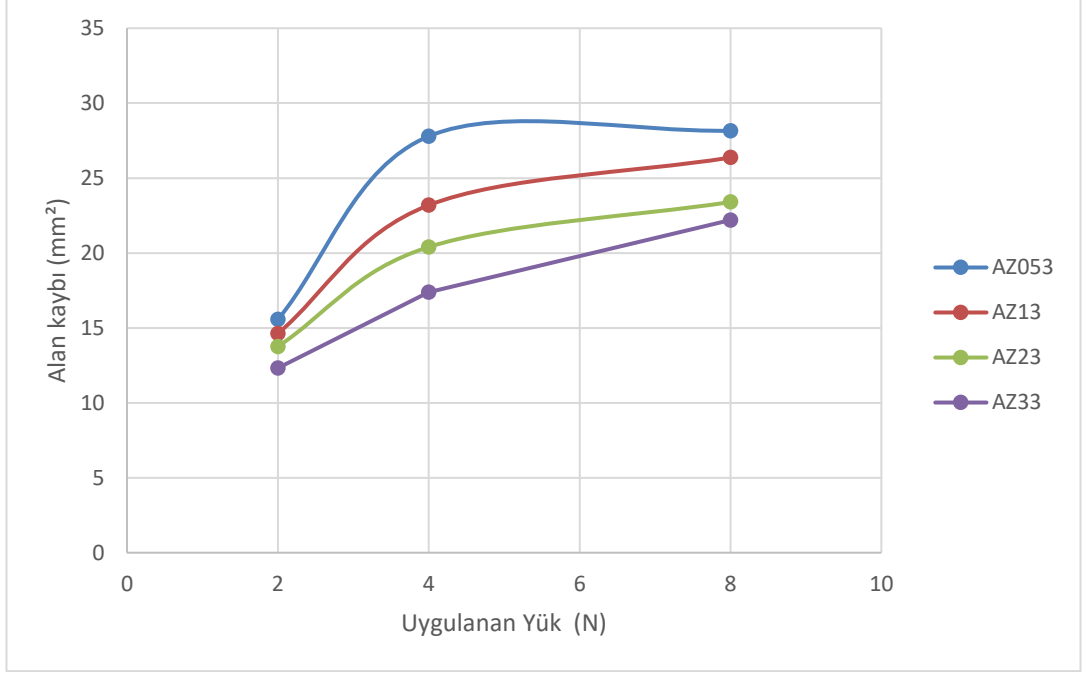
Ağırlık kaybı incelendiğinde tüm alaşımlarda uygulanan yük arttıkça, ağırlık kaybının arttığı görülmüştür. Aynı yük altında incelendiği zaman Al miktarının artmasıyla birlikte ağırlık kaybı artış göstermiştir. En fazla ağırlık kaybı 2 N ve 4 N yük altında

AZ23 alaşımında görülürken, 8 N yük altında AZ33 alaşımında görülmüştür. Sertlik değerleri yaklaşık aynı seviyelerde olan AZ053, AZ13 ve AZ23 kıyaslandığı zaman Al miktarının artmasıyla ağırlık kaybı artış göstermiştir. 2N yük altında sertliği en fazla olan AZ33 alaşımını diğer alaşımlara göre daha düşük ağırlık kaybı göstermiştir.

Bu çalışmada düşük yüklerde ve kısa kayma mesafelerinde gerçekleştirilen aşınma testlerini ağırlık kaybı ile değerlendirmek mümkün olmayacağı ortaya çıkmıştır. Şekil 5.6'da verilen ağırlık kaybı-uygulanan yük grafiklerinden uygulanan yük artışı ile ağırlık kaybının arttığı görülmüştür. Uygulanan yük artışı ile alaşımın yüzeyi karşı malzemeye daha fazla temas edeceğinden aşınmayı artırmıştır. Alaşımın Al içeriğinin ve dolayısı ile sertliğinin artması ağırlık kaybının artması beklenirken tam tersi sonuç çıkmıştır. Bu durum matris sertliği düşük olan alaşımların aşınma deneyleri sırasında ara yüzeyden kopan oksit içerikli ve sert debrislere tekrar aşınma yüzeyine batmasına dayandırılabilir.

