

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalında  
Onur ÖZKAYA Tarafından Hazırlanan**

**ZA27 ve CuSn10 ALAŞIMLARININ ABRASİF AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21 / 05 / 2019 gün ve 1805 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Hamdullah ÇUVALCI**

**Üye : Prof. Dr. Aykut ÇANAKÇI**

**Üye : Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ**

*H. Çuvalcı*  
.....  
*A. Çanakçı*  
.....  
*U. Çaligülü*  
.....

**Prof. Dr. Asım KADIOĞLU**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Yüksek özgül mukavemet ve üstün tribolojik özellikleriyle tercih sebebi olan çinko-alüminyum alaşımları ve bronz alaşımları endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bu alaşımların dikkat çeken en önemli özellikleri sahip oldukları yüksek aşınma dirençleri ve düşük sürtünme katsayılarıdır. Bu özelliklerinden dolayı, her iki alışımda endüstride yatak malzemesi, fren balataları, hidrolik sistemler ve motor parçalarında tercih edilmektedir.

Bu çalışmada piyasadan temin edilen ZA27 ve CuSn10 alaşımlarının SiO<sub>2</sub> abrasif partikülleri içeren yağlı ortamda aşınma davranışları incelenmiştir. Farklı aşınma parametrelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yük, devir, süre ve abrasif partikül boyutları değiştirilerek aşınma davranışları üzerine olan etkileri incelenmiştir.

Yüksek lisans çalışmam süresince değerli fikirlerini, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Hamdullah ÇUVALCI' ya şükranlarımı sunarım. Ayrıca, tez çalışmama destek veren başta değerli hocam Prof. Dr. Aykut ÇANAKÇI olmak üzere, araştırma görevlileri; Serdar ÖZKAYA, Onur GÜLER, Müslim ÇELEBİ ve A.Hasan KARABACAK'a teşekkürlerimi sunarım. Son olarak hayatımın her anında maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan saygıdeğer aileme teşekkür ederim.

Onur ÖZKAYA  
Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ZA27 ve CuSn10 Alaşımlarının Abrasif Aşınma Davranışının İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hamdullah ÇUVALCI'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 13/06/2019

Onur ÖZKAYA

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ .....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. ZA Alaşımaları.....	2
1.2.1. ZA Faz Diyagramı .....	2
1.2.2. ZA Alaşımalarının Özellikleri .....	3
1.2.2.1. Fiziksel Özellikleri .....	3
1.2.2.2. Mekanik Özellikleri .....	4
1.2.2.3. Tribolojik Özellikleri .....	6
1.3. Bronz Alaşımaları .....	6
1.3.1. Yaygın Kullanılan Bronz Alaşımaları ve Özellikleri .....	7
1.4. Triboloji .....	8
1.4.1. Triboloji Biliminin Diğer Bilim Dalları İle İlişkisi.....	9
1.4.2. Sürtünme.....	9
1.4.3. Aşınma .....	10
1.4.3. Aşınma Mekanizması Türleri .....	12

1.4.3.1.	Adhezif Aşınma.....	13
1.4.3.2.	Abrasif Aşınma.....	13
1.4.3.3.	Yorulma Aşınması .....	14
1.4.3.3.	Korozif Aşınma .....	14
1.4.3.4.	Erozif Aşınma.....	15
1.4.3.5.	Kavitasyon Aşınması .....	15
1.5.	Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	15
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	17
2.1.	Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	17
2.2.	Numunelerin Hazırlanması .....	18
2.3.	Aşınma Test Düzenegi.....	19
2.4.	Aşınma Deneylerinin Yapılışı .....	20
2.5.	Deney Verilerinin Toplanması .....	22
2.5.1.	Ağırlık Kayıplarının Hesaplanması.....	22
2.5.2.	Sürtünme Katsayılarının Elde Edilmesi .....	22
2.5.3.	Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi .....	23
3.	BULGULAR VE İRDELEME .....	24
3.1.	Alaşımların Mikroyapıları ve Sertlik Değerleri .....	24
3.2.	Zamana Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi .....	24
3.2.1.	Zamana Bağlı Sürtünme Katsayılarının İncelenmesi .....	24
3.2.2.	Zamana Bağlı Aşınma Kayıplarının İncelenmesi .....	25
3.2.3.	Zamana Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	28
3.2.3.1.	ZA27 Alaşımının Zamana Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	28
3.2.3.1.	CuSn10 Alaşımının Zamana Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi .....	29
3.3.	Yüke(Fn) Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi .....	30
3.2.1.	Yüke (Fn) Bağlı Sürtünme Katsayılarının İncelenmesi .....	30
3.2.2.	Yüke (Fn) Bağlı Aşınma Kayıplarının İncelenmesi .....	31

3.2.3.	Yüke (Fn) Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	33
3.2.3.1.	ZA27 Alaşımının Yüke (Fn) Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	33
3.2.3.2.	CuSn10 Alaşımının Yüke (Fn) Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	34
3.3.	Devire Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi .....	35
3.3.1.	Devire Bağlı Sürtünme Katsayılarının İncelenmesi .....	35
3.3.2.	Aşındırıcı Disk Devrine Bağlı Aşınma Kayıplarının İncelenmesi .....	36
3.3.3.	Disk Devrine Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi .....	38
3.3.3.1.	ZA27 Alaşımının Disk Devrine Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	38
3.3.3.2.	CuSn10 Alaşımının Disk Devrine Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	39
3.4.	Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi ....	40
3.4.1.	Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Sürtünme Katsayılarının İncelenmesi.....	40
3.4.2.	Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Aşınma Kayıplarının İncelenmesi.....	41
3.4.3.	Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Olarak Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi .....	43
3.4.3.1.	ZA27 Alaşımının Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Aşınma Yüzeyleri .....	43
3.4.3.2.	CuSn10 Alaşımının Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Aşınma Yüzeyleri .....	44
3.	SONUÇLAR.....	45
5.	ÖNERİLER .....	46
6.	KAYNAKLAR .....	47

## ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ZA27 ve CuSn10 ALAŞIMLARININ ABRAZİF AŞINMA DAVRANIŞININ  
İNCELENMESİ

Onur ÖZKAYA

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Hamdullah ÇUVALCI  
2019, 51 Sayfa

Çelik gibi alaşımlara nazaran düşük yoğunluğa sahip olan ZA alaşımlarına olan ilgi endüstriyel uygulamalarda özellikle de aşınmanın önemli olduğu uygulamalarda gün geçtikçe artmaktadır. ZA alaşımların düşük yağlama şartlarında ve yüksek yükler altında iyi aşınma direnci gösterdiği daha önce yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. ZA alaşımları birçok uygulamada dökme demir, beyaz metaller ve bronz gibi geleneksel yatak malzemelerinin yerini almaya başlamıştır. Bakır alaşımları da aynı şekilde, yağlayıcı özelliklerinden, kolay üretilebilir ve işlenebilir olmalarından dolayı aşınmanın önemli olduğu uygulamalarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada piyasadan temin edilen ZA-27 alaşımı ile CuSn10 alaşımlarının abrasif aşınma davranışları SiO<sub>2</sub> abrasif partikülleri kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında aşınma süresi, uygulanan yük, dönme hızı ve SiO<sub>2</sub> partikül boyutu değişkenlerinin her iki alaşımın abrasif aşınma performansı üzerine olan etkileri incelenmiştir.

Deneyler sonucunda ZA-27 alaşımının ağırlık kaybı olarak yapılan incelemede daha iyi aşınma direnci gösterdiği ancak özgül aşınma miktarı şeklinde yapılan incelemede ise CuSn10 bronzundan daha iyi aşınma performansı sergilediği gözlemlendi. Ayrıca artan aşınma süresi, disk devri ve yük ile birlikte her iki alaşımında aşınma direncinin düştüğü ancak SiO<sub>2</sub> partikül boyutunun aşınma davranışı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** ZA-27 alaşımı, CuSn10 bronz, SiO<sub>2</sub>, Abrasif aşınma

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF ABRASIVE WEAR BEHAVIOR OF ZA27 and CuSn10 ALLOYS

Onur ÖZKAYA

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Metallurgy and Materials Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof.Dr. Hamdullah ÇUVALCI  
2019, 51 Pages

The interest in ZA alloys with low density compared to alloys such as steel is increasing in industrial applications, especially in applications where wear is important. Previous studies have shown that ZA alloys show good wear resistance under low lubrication conditions and high loads. ZA alloys have begun to replace traditional bearing materials such as cast iron, white metals and bronze in many applications. Copper alloys are likewise widely used in applications where wear is important because of their lubricating properties, easy to produce and processability.

In this study, the abrasive wear behavior of the commercially available ZA-27 alloy and CuSn10 alloys was determined using SiO<sub>2</sub> abrasive particles. In this study, the effects of abrasion time, applied load, rotational speed and SiO<sub>2</sub> particle size on the abrasive wear performance of both alloys were investigated.

As a result of the experiments, it was observed that ZA em 27 alloy showed better abrasion resistance in weight loss but in the form of specific wear amount it showed better wear performance than CuSn10 bronze. In addition, the abrasion resistance of both alloys decreased with increasing abrasion time, disk speed and load, but no significant effect of SiO<sub>2</sub> particle size on wear behavior.

**Key Words:** ZA27 Alloy, CuSn10, SiO<sub>2</sub>, Abrasive Wear

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Al-Zn Faz Diyagramı .....	2
Şekil 2. Cu-Sn Faz diyagramı.....	6
Şekil 3. Sürtünme tipleri; (a) statik sürtünme, (b) dinamik sürtünme.....	10
Şekil 4. Aşınma sisteminin temel bileşenleri .....	11
Şekil 5. Temel aşınma mekanizmaları, (a) adhezif aşınma, (b) abrazif aşınma, (c) yorulma aşınması, (d) korozyon aşınması . .....	12
Şekil 6. Abrasif Aşınma .....	14
Şekil 7. (a) Titreşimli Elek , (b) Partikül Boyut Ölçüm Cihazı.....	17
Şekil 8. Aşınma testlerinde kullanılan numunelerin şekli.....	18
Şekil 9. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı .....	18
Şekil 10. Aşınma Deneyinde Kullanılan Numunelerin Görünüşü .....	19
Şekil 11. Aşınma Deney Cihazı .....	19
Şekil 12. Aşınma Cihazının Şematik Görünüşü.....	20
Şekil 13. (a) 18 µm, (b) 42 µm, (c) 87 µm, (d) 167 µm ortalama partikül boyutlarına sahip SiO <sub>2</sub> tozları.....	21
Şekil 14. Hassas terazi.....	22
Şekil 15. Taramalı Elektron Mikroskobu.....	23
Şekil 16. Alaşımların içyapı görüntüleri (a)CuSn10, (b)ZA27 .....	24
Şekil 17. Zamana bağlı sürtünme katsayıları grafiği.....	25
Şekil 18. Zamana bağlı ağırlık kaybı grafikleri.....	26
Şekil 19. Zamana bağlı özgül aşınma grafikleri.....	27
Şekil 20. ZA27 numunelerinin 200X büyütmedeki görüntüleri (a) 3, (b) 6 , (c) 9, (d)12 dk aşındırılmış numuneler .....	28
Şekil 21. ZA27 numunelerinin 1000X büyütmedeki görüntüleri (a) 3, (b) 6, (c) 9, (d)12 dk aşındırılmış numuneler .....	28
Şekil 23. CuSn10 numunelerinin 1000X büyütmedeki görüntüleri (a) 3, (b) 6, (c) 9, (d)12 dk aşındırılmış numuneler .....	29
Şekil 24. Yüke bağlı sürtünme katsayıları grafiği.....	31
Şekil 25. Yüke bağlı ağırlık kaybı.....	31
Şekil 26. Yüke bağlı özgül aşınma miktarı .....	32

Şekil 27. ZA27 numunelerinin farklı yüklerde aşınma yüzeyleri (a) 30N, (b) 60N, (c) 90N, (d)120N .....	33
Şekil 28. CuSn10 numunelerinin farklı yüklerde aşınma yüzeyleri (a) 30N, (b) 60N, (c) 90N, (d)120N .....	34
Şekil 29. Disk devrine göre sürtünme katsayıları .....	35
Şekil 30. Disk devrine göre ağırlık kayıpları .....	36
Şekil 31. Disk devrine bağlı özgül aşınma miktarı .....	37
Şekil 32. ZA27 numunelerinin farklı disk devirlerinde aşınma yüzeyleri (a)100dev/dk (b)200dev/dk, (c)300dev/dk ve (d)400dev/dk.....	38
Şekil 33. CuSn10 numunelerinin farklı disk devirlerinde aşınma yüzeyleri (a)100dev/dk (b)200dev/dk, (c)300dev/dk ve (d)400dev/dk.....	39
Şekil 34. SiO <sub>2</sub> boyutuna bağlı sürtünme katsayısı grafiği .....	41
Şekil 35. SiO <sub>2</sub> partikül boyutunun ağırlık kaybına etkisi.....	42
Şekil 36. SiO <sub>2</sub> partikül boyutunun özgül aşınma miktarına etkisi .....	42
Şekil 37. ZA27 alaşımının farklı aşındırıcı partikül boyutlarındaki aşınma yüzeyleri (a) 18µm, (b)42µm, (c)87µm ve (d)167 µm.....	43
Şekil 38. CuSn10 alaşımının farklı aşındırıcı partikül boyutlarındaki aşınma yüzeyleri (a) 18µm, (b)42µm, (c)87µm ve (d)167 µm.....	44

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Çinko-alüminyum faz diyagramında meydana gelen dönüşümler .....	3
Tablo 2. ZA alaşımları ve bazı yatak alaşımlarının genel özellikleri.....	4
Tablo 3. Bazı ZA alaşımları ile geleneksel yatak alaşımlarının mekanik özellikleri.....	5
Tablo 4. ZA27 Alaşımının ağırlıkça % kimyasal bileşimi.....	17
Tablo 5. CuSn10 alaşımının kimyasal bileşimi.....	17
Tablo 6. Deney parametreleri ve değişkenler.....	21



## SEMBOLLER DİZİNİ

ZA	: Çinko-aluminyum alaşımı
CuSn10	: %10 kalay içeren bronz alaşımı
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
Al	: Alüminyum
BSD	: Brinell sertlik değeri
MPa	: Mega paskal
KIC	: Kırılma tokluğu
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Gün geçtikçe artan ihtiyaçlarımız ve tüketimlerimiz sürekli olarak yeni teknolojilerin ortaya çıkmasına, yeni ve üstün özelliklerde mühendislik malzemelerin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır. Bütün mühendisliklerin ve sanayi üretiminin temelini oluşturan malzeme bilimindeki gelişmelerde hızla devam etmektedir. Son yıllarda çinko üzerine yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları Zn-Al alaşımlarının yani zamak olarak bilinen, yüksek oranda Zn içerikli alaşımların geliştirilmesini sağlamıştır [1-2]. Zamak; çinko, alüminyum, bakır ve magnezyumdan üretilen alaşımların genel adı olarak kullanılmaktadır. Zamak alaşımları, Al, Pirinç, bakır ve bazı dökme demirler gibi diğer birçok alaşıma göre sahip olduğu düşük yoğunluğu, yüksek mukavemeti, yüksek aşınma direnci, kolay üretilirliği ve işlenebilirliği ile ön plana çıkmıştır [3-7]. Zn alaşımları doğrudan uygulamalarda kullanıldığında mekanik özellikleri bakımından yetersiz kalmaktadır. Ancak Zn elementinin alaşımlara katılmasıyla, yapıya katıldığı alaşımın sadece mekanik özelliklerini değil, aynı zamanda döküm özelliklerini de önemli ölçüde iyileştirdiği görülmüştür [2-8]. Zamak alaşımlarının geliştirilmesi de bu noktada ortaya çıkmıştır. Yapılan Ar-Ge çalışmaları neticesinde Cu, Mn, Si, Mg gibi alaşım elementi katkılarının Zn-Al alaşımlarının mukavemetini arttırdığı görülmüştür [5-9].