5.4. ALAN KAYBI

Şekil 5.7'de döküm yöntemi ile üretilen Mg alaşımlarının alan kaybı değişimleri verilmiştir. İncelenen alaşımların alan kaybı değişimleri uygulanan yükün artması ile aşınma kaybının artacağı sonucun ötesinde alaşımın sertliğinin artması ile aşınma kaybının azaldığını göstermiştir. Alaşımın sertliğinin artması ile plastik deformasyona karşı direncin ortaya çıkmasından dolayı aşınma kaybı azalmıştır.

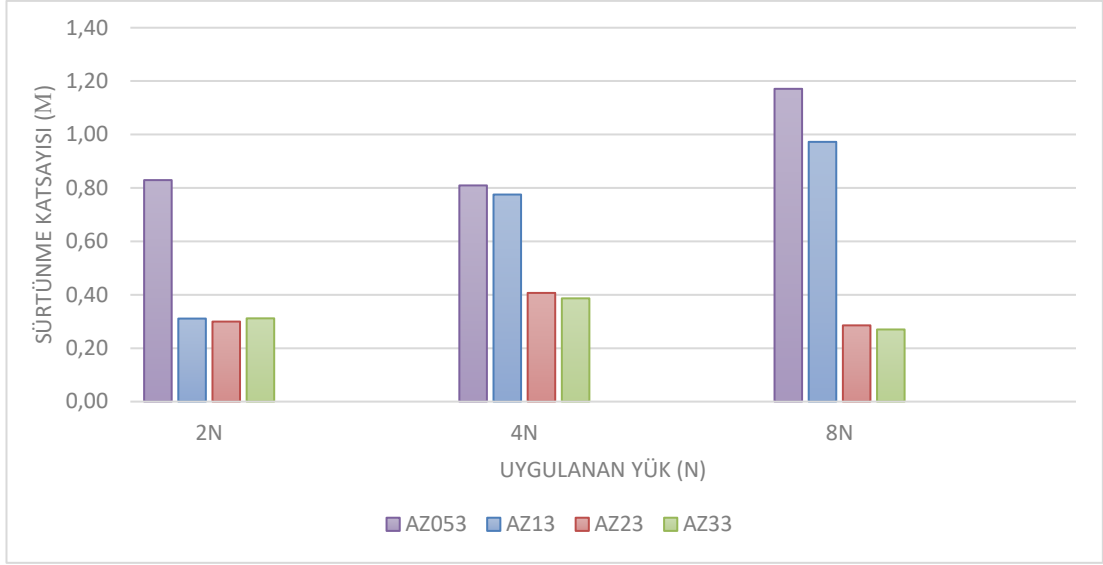


Şekil 5.7. Alan kaybı (mm²) – Uygulanan yük grafiği.

5.5. SÜRTÜNME KATSAYILARI

Bu çalışmada, döküm yöntemi ile üretilen Mg alaşımlarının 2N, 4N ve 8N yük altında, 10000 mm kayma mesafesinde yapılan aşınma testi sonucunda hesaplanan sürtünme katsayıları Şekil 5.8’de verilmiştir. Burada verilen sürtünme katsayıları grafiğinde 10000 mm kayma mesafesinde elde edilen değerler, tüm değerlerin ortalamaları alınarak saptanmıştır.

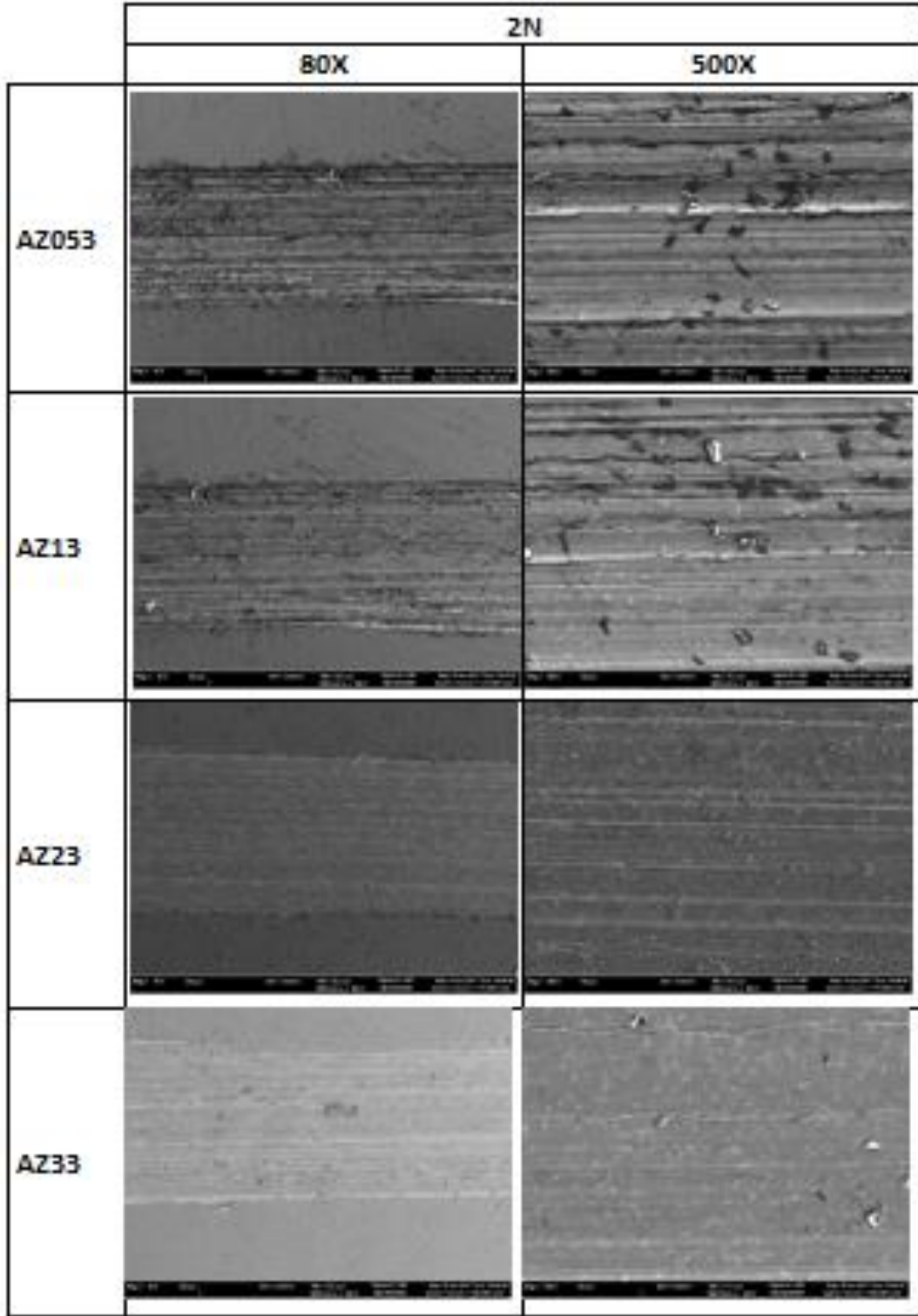
Şekil 5.8’de uygulanan yük arttıkça alaşımın temas eden yüzeyinin artmasından dolayı sürtünme katsayısının bir miktar arttığını ve alaşımın Al içeriğinin artması ile sürtünme katsayısının düştüğünü göstermiştir. Bu durum yüzey sertliğinin artması sürtünme sırasında yüzey temasının gerçekleşmemesine dayandırılabilir.