Üretimin kolay olmasından dolayı zamak alaşımlarının sektördeki kullanım yerlerinin artması, değişik ürünler için hammadde alternatifi olarak kullanılabilmesi, sanayi açısından üretim maliyetlerinin azalmasını ve zamak alaşımlarının pazar payının artmasını sağlayacaktır. ZA-3 ve ZA-5 alaşımları, çinko-alüminyum esaslı alaşımlarının günümüzde en yaygın kullanıma sahip olanlarıdır [10-11]. Bu malzemelerin endüstriyel uygulamalarda birçok kullanım yeri mevcuttur. Bu alaşımların kullanım yerlerinden bazıları, otomotiv endüstrisi, ev eşyaları, hırdavat, büro makineleri, elektronik cihazlar, askeri malzemeler, radyo ızgaraları, karbüratör, yakıt pompasıdır [12].

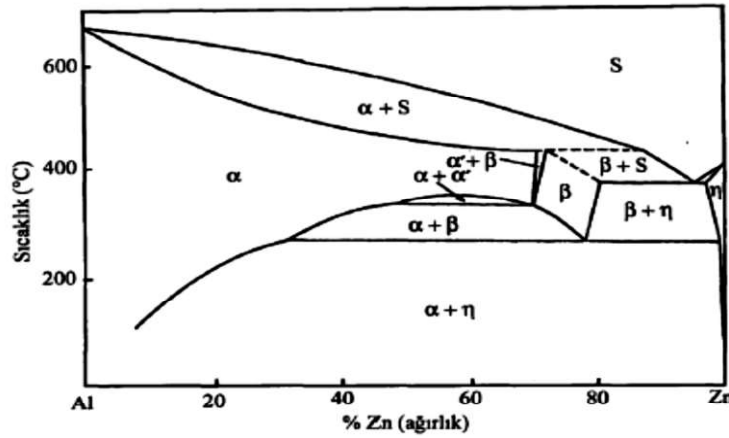
Çinko endüstrisindeki en dikkat çeken gelişme, alüminyum içeriği yüksek olan ve ZA alaşımı olarak bilinen bir dizi yeni alaşımın günümüzde geliştirilmiş olmasıdır. Bu alaşımlar ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 olarak bilinmektedir. Artan Al oranı ile birlikte ikili Zn-Al alaşımlarının mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileşmektedir. Ayrıca yapıya katılan Mg elementide, alüminyumda olduğu gibi mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlamaktadır [13].

ZA alaşımlarının üstün tribolojik özelliklerine sahip olmasının sebebi, alaşımın yüzeyinde alüminyum oksit (alümina) ve çinko oksit gibi çok fazlı bir yapının kolayca oluşmasıdır. Alüminyum oksit sert olduğundan iyi aşınma direnci sağlarken, çinko oksit ise yumuşak olup yağlayıcı özellik kazandırmaktadır [14].

## 1.2. ZA Alaşımları

### 1.2.1. ZA Faz Diyagramı

Çinko-alüminyum alaşımlarında katılaşma aralıkları ve alaşımların ergime sıcaklıkları içerdikleri alüminyum miktarına bağlıdır. Çinko-alüminyum alaşımlarına ait faz diyagramı, Şekil 1.1'de verilmiştir. Bu diyagramda, çinko bakımından zengin faz bölgesi  $\eta$ , alüminyum bakımından zengin faz bölgesi ise  $\alpha$  olarak gösterilmektedir [15]. Alüminyum fazı içerisinde, çinko %80 oranına kadar çözülerek  $\alpha$ ,  $\alpha'$  ve  $\beta$  olarak isimlendirilen, yüzey merkezli kübik yapıli fazları oluşturmaktadır [16].



Şekil 1. Al-Zn Faz Diyagramı [16]

Bu faz diyagramında, %95 Zn bileşiminde ve 382 °C sıcaklıkta ötektik nokta bulunmaktadır. Bu noktada meydana gelen ötektik dönüşüm sonucunda, YMK yapıli  $\beta$  fazı ile birlikte SDH yapıli  $\eta$  fazlarını içeren bir yapı meydana gelmektedir. Alüminyumun  $\eta$  fazı içerisindeki çözünürlüğü, ötektik sıcaklık ta %5 dir. Bu değer sıcaklık azaldıkca azalmakta ve 20 °C sıcaklıkta %0,05 Al oranına kadar azalmaktadır.  $\beta$  fazının alüminyumca zengin  $\alpha$  ile çinkoca zengin  $\eta$  fazlarına dönüşmesi, 275 °C den daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir



[17]. Zn-Al alaşımlarına ait faz diyagramında meydana gelen önemli dönüşümler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çinko-alüminyum faz diyagramında meydana gelen dönüşümler [17]

Dönüşüm	Çinko oranı (%)	Sıcaklık (°C)
Ötektik $S \rightleftharpoons \beta + \eta$	95	382
Ötektoid $\beta \rightleftharpoons \alpha + \eta$ $\alpha/\alpha^1 \rightleftharpoons \alpha + \beta$	78 52	276 340
Peritektik $\alpha + S \rightleftharpoons \beta$	71.6	443

## 1.2.2. ZA Alaşımlarının Özellikleri

### 1.2.2.1. Fiziksel Özellikleri

ZA esaslı alaşımların ısıl genleşme, elektriksel iletkenlik ve ısıl iletkenlik katsayıları geleneksel yatak alaşımlarından daha yüksektir ve bu değerler artan alüminyum miktarı ile artmaktadır. Ayrıca Zn-Al alaşımlarının yoğunlukları yatak malzemesi olarak kullanılan pirinç, bronz, dökme demir gibi geleneksel alaşımlardan daha azdır. Çinko-alüminyum alaşımlarının yoğunluk değerleri, artan alüminyum miktarı ile azalmakta bu da bu alaşımların birim maliyetini azaltmaktadır. Üçlü Zn-Al-Cu alaşımlarında, katılaşma esnasında meydana gelen yarı kararlı fazlar, yaşlandırma sırasında kararlı fazlara dönüşerek önemli miktarda hacimsel büyüme meydana getirmektedir [18-20].

İkili çinko-alüminyum faz diyagramından da görüldüğü üzere, alaşımların ergime noktası ve katılaşma aralığı alüminyum miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Alüminyum oranı arttıkça, alaşımların ergime noktası yükselmekte, katılaşma aralığı ise daralmaktadır [18,22].

ZA esaslı alaşımların, ergime sıcaklığının düşük olması, döküm yöntemiyle üretilmeleri için gerekli enerji sarfiyatını azaltmakta ve döküm gereçlerinin kullanım ömrünü artırmaktadır. Tablo 2’de ZA alaşımlarına ait fiziksel özelliklerin bir kısmı verilmiştir [20,24].

Tablo 2. ZA alaşımları ve bazı yatak alaşımlarının genel özellikleri

ALAŞIMLAR						
Fiziksel Özellikler	ZA-8	ZA-12	ZA-27	SAE-40 Pirinci	SAE-660 Bronzu	Kır Dökme Demir
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	6,30	6,03	5,0	8,50	8,83	6,94
Katılma Büzülmesi (%)	1,0	1,2	1,3	-----	-----	1,0
Katılma Sıcaklık Aralığı (°C)	404-375	430-380	490-380	1010-855	975-855	1232
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°K)	23,2	24,1	26,0	18,0	18,0	11,9
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m°K)	115	116	126	72	59	45
Elektrik İletkenlik Katsayısı (%IACS)	28	28	30	15	12	6

### 1.2.2.2. Mekanik Özellikleri

ZA alaşımları endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni sahip oldukları kolay dökülebilirlik, kolay işlenebilirlik ve iyi mekanik özelliklere sahip olmalarıdır. ZA alaşımlarının kullanılmaya başlamasıyla, özellikle aşınma direnci yüksek olan ZA-35 alaşımları geliştirilmiş olmasına rağmen yapılan araştırmalar sonucunda ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 gibi farklı alüminyum miktarlarına sahip prototip döküm parçaları üretilerek geliştirilmiştir [24-26].

Tablo 3 incelendiğinde diğer çinko-alüminyum alaşımlarına nazaran, ZA-27 alaşımının daha iyi çekme ve akma dayanımı özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. Sahip olduğu bu mukavemet değerlerinden dolayı ZA-27 alaşımının alüminyum, bakır ve dökme demir gibi diğer alaşımlarla bir rekabet halinde olduğu söylenebilir.

Tablo 3. Bazı ZA alaşımları ile geleneksel yatak alaşımlarının mekanik özellikleri  
[15,22,24,26]

<b>ALAŞIMLAR</b>						
<b>Mekanik Özellikler</b>	<b>ZA-8</b>	<b>ZA-12</b>	<b>ZA-27</b>	<b>SAE-40 Pirinci</b>	<b>SAE-660 Bronzu</b>	<b>Kır Dökme Demir</b>
<b>Çekme Dayanımı (MPa)</b>	221-255	310-345	414-441	255	240	214
<b>Akma Dayanımı (MPa)</b>	200-210	207-268	372-393	114	124	124
<b>Kopma Uzaması (%)</b>	1-2	1,5-2,5	2-3	30	20	-----
<b>Brinell Sertlik Değeri (BSD)</b>	85-90	85-95	110-120	60	65	210
<b>Darbe Dayanımı (J)</b>	13-18	17-22	25-40	15	8	-----
<b>Yorulma Dayanımı (MPa)</b>	103	103	172	-----	-----	-----
<b>Kayma Mukavemeti (MPa)</b>	241	255	270	-----	-----	-----

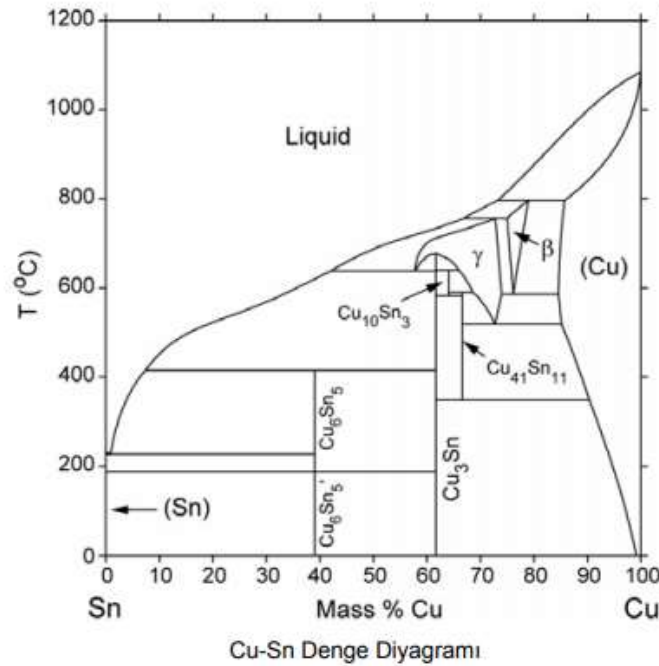
Oda sıcaklıklarında yeterli mukavemet değerlerine sahip olan ZA alaşımlarının, yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerinin düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, 100<sup>0</sup>C sıcaklık civarında sürünme mukavemetlerinin ve çekme dayanımlarının azaldığı belirtilmiştir. ZA alaşımlarının sahip olduğu düşük ergime sıcaklıkları dikkate alındığında, mekanik özelliklerinin düşüş gösterdiği bu sıcaklığın yaklaşık olarak 0,25 Tm değerine karşılık geldiği söylenebilir[27].

### 1.2.2.3. Tribolojik Özellikleri

ZA esaslı alaşımlar, sahip oldukları farklı özellikler bakımından plastikler ve çeliklerle yarışabilir olmasının yanı sıra birçok alüminyum alaşımı, dökme demirler ve bronz yatak malzemelerine de alternatif malzemeler olarak ön plana çıkmaktadır [28]. Tribolojik özellikler bakımından sahip oldukları yüksek aşınma dirençleri, sürtünme ve aşınmanın meydana geldiği birçok uygulamada tercih edilmelerini sağlamıştır. ZA esaslı alaşımlardan imal edilen yataklar, düşük hız ve yüksek basıncın olduğu kaymalı yataklarda kullanılmasına rağmen günümüzde yapılan çalışmalar neticesinde farklı çalışma ortamlarına uygun, yüksek aşınma direnci sergileyen ZA alaşımları geliştirilmiştir [29,30].