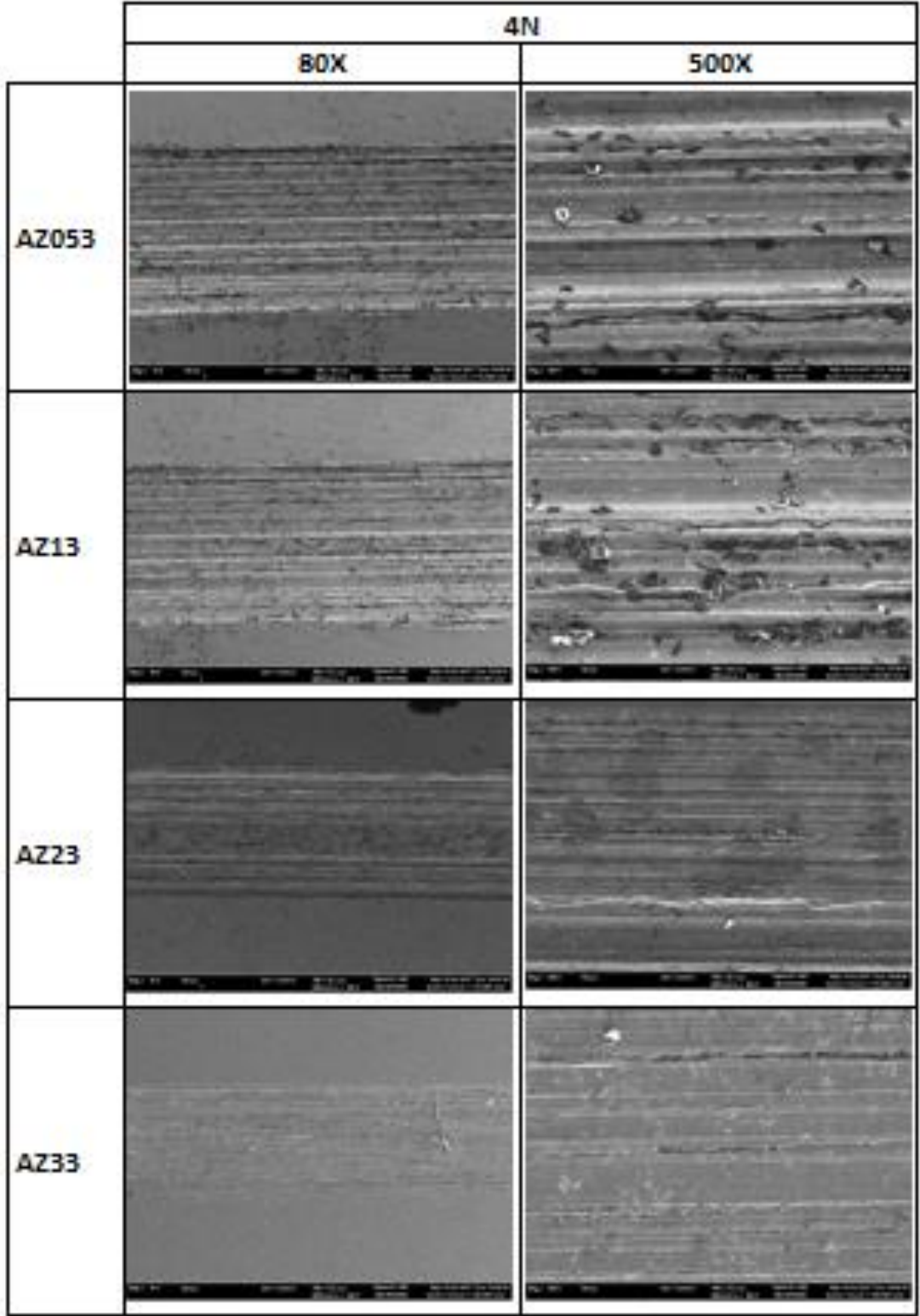
Şekil 5.8. Sürtünme katsayısı (M) – Uygulanan yük (N).

5.6. AŞINAN YÜZEYLERİN SEM İNCELEMELERİ

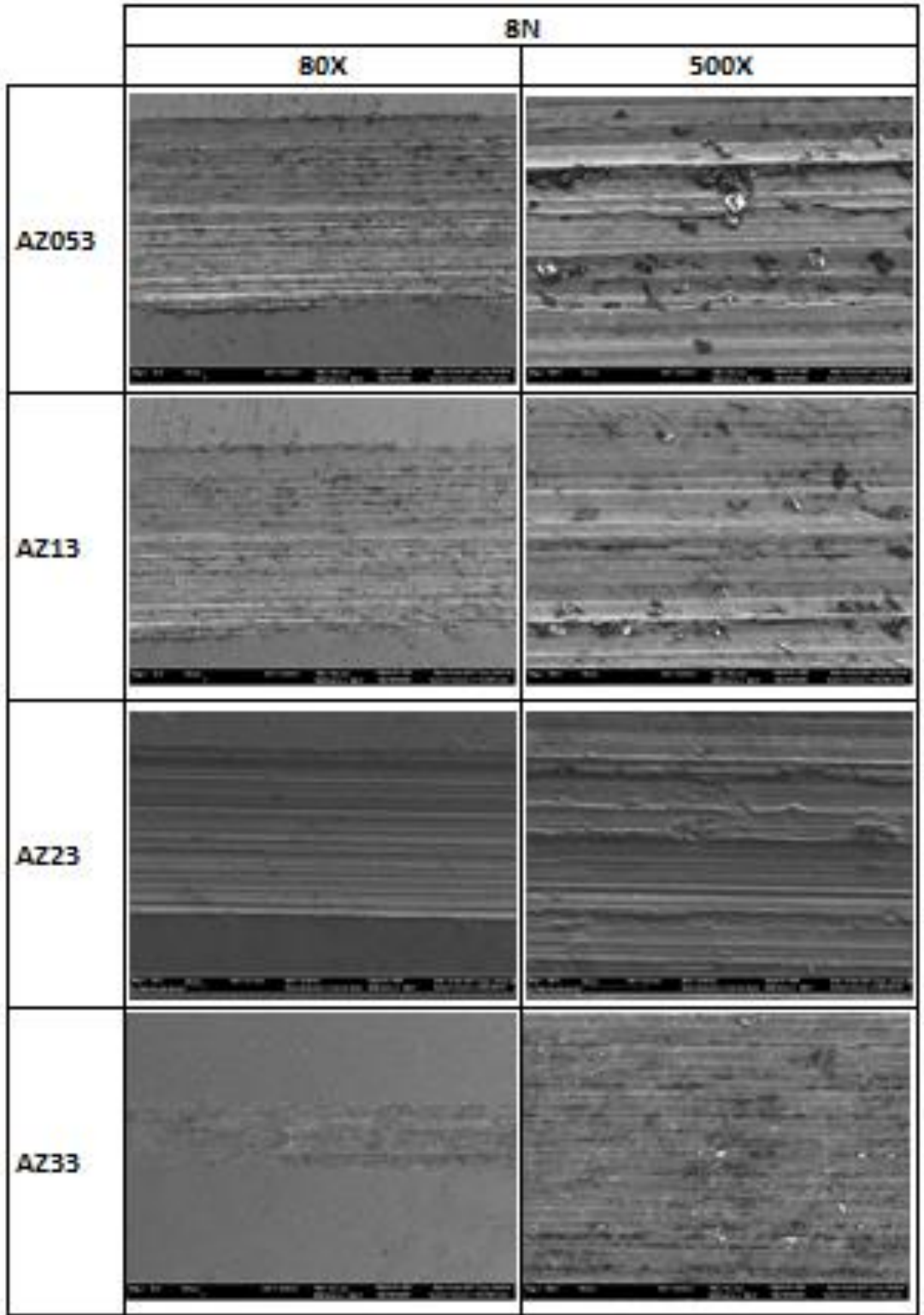
Farklı Al içeriklerine sahip Mg alaşımlarının SEM görüntüleri Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de verilmiştir. Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11, aşınma mekanizmasının abrasif karakterde olduğunu ve uygulanan yük arttıkça abrasif izlerin genişliği ve derinliğinin arttığını göstermiştir. Alaşımın Al içeriğinin artması ile matris sertliğinin artması abrasif aşınmaya karşı alaşımın direncini artırarak aşınma izinin küçülmesine yol açmıştır. Ayrıca düşük Al içerikli alaşımların aşınma yüzeylerinde gözlenen siyah şekilsiz partiküller yüzeye yapışmış oksit karakterli debrisler olup Şekil 5.6’da verilen düşük sertlikteki alaşımların düşük ağırlık göstermesini açıklamaktadır.



Şekil 5.9. 2N yükteki SEM mikroyapısı.



Şekil 5.10. 4N Yükteki SEM Mikroyapısı.