### 1.3. Bronz Alaşımları

Bronz alaşımları, bakır esaslı bir alaşım olup bakırın çinko içermeyen alaşımlarına genel olarak bronz denilmektedir. Ancak esasen bronz; yapısında bulunan ikincil elementin kalay olduğu bakır alaşımlarına denilmektedir. Bakır-kalay bronz alaşımları M.Ö. 3000'li yıllara dayanan bir geçmişe sahiptir. Bu çağlarda bronz çeşitli silah, bıçak, av malzemelerinin yapımında ve sanatsal uygulamalarda kullanılmıştır. ZA alaşımlarında olduğu gibi, bronz alaşımlarının da birçok farklı bileşimde ticari türleri mevcuttur [31].



Şekil 2. Cu-Sn Faz diyagramı [31]

Denge diyagramından da görüldüğü gibi kalayın çözünürlük sınırı 20 °C'de % 1'den az iken, sıcaklığın artışı ile hızla artarak ötektoid yatayında % 15.8 kalay olur. Kalay miktarları belirli miktara kadar olan bakır-kalay alaşımları sanayi açısından en önemli bronz alaşımlarını oluşturmaktadır. %15'e kadar kalay içeren bakırca zengin alaşımlar genel olarak bronz olarak bilinir. 350 °C'nin altındaki sıcaklıklarda bu alaşımlar faz diyagramında, iki katı eriyikten ayrılmış kalay bakımından zengin bir faza ve bakırca zengin bir faza sahiptir.

Bronz alaşımları da bileşimlerine göre kalay ve kurşun bronzu olarak iki gruba ayrılmaktadır. Genellikle bronz kolay işlenebilen, korozyona iyi dayanıklılık gösteren, nispeten küçük bir sürtünme katsayısı yaratan ve oldukça sert bir yatak malzemesidir. Bakır esaslı malzemelerin ana bileşeni sert bakırdır. Kurşun bronzları (% 10-28 Pb, % 3-10 Sn) en yumuşak bronz türüdür. Bunlar aşınmaya çok dayanıklı değildirler. Kurşun-kalay bronzları (% 5-14 Sn, % 3-25 Pb) daha serttir [32-35]. Kalay bronzuna (% 5-14 Sn) az miktarda fosfor da ilave edilerek fosfor bronzu elde edilir, genellikle büyük kuvvetler ve orta hızlar için kalay bronzu uygundur. Bakır-kalay-çinko ve kurşun alaşımı olan kızıl döküm ve bakır-çinko alaşımı olan pirinç de çok daha pahalı olan kalay bronzu yerine yatak malzemesi olarak kullanılırlar. Ancak bunların kayma özellikleri kalay bronzundan daha kötüdür [36].

### 1.3.1. Yaygın Kullanılan Bronz Alaşımları ve Özellikleri

- % 96 Cu-% 4 Sn: Çok yumuşak ve kırmızı renge sahiptir. Akıcılığı bakırda olduğu gibi iyi değildir. Bu sebepten dökümcülükte kullanılmaz. Pres ile madalya, madeni para ve süs eşyası şekillendirmesinde kullanılır.

- % 90 Cu-% 10 Sn: Parlatma işlemi gereken döküm parçaların üretiminde kullanılır. Yüzeyi portakal sarısı, kesiti ise pembe rengindedir. Sürünme dayanımı çok düşüktür. Volan, boru, rondela, somun ve başlık takımları kullanım alanlarından bazılarıdır.

- % 88 Cu-% 12 Sn: Çekme boşlukları diğer bronz alaşımlara göre daha azdır. Rengi saman sarısı kesiti kırmızıdır. Buhar ve sıvı basınca dayanım gerektiren parçaların (musluklar, kamlar ve sübaplar) üretiminde kullanılır.

- % 86 Cu-% 14 Sn: Rengi açık sarı, kesiti sarımsak gridir. Sürünme dayanımı yukarıda verilen alaşımlardan biraz daha iyidir. Hidrolik ve kompresörlerin bazı parçalarının üretiminde kullanılır.

- % 84 Cu-% 16 Sn: Kesiti gri, yüzey rengi açık sarıdır. Sürünme dayanımı orta düzeydedir. Yatak, kulisler ve bazı kamların üretiminde kullanılır [37].

- % 82 Cu-% 18 Sn: Kesiti gridir. Sürünme dayanımı iyidir. Buhar makinesi çekmeceleri, dingil yatakları ve büyük yük altında çalışan parçaların üretiminde kullanılır.
- % 80 Cu-% 20 Sn: Bu bronz alaşımı sarımsak beyaz renktedir. Sert ve sürünme dayanımı yüksektir. Buhar makinesi segmanlarının üretiminde kullanılır.
- % 78 Cu-% 22 Sn: Çok serttir. Çan ve çingirak yapımında kullanılır.
- % 75 Cu-% 25 Sn: Çok sert ve kırılğan bir bronz alaşımıdır. İnce tanelidir. Gri renge sahip olup ses verme özelliği iyi olduğu için çan yapımında kullanılır.

#### 1.4. Triboloji

Triboloji en genel tanımlamayla, sürtünme, aşınma ve yağlama konularını inceleyen bilim ve teknoloji dalıdır. Tribolojik sistem ise, içinde aşınma ve sürtünme olaylarının gerçekleştiği teknik sistemler olarak belirtilebilir. Mühendislik malzemelerinin aşınma davranışlarının incelenmesinde mekanik sistemlerin bir tribolojik sistem olarak ele alınması gerekmektedir. Başka bir deyişle, aşınma olayı tek bir malzeme kaybı olarak değil bir tribolojik sistem bütünlüğü olarak düşünülmelidir [38]. Tribolojik sistem, ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), yük, ara malzeme, hareket ve çevre olmak üzere 6 birimden oluşur. Aşınma çiftini yani birbirleriyle temas halinde olan malzeme çiftini ana malzeme ve karşı malzeme oluşturur. Yük ve göreceli hareket nedeniyle aşınma meydana gelmeye başlar. Ana malzeme; metal, mineral, plastik, kauçuk, ağaç, deri gibi aşınma özelliklerine dikkat çekilen katı cisimlerden meydana gelebilir [39].

Triboloji alanındaki çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların amacının mühendislik anlamında sürtünme ve aşınmadan kaynaklanan malzeme kayıplarını en aza indirmek olduğu görülmektedir. Esasında triboloji alanındaki çalışmaların en temel hedefi, aşınarak bozulan zarar gören malzemelerin sebebini araştırıp çözüm üreterek daha uzun malzeme ömrü, daha iyi performans, daha az enerji kaybı ve tasarruf sağlamaktır [40].

Triboloji biliminde yuvarlanan ve kayan yüzeylerin kullanıldığı modern teçhizatlar büyük önem arz etmektedir. Bu teçhizatların kullanım alanlarına göre kimi durumlarda sürtünmenin yüksek olması istenirken, kimi durumlarda ise minimum değerde olması istenir. Örneğin frenler, debriyajlar, otomobil ve trenlerdeki tahrik tekerlerinde sürtünmenin yüksek olması istenilen parçalardır. Ancak araç motorları, dişliler, yatak malzemeleri ve pistonlarda sürtünmenin en az değerlerde olması istenir.

### 1.4.1. Triboloji Biliminin Diğer Bilim Dalları ile İlişkisi

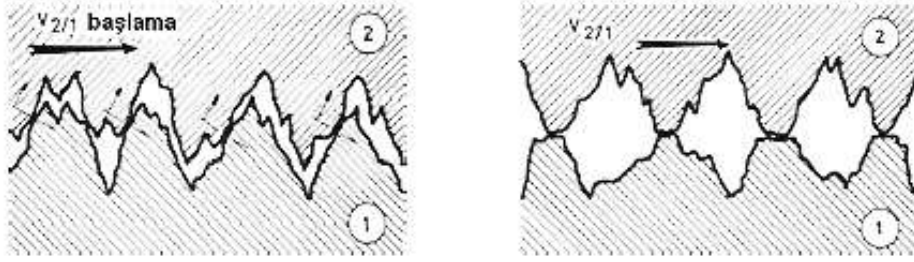
Mühendislik uygulamalarında kullanılan birçok makine ve teçhizatlar da karşılaşılan kayma yüzeyleri karmaşık yapılardan meydana gelmektedir. Bunlara örnek vermek gerekirse bir saat mekanizmasından uçak motoruna kadar hemen hemen bütün alet ve makinalarda birbirlerine göre göreceli hareket yapan ve aşınmaya sebep olabilecek şekilde temas halinde olan karmaşık yapılar mevcuttur. Bu nedenle bu sistemlerde meydana gelen karşılıklı yüzeyler arası etkileşimleri yorumlarken triboloji bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Tribolojinin gerekli olduğu ve ilgilendiği bilim dallarının başında, makine mühendisliği, malzeme bilimi, yüzey kimyası, mekanik, sürtünme, yatak malzemeleri, yağlayıcı malzemeler, malzeme tasarımı ve üretimi gelmektedir. Özellikle otomobil endüstrisinde triboloji son derece önemlidir. Günümüzde, otomobillerin motor verimini arttırmak, yakıt tüketimini düşürmek ve güvenli sürüş sağlamak için önemli araştırmalar ve yatırımlar yapılmaktadır. Motor verimini arttırmak için yapılan çalışmalar, motor pistonları ve yataklarda meydana gelen aşınmaları azaltmak, yağlama verimini arttırmak üzerine yoğunlaşırken, güvenli sürüş için yapılan çalışmalar ise fren disk ve balatalarının sürtünme-aşınma davranışlarını optimum seviyeye çekmek üzerine yoğunlaşmıştır. Görüldüğü üzere triboloji bilimi tek bir konu üzerine değil, birçok mekanizma ve konu üzerine incelemeler yapmaktadır. Bundan dolayı triboloji biliminin bütün mühendislik dallarıyla doğrudan veya dolaylı yoldan ilişkisi bulunmaktadır [41-44].

### 1.4.2. Sürtünme

Sürtünme; cisimlerin birinin diğerine bağlı olarak hareketinden doğan kinetik enerji kayıplarıdır. Sürtünmeye, temas eden iki cismin ara yüzeylerinde oluşan direnç kuvvetleri sebep olur. Bu kuvvetler; yükün yanı sıra temas eden malzemenin özellikleri ve temas alanıyla ilgilidir. Gerçek temas alanı cismin görünen yüzey alanından çok küçüktür. İşlem görmüş bütün malzemeler farklı bir yüzey topografyasına sahiptirler. Metallerin sürtünmesi esnasında oldukça karmaşık bir durum ortaya çıkmakla beraber, sürtünmeye etki eden başlıca faktörler, her iki yüzeyin birbirine olan uygunluğu, yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğü yanında pürüz uçlarının birbirine kaynaması, oksidasyon veya korozyon sebebiyle kimyasal yapısının değişmesi veya tamamıyla hasara uğraması durumlarıdır.

Metallerin yüzeyleri her ne kadar düz bir görünüme sahip olsa da mikroskobik olarak pürüzlüdür. Karşılıklı yüzeylerin temas durumu, iki yüzeyin göreceli hareketi neticesinde pürüz uçları(tepeleri) arasında meydana gelir. Statik ortamdaki iki pürüzlü yüzey dikkate

alındığında, durgun halde her iki temas yüzeylerinin birbirlerine göre hareketine statik sürtünme denir. Statik sürtünmede, sürtünme katsayısı maksimum değerlere ulaşmaktadır çünkü temas eden yüzeyler arasında sürtünmeyi azaltıcı bir yağlayıcı bulunmaz. Sürtünmenin süreksizleşmesi ise düşük kayma hızlarında meydana gelir. Hareket, yapışma-kayma şeklinde devam ederek kayma hızındaki meydana gelen artışla birlikte sürtünme pürüzlerin uç kısımlarında oluşur. Bu nedenden dolayı sürtünme katsayısı zamanla azalır. Bu duruma ise dinamik sürtünme denilmektedir (Şekil 3) [109]. Kaymayı başlatan kuvvet ( $F_s$ ) ve temas yüzeyine etki eden normal kuvvet ( $F_n$ ) arasında;  $F_s = \mu_s \cdot F_n$  bağıntısı mevcuttur. Bu eşitlikte,  $\mu_s$  statik sürtünme katsayısı olarak ifade edilir. Hareket sırasında ise sürtünme kuvvetinde azalma meydana gelir ve sürtünme kuvveti;  $F_k = \mu_k \cdot F_n$  eşitliğiyle hesaplanır. Burada  $\mu_k$ ; dinamik sürtünme katsayısıdır ve genellikle statik sürtünme katsayısından daha düşüktür [45].



Şekil 3. Sürtünme tipleri; (a) statik sürtünme, (b) dinamik sürtünme

Karşılıklı iki yüzey arasında meydana gelen göreceli hareket sonucunda sürtünme etkisi, yüksek basınçlara bağlı olarak ısı enerjisini oluştururlar ve meydana gelen plastik deformasyon sonucu temas eden pürüz uçları birbirlerine kaynarlar. Bu kaynama; soğuk veya sıcak kaynama şeklinde meydana gelir. Sıcak kaynama olayı malzemenin difüzyonuna ve yeniden kristalleşmesine bağlıdır soğuk kaynama ise metallerin yapışması şeklinde düşük sıcaklıklarda ortaya çıkar [46].

### 1.4.3. Aşınma

Aşınma, malzeme yüzeyinde oluşan hasar veya birbiri ile ilişkili olarak kayma, çadev/dka ve yuvarlanma hareketi yapan iki yüzeyin en az bir tanesinden malzeme kopartılması olarak tanımlanır. Genellikle aşınma; yüzey boyunca pürüz uçlarının etkileşimleriyle meydana gelir.

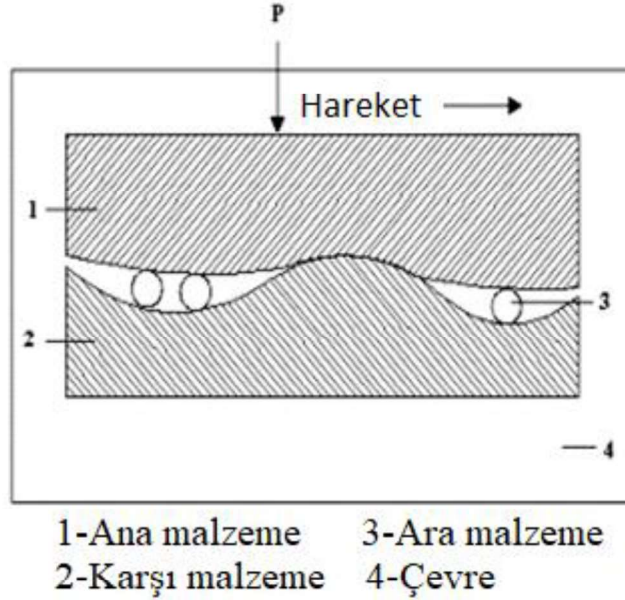


Yüzeye temas eden veya aşınan malzeme hareket esnasında yer değiştirebilir bu durumda malzeme kaybı çok azdır. Malzemenin yüzeyden kaldırılması durumunda ise kopan parça bir aşınma partikülü olarak ayrılabilir. Genellikle aşınma mekanizmasının tarifi malzemenin kayboluş şekline dayandırılır.

Bir aşınma sisteminde ana unsurlar şunlardır ;

- Aşınan eleman,
- Aşındıran eleman,
- Ara madde,
- Yük (P),
- Hareket

Tribolojik sistem olarak adlandırılan bu aşınma sistemi bütün unsurların oluşturduğu sistemdir ve Şekil 4'te şematik olarak gösterilmektedir [47].



Şekil 4. Aşınma sisteminin temel bileşenleri

“Aşınma çifti” olarak tanımlanan aşınan ve aşındıran malzeme arasındaki “ara malzeme” katı, sıvı ve gaz halde olabilir. Ara malzeme aşınma sistemine çevresel etkilerden dolayı katılabileceği gibi, aşınma sonucu meydana gelen aşınma parçacıkları da bir ara malzeme gibi davranabilir. Aşınma çifti ve ara malzeme ikilisine “aşınma kombinasyonu” denilir.

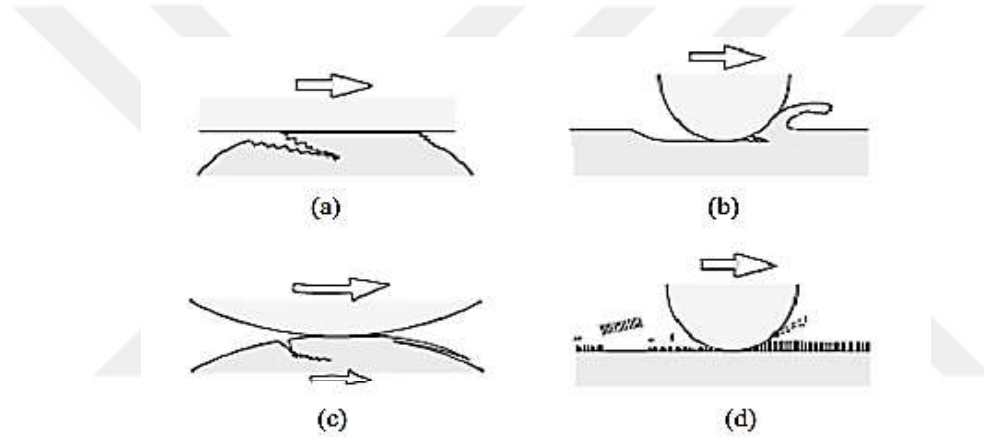
Aşınmayı etkileyen faktörler ana malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcıya (karşı malzeme) bağlı faktörler olarak sınıflandırılabilir. Ana malzemeye bağlı faktörler; malzemenin sertliği, malzemenin kristal yapısı, elastisite modülü, yüzey pürüzlülüğü, deformasyon davranışı ve malzemenin boyutudur. Aşındırıcı etkisine bağlı faktörler ise; ortamın koşullarına

göre, sıcaklık, nem, atmosfer; uygulama koşullarına göre; hız, basınç ve kayma koşullarıdır [48].

### 1.4.3. Aşınma Mekanizması Türleri

Aşınma tipleri veya biçimleri, aşınma mekanizmasının belirli kombinasyonları olarak tanımlanır. Genel aşınma mekanizmaları şu şekildedir;

- Adhezif aşınma
- Abrasif aşınma
- Korozyon aşınma
- Yorulma aşınması (Şekil 5)



Şekil 5. Temel aşınma mekanizmaları, (a) adhezif aşınma, (b) abrasif aşınma, (c) yorulma aşınması, (d) korozyon aşınması [115].

Abrasif ve adhezif aşınma mekanizmaları plastik deformasyon sonucunda meydana gelir. Yorulma ve korozyon aşınmaları ise hem plastik ve hem de elastik deformasyona bağlı olarak ortaya çıkar. Abrasif ve adhezif aşınmada aşınma olayı deformasyon nedeni ile olmasına rağmen yorulma aşınmasında, esneklik ve gevreklik sonucunda ortaya çıkar. Korozyon aşınması ise çevresel etkilere bağlı olarak kimyasal reaksiyonlar ve sürtünme olayıyla ortaya çıkar[49].

### 1.4.3.1. Adhezif Aşınma

Adhezif aşınma, kayma ve yapışma aşınması olarak da tanımlanan bir aşınma türüdür. Yağlı veya yağsız ortamda, iki cismin birbirlerine göre yapmış oldukları göreceli hareket ile meydana gelmektedir. Bu aşınma mekanizmasında karşılıklı yüzeylerden kopan aşınma partikülleri karşı malzeme yüzeyine yapışabilir. Diğer yüzeye yapışan parçalar, kayma işleminin devam etmesiyle tekrar başlangıç yüzeyine yapışabilir veya her iki yüzeyden bağımsız olarak aşınma parçacığı olabilirler. Motor yataklarının sarması, adhezif aşınmaya ait karakteristik bir örnek olarak verilebilir [50].

Adhezif aşınma mekanizmasının temel özellikleri olarak şunlar söylenebilir;

1. Aşınma olayı, uygulanan kuvvete ve yüzeylerin göreceli hızına bağlı olarak gelişir ve genellikle yüksek hızlarda ve yüklerde karşımıza çıkan bir aşınma türüdür.

2. Adhezif aşınma genellikle benzer karakteristike olan veya kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında görülmektedir.[51].

3. Adhezif aşınmada, yağlamanın etkisi önemlidir. Adhezif aşınmanın önlenmesi için yüzeyler arasına yağlama işlemi yapılabilir.

5. Karşı yüzeyler arasındaki sertlik farkı çok olduğunda, yumuşak malzemeden kopan aşınma parçacıkları sert malzemenin yüzeyine yapışır.

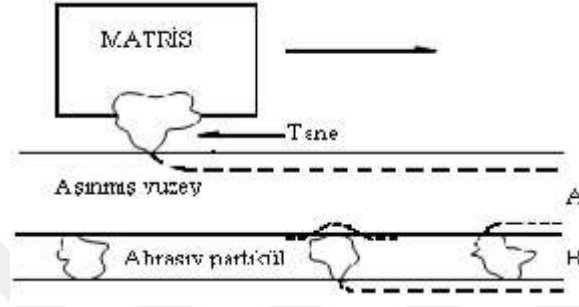
Adhezif aşınmanın önlenmesi veya azaltulabilmesi için birtakım tedbirler alınabilir. Bunlardan en yaygın olanları, metal yüzeyleri yağlayarak karşılıklı yüzeylerin temasını azaltarak mikro yapışmaları önlemek ve eğer tasarım açısından sorun çıkarmayacaksa seçilen malzemelerin mümkün olduğunca sert olmasını sağlamaktır.

### 1.4.3.2. Abrasif Aşınma

Abrasif aşınma mekanizmasında, karşılıklı yüzeylerin arasında oksidasyon, korozyon gibi etkiler nedeniyle oluşan veya dış ortamdan kayma yüzeyleri arasına giren toz, talaş gibi sert parçacıklar etkilidir. Bu sert parçacıklar, yüzeyler arasında kazıma yaparak her iki malzemeden aşınma kayıplarının oluşmasına neden olur. Ancak bazı durumlarda karşılıklı yüzeylerin birbirlerine göre çok farklı sertlik değerlerine sahip olması veya malzeme çiftinden bir tanesinin seramik gibi sert/gevrek karakteristikte olması durumunda da abrasif aşınma meydana gelebilir. Sert olan yüzeyden kopan parçacıklar, arayüzeyde tutunarak yumuşak olan malzemede kesme, kazıma şeklinde plastik deformasyonlar yaratarak abrasif aşınmanın olmasına neden olur.

Abrasif aşınmayı önlemek için alınacak tedbirleri özetlemek gerekirse:

- Metal yüzeylerinin sertleştirilmesi,
- Makinelerin ve sistemlerin özellikle yüzeyler arasında bulunan yağ gibi maddelerin toz, pislik gibi maddelerden temizlenmesi
- Dışarıdan gelebilecek pislik ve talaşları önlemek için yüzeyler arasında iyi bir sızdırmazlık sağlanması söylenebilir.



Şekil 6. Abrasif Aşınma

#### 1.4.3.3. Yorulma Aşınması

Genellikle mekanik etkiler ile ısı etkilerinin birleşmesi durumunda görülen yorulma aşınması, sıcaklık değişimleri ve kayma hareketinin sıklıkla durup başlamasıyla meydana gelir. Kayma hareketinin süresiz olmasından dolayı kayma yüzeylerine binen yükteki değişim, yüzeyde kırılma ve çatlakların oluşmasına neden olur. Yorulma büyük bir çatlakın oluşmasının tetikleyebilir ve kayma yüzeylerinde kırılma, kopmalara neden olabilir. Kayma yüzeylerinin ortamdaki hava ve oksijenle reaksiyona girmesi sonucunda aşınmayı azaltan oksitler oluşabilir. Bunun yanında, özellikle kimyasal maddeler içeren ortamlarda sert ve ince bir oksit tabakası oluşabilir. Kayma esnasında uygulanan yükte meydana gelen dalgalanma bu sert tabakanın kırılarak ara yüzeye girmesine neden olur. Araya giren bu sert oksit parçacıkları, metal yüzeylerinin abrasif aşınmasına neden olur [52].

#### 1.4.3.3. Korozyon Aşınma

Malzemelerin yüzeyleri ile çalışma ortamı arasındaki etkileşim sonucu meydana gelen aşınma türüdür. Korozyon aşınmada, çalışma ortamındaki su, nem, hava veya yağlayıcı gibi kimyasallar malzeme yüzeyinde korozyon ürünleri oluşturur. Korozyon ürünlerinin ara yüzeyde bulunması ve uzaklaştırılmaması sonucunda abrasif etkilere bağlı olarak aşınma

meydana gelir. Korozif aşınmayı önlemek için, malzeme yüzeylerinin korozif etki yapan su ve yağ gibi kimyasallardan uzak tutmak gerekir. Ayrıca yağlayıcı olarak oksidasyonu önleyen molibdden disülfid gibi yağlayıcılar kullanmak korozif aşınmayı önlemede etkilidir [53].

#### **1.4.3.4. Eroziyon Aşınma**

Eroziyon aşınma, bir sıvı içerisindeki aşındırıcı partiküllerin malzeme yüzeyinden yüksek hızlarla kayması veya taşınması sırasında, yüzeye çarpan partiküllerin meydana getirdiği aşınma türüdür [54]. Eroziyon aşınmada plastik deformasyon ve gevrek kırılma mekanizmaları etkindir. Eroziyon aşınma, aşındırıcı partiküllerin özelliğine, yüzeye çadev/dka esnasında darbelerin şiddetine, partikül miktarına ve partiküllerin çadev/dka açılara bağlıdır. Eroziyon aşınmada, malzeme yüzeyine çarpan partiküller her defasında küçük miktarlarda hasarlara ve aşınmalara neden olur. Özellikle yüksek sıcaklık ortamında meydana gelen eroziyon aşınmada malzemenin akma dayanımı azalmakta ve eroziyon aşınma miktarı artmaktadır.

#### **1.4.3.5. Kaviteleşme Aşınması**

Kaviteleşme aşınmasının diğer bir adı ise çukurcuk aşınmasıdır. Kaviteleşme aşınması; metal yüzeyinde kabarcıkların oluşması sonucu hızın ani etkisi altında kalan bölgede ortaya çıkan çökmelerin oluşmasıyla sonuçlanan aşınma şekli olarak açıklanabilir. Kaviteleşme aşınması genellikle gemilerin ve pompaların pervanelerinde, ayrıca kompresör silindirlere ve iç kısımlarında meydana gelen aşınma olarak göze çarpar [55].

### **1.5. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı**

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar üzerine yapılan çalışmalar, bu alaşımların geleneksel yatak malzemelerine kıyasla birçok üstün özelliklere sahip olduklarını göstermiştir. Bu özelliklerin başında ZA alaşımlarının aşınma dirençlerinin ve özgül mukavemet değerlerinin yüksek olması, üretim maliyetlerinin düşük olması ve ısıl işlemlere elverişli olmaları gelmektedir. ZA alaşımlarından üretilen yataklar, kablolu kranklarda, iş makinalarında ve hidrolik sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ataç ve arkadaşları [56], farklı alüminyum oranlarına sahip çinko-alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları üzerine yaptıkları çalışmada, en az aşınma miktarının ZA27 alaşımında en yüksek aşınmanın ise ZA8 alaşımında

meydana geldiğini göstermişlerdir. Yani artan alüminyum miktarı ile birlikte aşınma direncinin arttığını ortaya koymuşlardır aynı zamanda artan alüminyum miktarı ile birlikte yoğunluğun azaldığı da bu çalışmada ortaya konulan sonuçlardan bir tanesidir.