Şekil 5.11. 8N Yükteki SEM Mikroyapısı.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada %3 Zn içeren Mg matrisli ve %0.5-%2 aralığında aralığında Al içeren alaşımların mekanik ve aşınma deneyleri sonucu elde edilen genel sonuçlar aşağıda listelenmiştir;

1. Mg matrisli %3 Zn alaşımın Al içeriğinin artması ile tane boyutu incelmış ve tane sınırlarında ötektik β fazın yoğunluğu artmıştır.
2. Sabit %3 Zn içeren Mg alaşımının sertliği %2 Al içeriğine kadar sabit kalırken % 3 Al içeriğinde % 36 artışla 68.5 HV sertliğine çıkmıştır.
3. İncelenen alaşımların aşınma davranışlarının ağırlık kaybı ile değerlendirilmesinde kayma mesafesi kısa ve uygulanan yüklerin de düşük olmasından dolayı zorluklarla karşılaşmıştır. Alaşımın sertliğinin azalması ile ağırlık kaybının artması beklenirken yumuşak yüzeye sahip matrisli alaşımların aşınma yüzeylerine debrislerin yapışmasından dolayı ağırlık kaybının sağlıklı bir şekilde ölçülemediği düşünülmektedir.
4. Aşınma deneyleri sırasında alaşımların alan kaybı değerlerinin, uygulanan yükün ve alaşımın sertliğinin artması ile sırasıyla arttığı ve azaldığı bulunmuştur.
5. Sürtünme katsayısı uygulanan yük artarken artmakta ve alaşımın Al içeriğinin artması ile azalmaktadır. Al içeriğinin artması ile sürtünme katsayısının azalması sert yüzey pürüzlülüklerinin karşı malzemeye temasını zorlaştırmasına dayandırılabilir.
6. İncelenen alaşımların aşınma yüzeyleri abrasif aşınma karakteriğinde olup uygulanan yükün artması ve alaşımın sertliğinin azalması ile abrasif iz genişliği ve derinliği artmıştır. Ayrıca düşük sertliğe sahip alaşımların aşınma yüzeylerine aşınma debrislerinin yapıştığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Mordike, B. L., and Ebert, T., “Magnesium: properties application potential”, *Materials Science Engineering A*, 302: 37-45, (2001).
2. Pekguleryuz, M. O., ve Kaya, A. A., “Creep resistant magnesium alloys for power train applications”, *Advanced Engineering Materials*, 5 197–221, (2004).
3. Candan, Ş., Kuşdemir, H., Türkmen, M., Koç, E., Ünal, M., ve Candan, E., “AZ91 Magnezyum Alaşımının Korozyon Davranışları Üzerine Ti Elementinin Etkisi.” *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, Karabük, Türkiye (2009).
4. Wu C.S. and Zhang Z., “Study on the Anodizing of AZ31 Magnesium Alloys in Alkaline Borate Solutions, *Applied Surface Science*”, 253, 3893-3898, (2007).
5. Gaines, L., Cuenca, R., Stodolsky, F. and Wu, S., “Potential automotive uses of wrought magnesium alloys”, *Automotive Technology Development, Detroit, Michigan*, 1-7 (1996).
6. Housh S., and Mikucki B., Stevenson A., “Selection and Application of Magnesium and Magnesium Alloys”, *ASM Handbook*, 10th Edition, (2): 455-479 (1998).
7. Gupta M., and Sharon N.M.L., “Magnesium, Magnesium Alloys, and Magnesium Composites.” New Jersey: John Wiley & Son publication (2011).
8. Bulut, R., “Magnezyum AZ31 alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi” , Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Haziran, (2009).
9. Friedrich, H., and Mordike, B., “Magnesium alloys”, *Magnesium Technology Springer*, Germany, 80-83 (2006).
10. Fredrich H., and S. Schumann, “Research for a New Age of Magnesium in the Automotive Industry”, *J. Mat. Proc. Tech.*, 117, 276-28, (2001).
11. Schwam, D., Iskander, S., Wallace, J. F., Zhu, Y., and Viswanathan, S. “Enhancements in magnesium die casting impact properties”, Final Report, *Case Western Reserve University*, Ohio, 5-22 (2000).