S.C. Sharma ve arkadaşları [57], ağırlıkça %2 SiC partikül takviyeli ZA27 matrisli kompozit malzemeleri üreterek ve yağsız aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada ayrıca takviye malzemesi olan SiC' ün aşınmaya olan etkisi araştırılmıştır. SiC takviyeli ve takviyesiz ZA27 alaşımına değişken yüklerde ve devir sayılarında yapılan deneyler sonucunda, SiC takviyeli kompozitlerde meydana gelen aşınma kayıplarının takviyesiz malzemelere göre daha düşük olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca yapılan mikroskopik inceleme sonucuna göre, yapıya katılan SiC takviyelerinin malzemenin aşınma oranını düşürdüğünü göstermişlerdir, bunun nedeni olarak da artan takviye miktarı ile birlikte yüzey sertliğinin artmış olmasını belirtmişlerdir.

Pandey ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bronz alaşımlarının aşınma davranışına, yükün ve kayma hızının etkilerini incelemişler ve bu çalışmanın sonucunda düşük kayma hızı ve yüksek yüklerde daha fazla aşınmanın olduğunu ortaya koymuşlardır. Kayma hızının artmasıyla birlikte meydana gelen ısı artışının mikro çatlak oluşumunu azalttığı ve bundan dolayı daha az aşınmanın meydana geldiğini belirtmişlerdir [58].

Ünlü ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, CuSn10 yatak malzemelerinin kuru ve yağlı aşınma davranışları üzerine yükün ve kayma hızının etkilerini inceleyen bir çalışma yapmışlardır [59]. Bu çalışmada yağlı aşınma deneylerinde elde edilen sürtünme katsayılarının, kuru ortamda yapılanlardan yaklaşık olarak on kat daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Yine bu çalışmada yağlı ortamda meydana gelen aşınma miktarının kuru aşınmada meydana gelen aşınmadan elli kat daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

Yapılan literatür araştırmalarında, ZA27 ve CuSn10 alaşımlarının yağlı ortamda abrasif aşınma davranışlarını inceleyen pek fazla çalışmanın olmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada ZA27 ve CuSn10 alaşımlarının yağlı ortamda abrasif aşınma davranışları ve aşınma davranışına etki eden yük, kayma hızı, kayma süresi ve abrasif partikül boyutunun etkileri incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, piyasadadan alınan ZA27 ve Bronz alaşımlarının farklı çalışma şartlarında abrazif aşınma özellikleri incelenmiştir ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. ZA27 alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 4’de görülmektedir.

Tablo 4. ZA27 Alaşımının ağırlıkça % kimyasal bileşimi

Alaşım	Zn	Al	Cu	Mg
ZA27	70,8	27,2	2,01	0,02

Bronz alaşımının kimyasal bileşimi ise Tablo 5’de görülmektedir.

Tablo 5. CuSn10 alaşımının kimyasal bileşimi

Alaşım	Cu	Sn
CuSn10	90	10

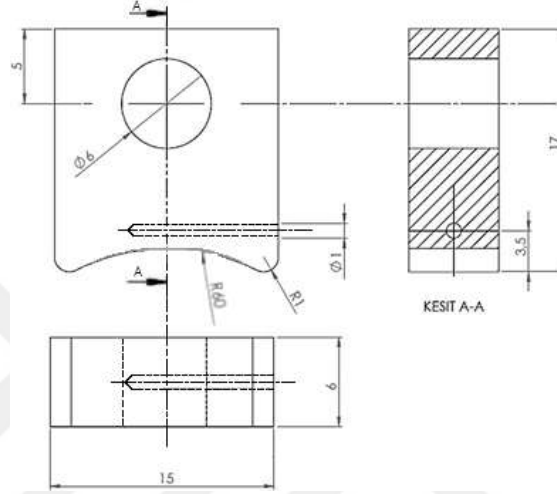
Deneyde kullanılan abraziv SiO<sub>2</sub> tozları ise titreşimli elekte elenerek dört farklı ortalama partikül büyüklüğüne sahip SiO<sub>2</sub> tozu elde edilmiştir. Elenen tozlar -25, +25-63, +63-125 ve +125 mesh aralığında dört farklı grupta tasnif edilmiştir. Bu tozların sahip olduğu ortalama partikül büyüklüğü, Malvern Instruments marka Master Sizer 2000e model partikül boyut ölçüm cihazıyla ölçülmüştür.



Şekil 7. (a) Titreşimli Elek , (b) Partikül Boyut Ölçüm Cihazı

## 2.2. Numunelerin Hazırlanması

Piyasadan alınan yukarıdaki kimyasal bileşimlere sahip numuneler talaşlı işlemden geçirilerek, deney düzeneğimizde kullanmaya uygun Şekil 8’de görülen ölçülere getirilmiştir.



Şekil 8. Aşınma testlerinde kullanılan numunelerin şekli

Numunelerin hazırlanması esnasında, her bir numune yüzeyinde çeşitli miktarlarda çizikler ve çapaklar meydana gelmiştir. Bu nedenle deney şartlarında bir farklılık olmaması açısından her bir numune yüzeyi sırasıyla 600, 800, 1000 ve 1500 meshlik zımpara işlemine tabi tutulmuştur. Zımparalama işlemleri, aşındırılacak numune yüzeylerinin pürüzlülük değerleri arasında önemli bir fark kalmayınca kadar devam ettirilmiştir. Dolayısıyla zımparalama işlemleri sonrasında her bir numuneden yüzey pürüzlülüğü değerleri alınmış ve bu değerlerin birbirine olabildiğince yakın olması sağlanmıştır.



Şekil 9. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı (Mahr MarSurf PS1)





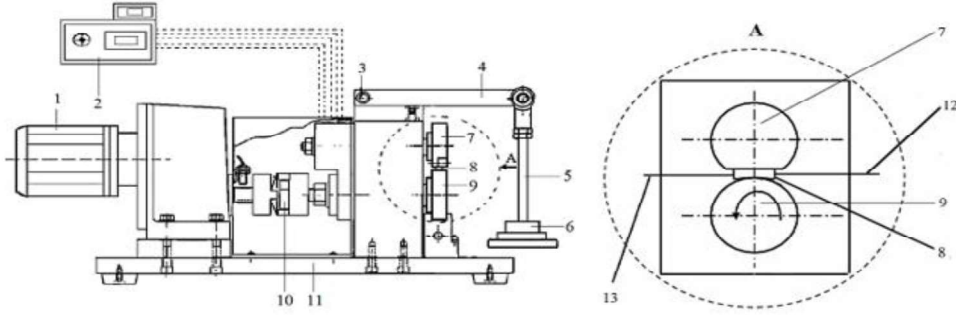
Şekil 10. Aşınma Deneyinde Kullanılan Numunelerin Görünüşü

### 2.3. Aşınma Test Düzenegi

Deneylerde Plint & Partners marka, blok/disk esaslı aşınma deney cihazı kullanılmış olup bu sisteme abrazif süspansiyon besleme sistemi eklenmiştir. Aşındırıcı olarak 18, 42, 87 ve 167 $\mu$ m ortalama tane boyutlarına sahip yağla karıştırılmış SiO<sub>2</sub> parçacıkları kullanılmıştır. Deney düzeneginde karşı yüzey (disk) malzemesi olarak sertleştirilmiş ve menevişlenmiş 4140 çeliği kullanıldı. Diskin yüzey sertliği 60RSD-C, çapı 60mm ve kalınlığı 12mm'dir. Deney düzenegi; 3kW gücünde bir elektrik motoru, bir hız kontrol ünitesi, mil, disk, numune tutucusu, yükleme kolu, yağ + aşındırıcı süspansiyonu karışımı besleme sistemi ve sürtünme kuvveti ölçüm sisteminden oluşmuştur. Her iki numune türü için (ZA27, CuSn10), farklı çalışma şartlarındaki aşınma davranışını incelemek amacıyla deney şartları değişken olarak tutulmuştur. Bu değişkenler yük, disk devri, SiO<sub>2</sub> partikül boyutu ve aşınma deney sürelerinden oluşmaktadır. Şekil 11 ve 12'de aşınma deney cihazımızın fotoğrafı ve şematik resmi görülmektedir.



Şekil 11: Aşınma Deney Cihazı

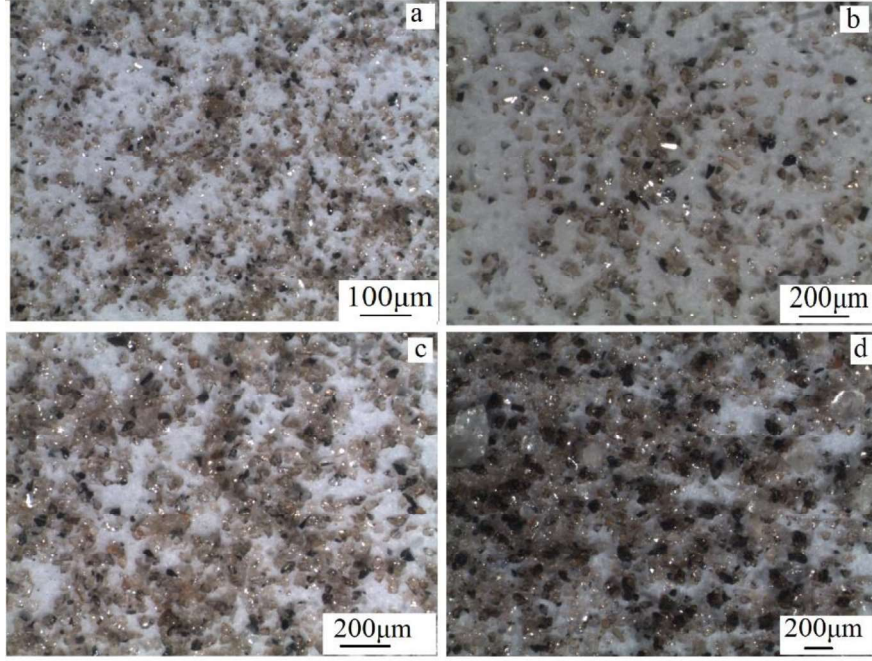


1. Elektrik motoru, 2. Kontrol ve veri toplayıcı, 3. Perno, 4. Yükleme kolu, 5. Askı kolu, 6. Ağırlık, 7. Numune tutucu, 8. Deney numunesi, 9. Disk, 10. Kavrama, 11. Alt tabla, 12. Termokupul 13. Kuvvet algılayıcı

Şekil 12. Aşınma Cihazının Şematik Görünüşü

#### 2.4. Aşınma Deneylerinin Yapılışı

SiO<sub>2</sub> tozları, ağırlıkça %10 oranında yağ ile karıştırılarak deney esnasında, 60cm<sup>3</sup>/dk besleme hızında el ile besleme yapılarak aşındırıcı yüzeye uygulanmıştır. Deneylerimizde yukarıda da belirtildiği üzere dört farklı değişken vardır. Her bir değişkenin etkilerinin ayrı ayrı incelenmesi açısından, bu değişkenlerden üç tanesi sabit tutularak bir tanesi değiştirilmiştir böylece her bir parametrenin etkisi incelenmiştir. Deney sırasında, abrazif toz boyutunun sabit olduğu durumlarda 87 µm'lik toz boyutu, deney süresinin sabit olduğu durumlarda 6dk'lık deney süresi, disk devrinin sabit olduğu durumlarda 100 devir/dk disk devri ve son olarak da yükün (Fn) sabit olduğu durumlarda 60N'luk yük sabit tutulmuştur. Şekil 13'de dört farklı ortalama partikül boyutuna sahip aşındırıcı SiO<sub>2</sub> tozları ve Tablo 6'da da deney parametreleri ve çalışma şartları görülmektedir.



Şekil 13. (a) 18  $\mu\text{m}$ , (b) 42  $\mu\text{m}$ , (c) 87  $\mu\text{m}$ , (d) 167  $\mu\text{m}$  ortalama partikül boyutlarına sahip  $\text{SiO}_2$  tozları

Tablo 6. Deney parametreleri ve değişkenler

Değişken	Yük (N)	Devir(devir/dk)	Partikül Boyutu ( $d_{50}$ )	Süre (dk)
Süre (dk)	60N	100	87 $\mu\text{m}$	<b>3dk</b>
	60N	100	87 $\mu\text{m}$	<b>6dk</b>
	60N	100	87 $\mu\text{m}$	<b>9dk</b>
	60N	100	87 $\mu\text{m}$	<b>12dk</b>
Devir(devir/dk)	60N	<b>100</b>	87 $\mu\text{m}$	6
	60N	<b>200</b>	87 $\mu\text{m}$	6
	60N	<b>300</b>	87 $\mu\text{m}$	6
	60N	<b>400</b>	87 $\mu\text{m}$	6
Yük (Fn-N)	<b>30N</b>	100	87 $\mu\text{m}$	6dk
	<b>60N</b>	100	87 $\mu\text{m}$	6dk
	<b>90N</b>	100	87 $\mu\text{m}$	6dk
	<b>120N</b>	100	87 $\mu\text{m}$	6dk
$\text{SiO}_2$ Partikül Boyutu ( $d_{50}$ )	60N	100	<b>167 <math>\mu\text{m}</math></b>	6dk
	60N	100	<b>87 <math>\mu\text{m}</math></b>	6dk
	60N	100	<b>42 <math>\mu\text{m}</math></b>	6dk
	60N	100	<b>18 <math>\mu\text{m}</math></b>	6dk

## 2.5. Deney Verilerinin Toplanması

### 2.5.1. Ağırlık Kayıplarının Hesaplanması

Deneye başlanmadan önce, numuneler aseton ile yıkanılıp yüzeyleri temizlenmiş ve kurutulmuşlardır. Bu numuneler deneyden hemen önce hassas terazide tartılarak ağırlıkları not edilmiştir. Deney sonrasında ise, numuneler tekrar yıkanıp yüzeylerindeki yağ kalıntıları giderildikten sonra tekrar tartılmışlardır. Bu iki ölçüm arasındaki fark bize numunede meydana gelen aşınma miktarını ağırlık(miligram) cinsinden vermektedir.



Şekil 14. Hassas terazi

### 2.5.2. Sürtünme Katsayılarının Elde Edilmesi

Kullanmış olduğumuz Plint & Partners marka aşınma cihazı, deney süreleri boyunca üzerinde bulunan yük hücresi yardımıyla, anlık olarak sürtünme kuvvetini algılamakta ve bu değerleri bilgisayara kaydetmektedir. Esasen sürtünme kuvvetleri de bizim için önemli verilerdir, ancak deneyler esnasında normal yük ( $F_n$ ) değerimizi de değişken olarak belirlediğimiz için doğrudan sürtünme kuvvetleri üzerinden incelemeler yapmak doğru olmayacaktır. Bu nedenle, aşağıdaki bağıntı kullanılarak cihazdan elde edilen sürtünme kuvvetleri ( $F_s$ ), sürtünme katsayılarına ( $\mu_s$ ) dönüştürülmüştür.

$$F_s = F_n \cdot \mu_s \quad (1)$$

Burada  $F_s$ ,  $F_n$  ve  $\mu_s$ , sırasıyla sürtünme kuvvetini, uygulanan yükü ve sürtünme katsayılarını ifade etmektedir.

### 2.5.3. Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi

Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin, aşınma mekanizmalarını incelemek ve yüzeyde meydana gelen deformasyonları görüntülemek için bütün numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelenmiştir.

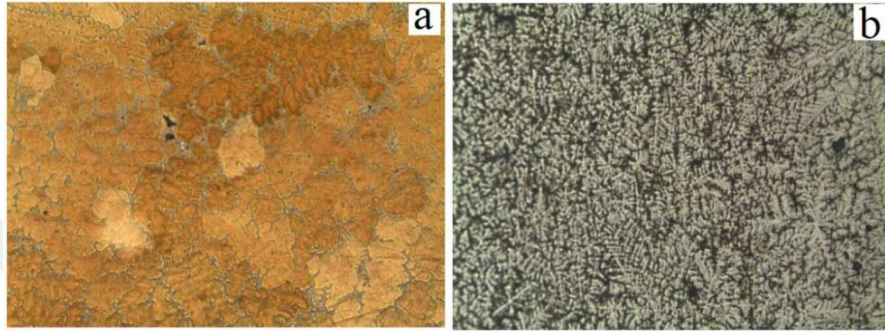


Şekil 15. Taramalı Elektron Mikroskobu

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

#### 3.1. Alaşımların Mikroyapıları ve Sertlik Değerleri

CuSn10 ve ZA27 alaşımlarının mikroyapı incelemeleri numuneler %5 Nital dağlama ayracında dağlandıktan sonra, metal mikroskobunda yapılmış olup içyapı görüntüleri Şekil 16'da görülmektedir.



Şekil 16. Alaşımların içyapı görüntüleri (a)CuSn10, (b)ZA27

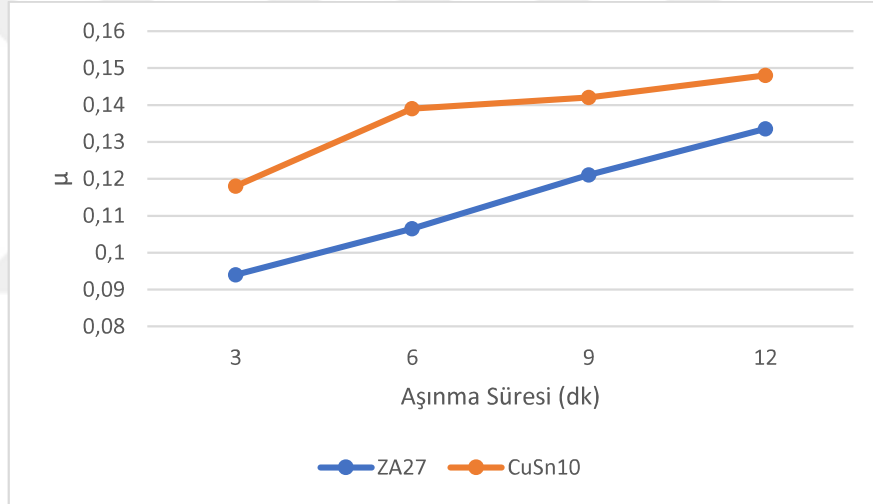
Malzemelerin aşınma davranışını belirleyen karakteristik özelliklerin başında sertlik gelmektedir. Bu nedenle hazırlamış olduğumuz numunelerin başlangıç sertlik değerleri, elde edeceğimiz sonuçları yorumlamak için oldukça önemlidir. Her iki alaşımın da deney öncesinde Brinell sertlik değerleri 2.5mm'lik küresel batıcı uç ve 32.5kg yük uygulanarak (HB32.5) alınmıştır. Sertlik değerleri her bir alaşım için 5 farklı numunedan alınarak, ortalama değer başlangıç sertlik değerimiz olarak kaydedilmiştir. CuSn10 alaşımı için bu değer 121, ZA27 alaşımı için ise 130 olarak ölçülmüştür. Her iki malzemede sünek karakteristikte olduğu için, aşınma davranışları incelenirken başlangıçta kaydettiğimiz bu sertlik değerleri alaşımların birbirleriyle kıyaslanmasında açıklayıcı olacaktır.

#### 3.2. Zamana Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

##### 3.2.1. Zamana Bağlı Sürtünme Katsayılarının İncelenmesi

ZA27 ve CuSn10 alaşımları Tablo 6'da verildiği üzere, diğer değişkenler sabit tutularak 3, 6, 9 ve 12dk sürelerinde aşınma testine tabi tutulmuşlardır. Şekil 17 incelendiğinde artan aşınma süresince sürtünme katsayılarında artış gözlenmiştir. Her iki alaşım içinde, en düşük

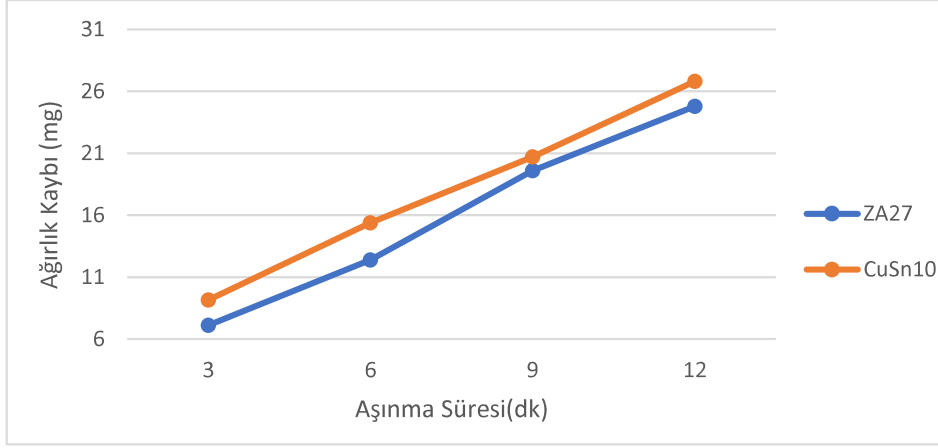
sürtünme katsayısı değerleri 3dk'lık aşınma deneylerinde elde edilirken, en yüksek sürtünme katsayıları 12dk'lık test süresinde meydana gelmiştir. Sürtünme katsayısında meydana gelen bu artışın en temel sebebi abrazif partiküllerin alaşım yüzeyine tutunmasıdır. SiO<sub>2</sub> partikülleri deneye başlandığı andan itibaren, alaşım yüzeylerine gömülmeye başlamıştır. Bu abrazif partiküllerin yüzeylerde tutunmasıyla hem yüzey pürüzlülüğümüz göreceli olarak artmış hem de yüzeyde biriken SiO<sub>2</sub> partikülleri aşınmaya karşı bir nevi yeni bir yüzey meydana getirmişlerdir. Ayrıca yüzeyde biriken bu partiküller, deney numunelerimizin karşı yüzeyle temasını azaltarak kendileri aşındırılan yüzey gibi davranmışlardır. Bunun neticesinde artan aşınma deneyleri süresince sürtünme katsayılarında artış görülmüştür. Ayrıca, ZA27 ve CuSn10 alaşımlarını birbirleriyle kıyaslayınca, ZA27 alaşımının daha düşük sürtünme katsayılarına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 17. Zamana bağlı sürtünme katsayıları grafiği

### 3.2.2. Zamana Bağlı Aşınma Kayıplarının İncelenmesi

Şekil 18'de görüldüğü üzere artan aşınma deney süresiyle birlikte her iki alaşım türü içinde aşınma kayıpları artmıştır. Bu durum abrazif aşınmaya maruz kalan yüzeylerde beklenen bir sonuçtur. Artan aşınma süresiyle birlikte, numune yüzeylerimiz aşındırıcı partiküllerle daha çok temas etmekte yani daha çok kesilme, çizilme ve deformasyona maruz kalmaktadır. Şekil 18 incelendiği zaman, en az aşınma miktarının her iki alaşım grubu içinde 3dk'lık aşınma testleri süresinde meydana geldiği, en fazla aşınma miktarının da 12dk'lık aşınma süresinde meydana geldiği görülmektedir. Sürtünme katsayıları incelemesinde olduğu gibi, ZA27 alaşımının aşınma kaybının CuSn10 alaşımına göre daha az olduğu görülmektedir.



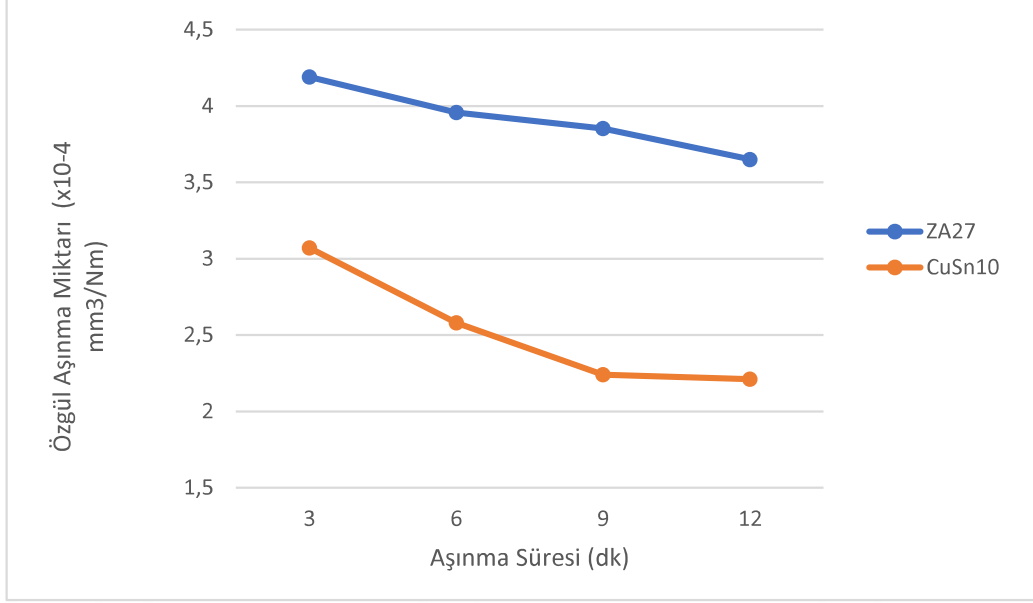
Şekil 18. Zamana bağlı ağırlık kaybı grafikleri

Yukarıdaki şekilde, ZA27 ve CuSn10 alaşımlarının aşınma kayıplarının birbirleriyle kıyaslanması görülmektedir. Ancak sadece ağırlık kaybına bağlı olarak yapılan inceleme bizleri yanıltabilir. Çünkü bu iki alaşımın özgül ağırlıkları arasında önemli bir fark vardır. Bu nedenle bu iki alaşımın aşınma direnci veya aşınma miktarları hakkında yorum yapabilmek için, bu alaşımların özgül aşınma miktarlarını da incelemek gerekir. Özgül aşınma miktarı, malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine uygulanan yük dikkate alınarak, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen ağırlık kaybını ifade etmektedir. Özgül ağırlık kaybı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir

$$W_s = \Delta m / d F_n S \quad (2)$$

Burada;  $W_s$ : Özgül aşınma miktarı ( $\text{mm}^3 / \text{Nm}$ ),  $\Delta m$ : Ağırlık kaybı (mgr),  $d$ : yoğunluk ( $\text{mgr}/\text{mm}^3$ ),  $F_n$ : Uygulanan normal kuvvet (N) ve  $S$ : Aşınma mesafesi (m)'ni ifade etmektedir.