12. Lu, Y., Wang, Q., Zeng, X., Ding, W., Zhai, C. and Zhu, Y., “Effects of rare earths on the microstructure, properties and fracture behavior of Mg–Al alloys”, *Materials Science and Engineering*, 278, 66-76 (2006).
13. Zhang, Z., “Development of magnesium-based alloys for elevated temperature applications”, Doctor of These, *Faculte Des Sciences Et De Genie Universite*, Quebec-Canada, 2-75, (2000).
14. Barber L. P., “Characterization of the solidification behavior and resultant microstructures of magnesium-aluminum alloys”, M.Sc Thesis, *Worcester Polytechnic Institute*, USA, 14-18 (2004).
15. Kayalı, E. S. ve Ensari, C., “Metallere plastik şekil verme ilke ve uygulamaları”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi*, İstanbul, 82-118 (1986).
16. Song, G. L., and Atrens, A., “Corrosion mechanisms of magnesium alloys”, *Advanced Engineering Materials*, 1(1), 11-33 (2000).
17. Arpaçay, D., “Magnezyum AZ80 alaşımında yüksek basınç burulma işleminin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 40 (2009).
18. Housh, S., Mikucki, B., and Stevenson, A., “Selection and Application of Magnesium and Magnesium Alloys”, *Asm Handbook*, 10th Edition, 2: 455-479 (1998).
19. Wu, C.S., and Zhang, Z., “Study on the Anodizing of AZ31 Magnesium Alloys in Alkaline Borate Solutions” *Applied Surface Science*, 253, 3893-3898 (2007).
20. Kang, D. H., Park, S. S., Oh, S. and Kim, N. J., “Effect of nanoparticles on the creep resistance of Mg-Sn based alloys”, *Materials Science & Engineering*, 449-451, 318-321 (2007).
21. Turen, Y., “Effect of Sn addition on microstructure, mechanical and casting properties of AZ91 alloy”, *Materials and Design*, 49: 1009-1015 (2013).
22. Baker, H., “Alloy Phase Diagrams”, *ASM Handbook*, 3: 280-285 (1998).
23. Balasubramani, N., Suresh, M., Srinivasan, A., Pillai, UTS., and Pai, B. C., “Observation of the suppression of Mg₁₇Al₁₂ formation in a La-containing AZ91 alloy”, *J Mater Science*, 42: 8374–8376 (2007).
24. Witte, F., Hort, N., Vogt, C., Cohen, S., Kainer, K. U., Willumeit, R., and Feyerabend, F., “Degradable biomaterials based on magnesium corrosion”, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 12: 63-72 (2008).
25. Zhao, P., Wang, Q., Zhai, C. and Zhu, Y., “Effects of strontium and titanium on the microstructure, tensile properties and creep behavior of AM50 alloys”, *Materials Science and Engineering*, 444: 318-326 (2007).

26. Vogel, M., "Mikrostruktur und Kriechverhalten von magnesiumdruckguss im system Mg Al Zn Ca", Doktordissertation, Max-PlanckInstitut für Metallforschung, *Universität Stuttgart*, Germany, 6-20 (2002).
27. Wu, G., Fan, Y., Gao, H., Zhai, C. and Zhu, Y. P., "The effect of Ca and rare earth elements on the microstructure, mechanical properties and corrosion behaviour of AZ91D", *Materials Science and Engineering A*, 408: 255-263 (2005).
28. Zhao, P., Wang, Q., Zhai, C., and Zhu, Y., "Effects of strontium and titanium on the microstructure, tensile properties and creep behavior of AM50 alloys", *Materials Science and Engineering A*, 444: 318-326 (2007).
29. Ludema, C.K., "Friction, wear, lubrication", *A Textbook in Tribology*, 107-108 (1996).
30. Yılmaz, M. "Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (1996).
31. Kayalı, E.S., "Aşınma ve Aşınma Hasarları", *Metalürji Mühendisleri Odası* (1987).
32. Akkurt, M., "Makine elemanları ve konstrüksiyon kürsüsü", Cilt 2, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (1986).
33. Trilk, N. C., and Eyre, T. S., "Tribology methodology", *Brunel University*, Kingston Lane, Uxbridge, U.K., 114-145 (1993).
34. Chaffin G. N., and J. E. Jacoby., "Jacoby, Guidelines for Aluminum Sow Casting and Charging, The Aluminum Association," *Washington, D.C.*, (1998).
35. Aytaç, A., "A356 Alüminyum alaşımlarının yarı katı işleme üretimi ve aşınma davranışlarının incelenmesi", Lisans Tezi, *Z.K.Ü Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümü Döküm Eğitimi Anabilim Dalı*, Karabük, (2007).
36. Sur, G., Alüminyum esaslı Kompozitlerin Üretim ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 3-42 (2002).
37. Armatlı, M. K., "Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet- Maliyet Analizleri", *Gazi Üniversitesi Merkez Kütüphanesi*, Ankara, (1999).
38. Sur, G., "Alüminyum esaslı kompozitlerin üretim ve işlenebilirliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-42 (2002).
39. Roberts, S., "Wear, Surface Engineering", Germany, 1-23 (2002).
40. Karadeniz, S., "Tamir Bakım Kaynağında Dolgu Maddesi Seçimi", *II. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi* (2005).