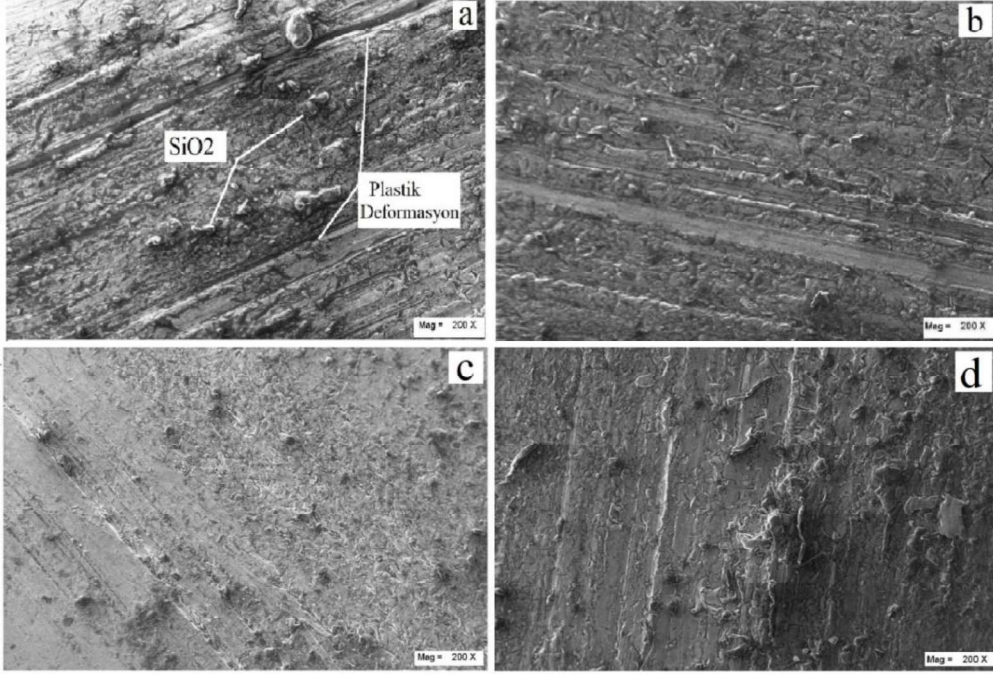


Şekil 19. Zamana bağlı özgül aşınma grafikleri

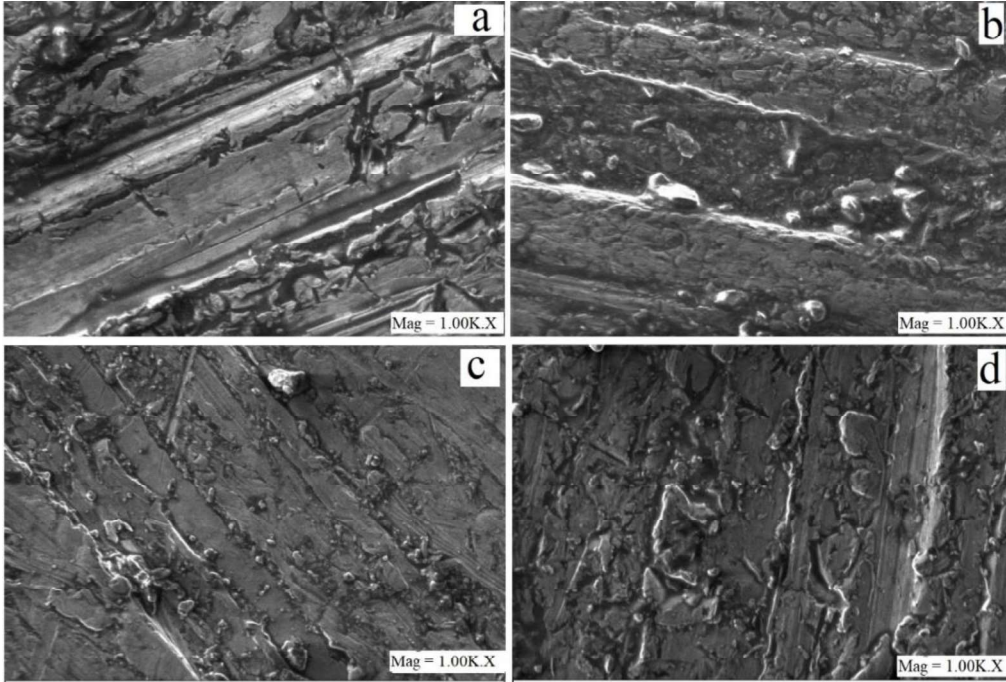
Şekil 19’da görüldüğü üzere, artan aşınma süresince her iki alaşımında özgül aşınma miktarları azalmıştır. Ayrıca, ZA27 ve CuSn10 alaşımları birbirleriyle kıyaslandığında, ağırlık kaybı incelemesine zıt olarak, CuSn10 alaşımının özgül aşınma miktarının daha az olduğu görülmektedir. Bu durum, CuSn10 alaşımının birim yük ve birim sürede hacimsel olarak daha az aşınmaya uğradığını ve aşınma direncinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak CuSn10 alaşımının yoğunluğunun ( $8.78\text{g/cm}^3$ ), ZA27 alaşımının yoğunluğundan ( $5\text{g/cm}^3$ ) fazla olması nedeniyle ağırlık kaybının daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca artan aşınma süresiyle birlikte, özgül aşınma miktarlarında azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni, artan deney süresiyle birlikte yüzey sertliğinin deformasyona bağlı olarak artmasıyla açıklanabilir. Yani devam eden test süresince yüzeylerde meydana gelen plastik deformasyon, numunelerimizin yüzey sertliğinin artmasına ve dolayısıyla aşınma direncinin artmasına neden olmuştur. Bir diğer sebep olarak da, daha önce de belirtildiği üzere deneylerin başlangıcından itibaren  $\text{SiO}_2$  partikülleri alaşımların yüzeylerine tutunarak hem yüzeyin sertliğini arttırmakta hem de numunelerimizle karşı yüzeyin doğrudan temasını azaltmaktadır. Netice olarak artan aşınma deneyi süresince özgül aşınma miktarlarında azalma görülmüştür.

### 3.2.3. Zamana Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi

#### 3.2.3.1. ZA27 Alaşımının Zamana Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi

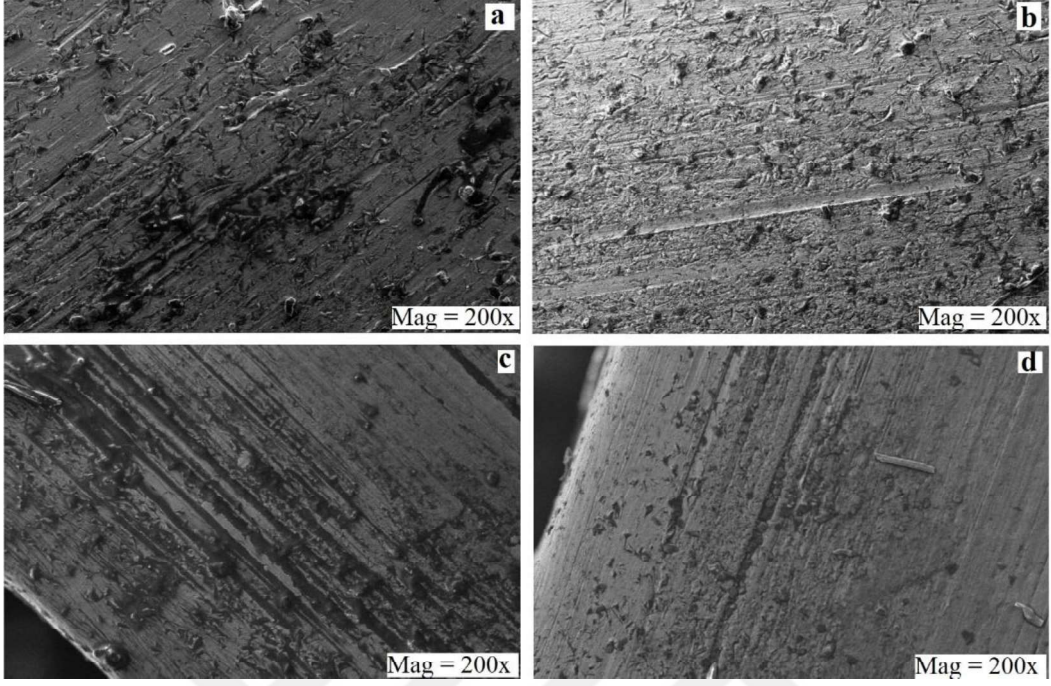


Şekil 20. ZA27 numunelerinin 200X büyütmedeki görüntüleri (a) 3, (b) 6 , (c) 9, (d)12 dk aşındırılmış numuneler

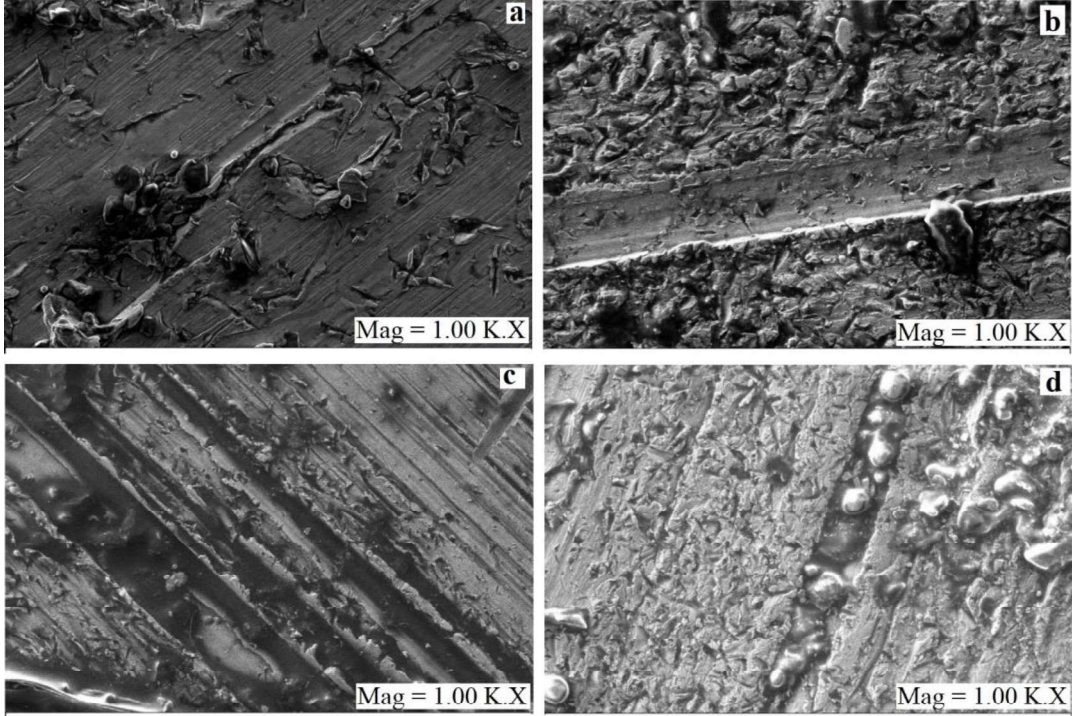


Şekil 21. ZA27 numunelerinin 1000X büyütmedeki görüntüleri (a) 3, (b) 6, (c) 9, (d)12 dk aşındırılmış numuneler

### 3.2.3.1. CuSn10 Alaşımının Zamana Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi



Şekil 22. CuSn10 numunelerinin 200X büyütmedeki görüntüleri (a) 3, (b) 6, (c) 9, (d)12 dk aşındırılmış numuneler



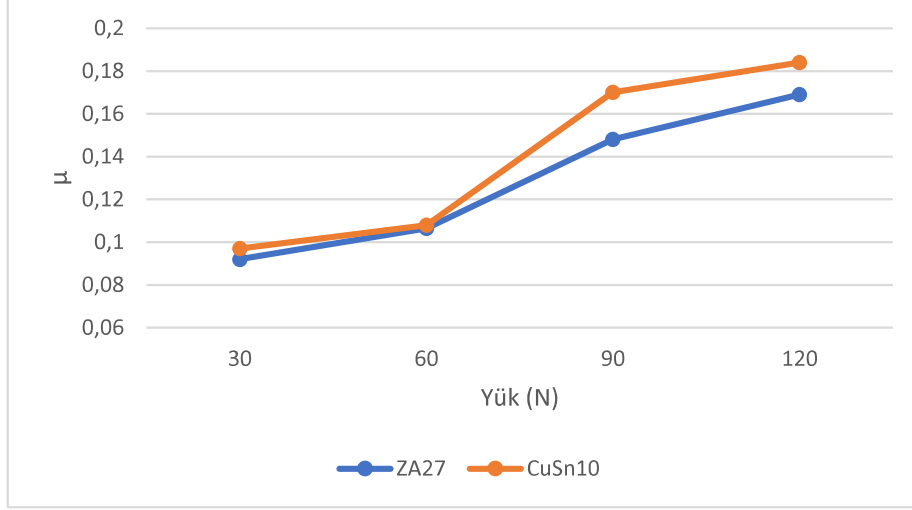
Şekil 23. CuSn10 numunelerinin 1000X büyütmedeki görüntüleri (a) 3, (b) 6, (c) 9, (d)12 dk aşındırılmış numuneler

Şekil 20-23 incelendiğinde, bütün numunelerde 3 dakikalık aşınma testinden itibaren plastik deformasyonların meydana geldiği görülmektedir. Numune yüzeylerinde ve numunelere gömülü halde bulunan SiO<sub>2</sub> partiküllerinde SEM incelemelerinde net şekilde görülmektedir. Abrasif aşınma mekanizmasında olması beklenen kesme izleri, bütün numunelerde mevcuttur, özellikle yüksek büyütmelerde yapılan incelemelerde (Şekil 21 ve 23), aşınma mekanizması daha belirgin haldedir. Aşınma yüzey fotoğrafları incelendiğinde SiO<sub>2</sub> partiküllerinin deney süresince numuneleri kesme ve yırtma şeklinde plastik deformasyona uğrattığı görülmektedir. Ayrıca artan aşınma süresiyle birlikte, yüzeylerde meydana gelen deformasyonun arttığı ve yüzeyde biriken SiO<sub>2</sub> partiküllerinin daha fazla olduğu da görülmektedir. SiO<sub>2</sub> partiküllerinin yüzeyde artışı, uygulanan normal yük ile birlikte SiO<sub>2</sub> partiküllerinin yüzeye gömülmesi ve bu olayın sürekli tekrar etmesiyle meydana gelmiştir. Yüzeyde sürekli olarak artan SiO<sub>2</sub> miktarı, plastik deformasyonun giderek artmasına dolayısıyla aşınma miktarının artmasına neden olmuştur.