41. Kobrick, R. L., "Characterization and measurement standardization of lunar dust abrasion for spacecraft design and operations, a thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Colorado in partial", Doktora tezi, *Uzay bilimler departmanı*, (2010).
42. Eruslu, N. ve Kayalı, E. S., "Hasar Analiz Seminer Notları", *TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası*, İstanbul, 52 (1997).
43. Yılmaz, T., "İyonitürleme yoluyla sertleştirilmiş SAE 4140 çeliğinin aşınma dayanımının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 38-39 (1992).
44. Tolfree, D., "This thesis is submitted for the partial fulfillment of the requirements for the degree of master of applied science", *The faculty of graduate studies department of mine engineering*, 16 (2004).
45. Palavar, O., "Toz metalürjisi ile üretilen Inconel super alaşımlarda yaşlanma parametrelerinin aşınma davranışlarına etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük 50 (2014).
46. M. M. Cavcar., "Sert dolgu rehberi" *Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş.*, (1995).
47. Arıkan, R., "MOS2 İlaveli çinko-alüminyum esaslı kompozitlerin yapımı ve aşınma özellikleri", *3. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, Ankara, 537-547 (1988).
48. Yılmaz, F., "Sürtünme ve aşınma", *9. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 229-247 (1997).
49. Zafari, A., Ghasemi, H. M., and Mahmudi, R., "Effect of rare earth elements addition on the tribological behavior of AZ91D magnesium alloy at elevated temperatures", *University of Melbourne*, Australia, 303: 98–108 (2013).
50. Koç, E., "Alaşım elementlerinin magnezyum döküm elementlerinin özelliklerine etkisinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2008).
51. Liu, W., Cao, F., Zhong, L., Zheng, L., Jia, B., Zhang, Z., and Zhang, J., "Influence of rare earth element Ce and La addition on corrosion behavior of AZ91 magnesium alloy," *Materials and Corrosion*, 795-803 (2009).
52. Ahlatcı, H., "Wear and corrosion behaviours of extruded Al12Si-XMg alloys", *Materials Letter*, 62: 3490-3492 (2008).
53. Kutschera, U., and Galun, R., "Wear behaviour of Laser Surface Treated Magnesium Alloys", *Magnesium Alloys and Their Applications*, Germany, (2000).

54. Anyanwu, I. A., Honda, T., Kamado, S., Kojima, Y., Takeda, S., and Ishida, T., "Heat and corrosion resistance of Mg-Zn-Al-Ca alloys", *Magnesium Alloys and Their Applications*, Germany, 110-116 (2000).
55. Ünal, M., "Magnezyum alaslmlarının döküm özelliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2008).

ÖZGEÇMİŞ

Elif YAMAN, Karabük Cumhuriyet Lisesi'nden mezun olduktan sonra Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümüne 2010 yılında başlayıp 2015 yılında iyi bir derece ile mezun olmuştur. Daha sonra Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Lisansüstü programına başlamıştır ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda eğitim görmektedir. Şuanda özel bir firmada çalışmaktadır.