### **3.2. Yüke (Fn) Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi**

#### **3.2.1. Yüke (Fn) Bağlı Sürtünme Katsayılarının İncelenmesi**

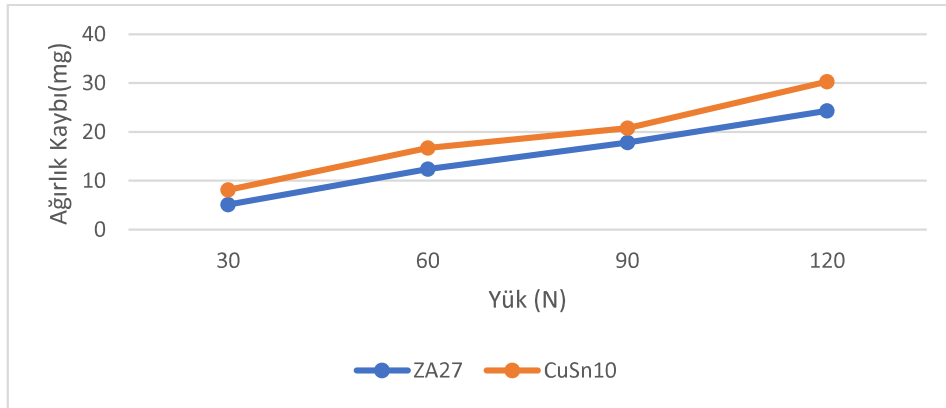
ZA27 ve CuSn10 alaşımları, diğer değişkenler sabit tutularak 30, 60, 90 ve 120N normal yük uygulanarak aşınma testine tabi tutulmuşlardır. Şekil 18 incelendiğinde uygulanan yük arttıkça sürtünme katsayılarında artış gözlenmiştir. Her iki alaşım içinde, en düşük sürtünme katsayısı değerleri 30N'luk aşınma deneylerinde elde edilirken, en yüksek sürtünme katsayıları 120 N'luk yüklerde meydana gelmiştir. Artan yük ile birlikte meydana gelen bu artışın temel sebebi uygulanan yükün fazla olmasından dolayı yüzeydeki SiO<sub>2</sub> partiküllerinin alaşımların yüzeyine gömülmesidir. Yani artan yük SiO<sub>2</sub> partiküllerini yüzeye bastırarak yumuşak alaşımlar olan ZA27 ve CuSn10 yüzeylerine batmasına ve yüzeylere tutunmasına neden olmuştur. Yüzeylerde gömülen bu partiküller yüzey pürüzlülüğünün artmasına ve yüzey sertliğinin artmasına neden olmuştur. Bunun neticesinde her iki alaşım için de artan yük ile birlikte sürtünme katsayısı artmıştır.



Şekil 24. Yüke bağlı sürtünme katsayıları grafiği

### 3.2.2. Yüke (Fn) Bağlı Aşınma Kayıplarının İncelenmesi

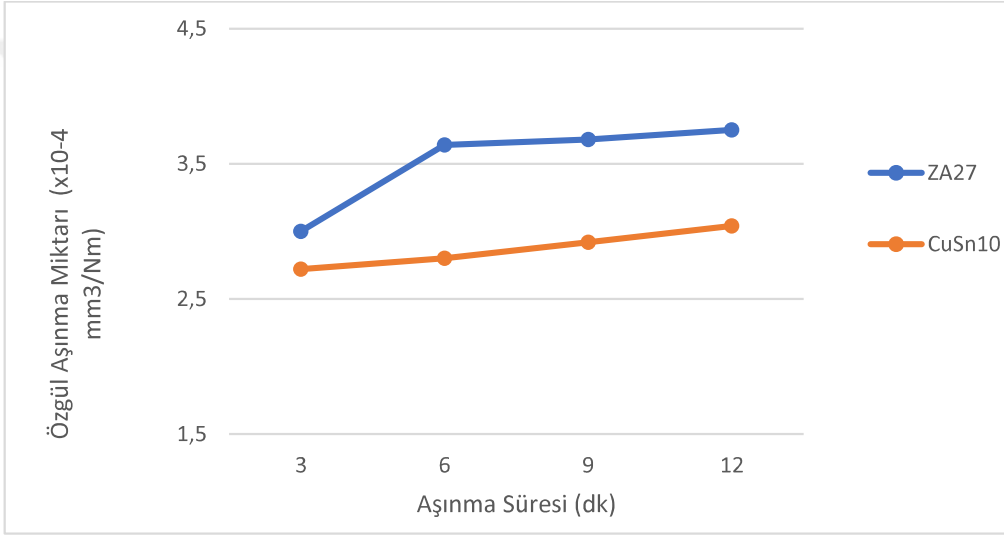
Şekil 25’de görüldüğü üzere artan yük ile birlikte her iki alaşım türü içinde aşınma kayıpları artmıştır. Artan yük ile birlikte sürtünme katsayılarının arttığı yukarıda belirtilmişti. Sürtünme katsayısının artması doğrudan ağırlık kaybını ve aşınma miktarını etkileyen bir durumdur. Uygulanan normal yükün artmasıyla birlikte ara yüzeyde tutunan SiO<sub>2</sub> partiküllerinin yüzeyden uzaklaşması zorlaşmıştır. SiO<sub>2</sub> partikülleri ara yüzeyde tutunarak kayma işlemine karşı bir direnç oluşturmuş bunun neticesinde hem sürtünme katsayılarının artmasına hem de aşınma kayıplarının artmasına neden olmuştur.



Şekil 25. Yüke bağlı ağırlık kayıpları grafiği

Uygulanan yüke bağlı olarak özgül aşınma miktarları incelendiğinde ise, artan yük miktarı ile birlikte özgül aşınma miktarlarının arttığı görülmektedir. Şekil 26 incelendiğinde en

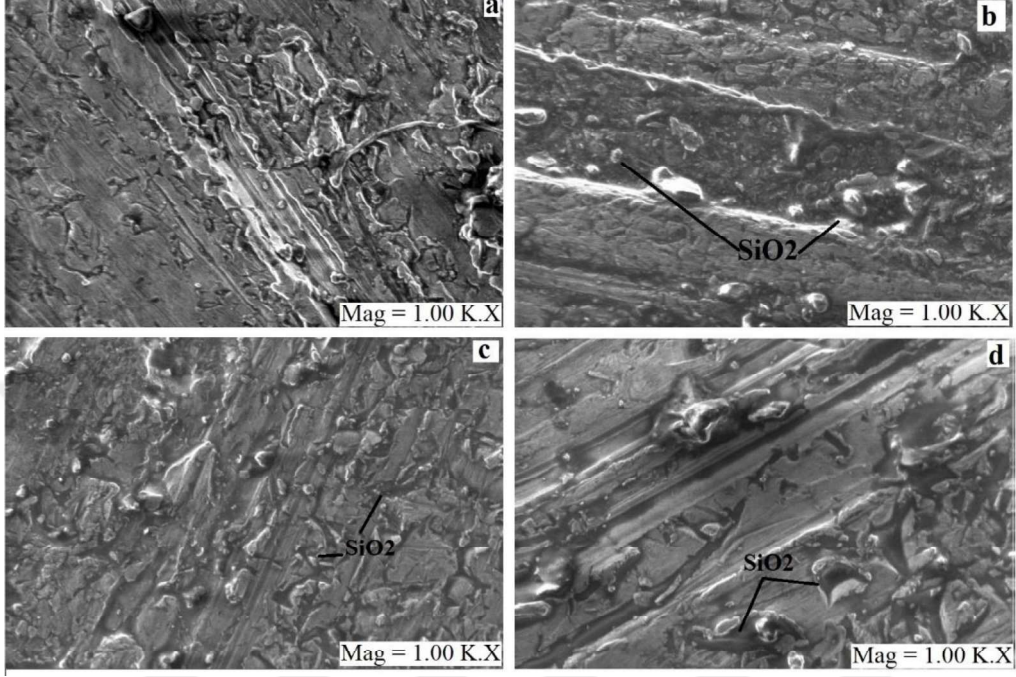
fazla özgül aşınma miktarının 120N normal yük uygulanan ZA27 alaşımında meydana geldiği görülmektedir. Farklı yüklerde meydana gelen ağırlık kayıpları ile, özgül aşınma miktarları incelendiğinde birbirine göre tezatlık olduğu görülmektedir. Ağırlık kayıpları olarak incelendiğinde CuSn10 alaşımının daha fazla ağırlık kaybına uğradığı görülmektedir ancak özgül aşınma miktarı olarak incelendiğinde ise CuSn10 alaşımının bütün yüklerde özgül aşınma miktarının daha az olduğu görülmektedir. Burada doğrudan bir ağırlık kaybını dikkate almaktansa özgül ağırlık kaybı şeklinde inceleme yapmak daha doğru olacaktır. Özgül ağırlık kaybına bağlı olarak yapılan incelemelerde CuSn10 alaşımının aşınmaya karşı daha dirençli olduğu görülmektedir.



Şekil 26. Yüke bağlı özgül aşınma miktarı

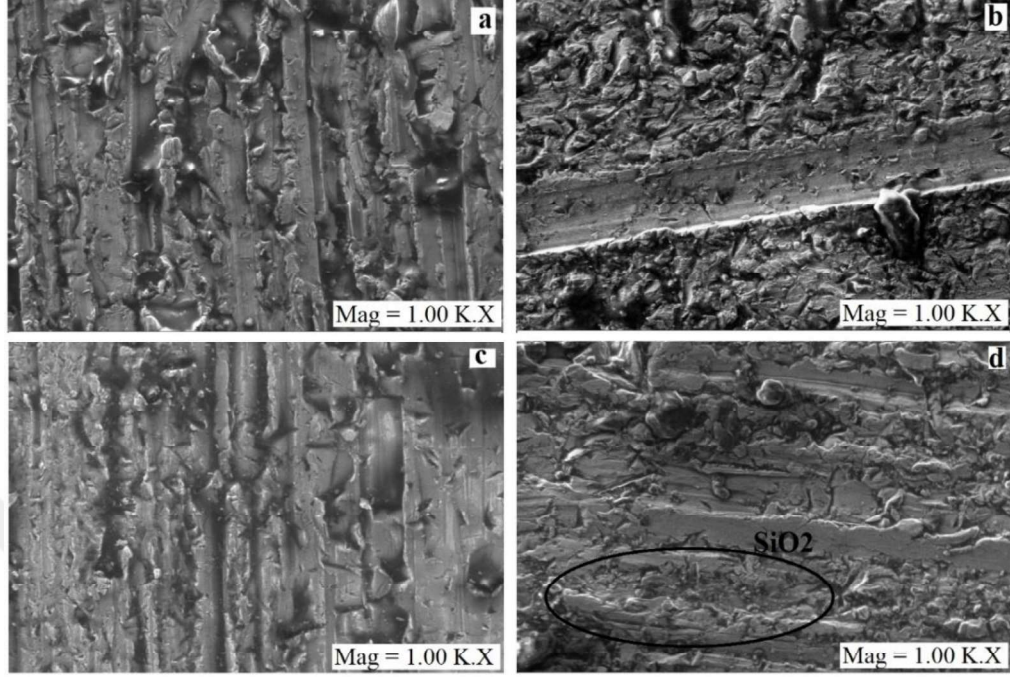
### 3.2.3. Yüke (Fn) Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi

#### 3.2.3.1. ZA27 Alaşımının Yüke (Fn) Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi



Şekil 27. ZA27 numunelerinin farklı yüklerde aşınma yüzeyleri (a) 30N, (b) 60N, (c) 90N, (d)120N

### 3.2.3.2. CuSn10 Alaşımının Yüke (Fn) Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi



Şekil 28. CuSn10 numunelerinin farklı yüklerde aşınma yüzeyleri (a) 30N, (b) 60N, (c) 90N, (d)120N

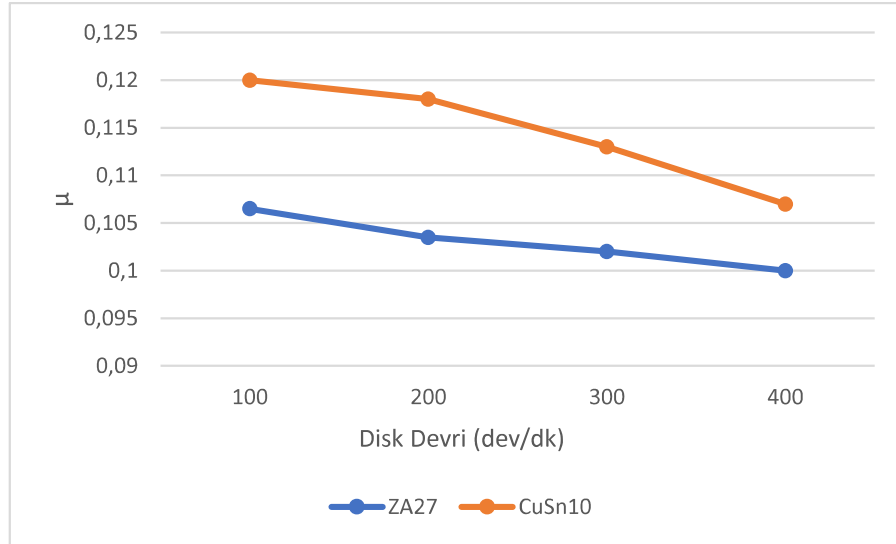
Yukarıdaki şekillerde (Şekil 27,28) görüldüğü üzere 30N normal yükten itibaren yüzeylerde yırtılma, kesilme ve çizilmeler şeklinde plastik deformasyonlar görülmektedir. Her iki alaşım içinde 30N yüklerde bu deformasyonların bölgesel olarak daha az olduğu, artan yük ile birlikte yüzeylerde daha fazla deformasyonun meydana geldiği görülmektedir (Şekil 27 d,28 d). Burada aşınma davranışını etkileyen en önemli faktör, SiO<sub>2</sub> partiküllerinin yüzeyde bulunma şeklidir. Detaylandırmak gerekirse, 30N yük uygulanan yüzeylerde SiO<sub>2</sub> partikülleri yüzeye tutunmuş vaziyettedir ancak artan yük ile birlikte özellikle 120N'luk yük uygulanan numunelerde (Şekil 27d, 28d) SiO<sub>2</sub> partiküllerinin kırılarak yüzeye gömüldüğü görülmektedir. Tekrar eden aşınma deneyi süresince yük altında ara yüzeyde ezilen/kırılan SiO<sub>2</sub> partikülleri plastik deformasyona uğrayan yüzeylere gömülmektedir. Yukarıda incelenen özgül aşınma miktarları ile, aşınma yüzeyleri birbirini doğrular niteliktedir. Özgül aşınma miktarlarının 30N'luk yükten 60N'luk yüke doğru daha hızlı arttığı ve 90N'luk yükten sonra artış miktarının azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni daha önce de bahsedildiği üzere numunelerimizin yüzeye gömülen SiO<sub>2</sub> partiküllerinden dolayı bir nevi kompozit malzeme gibi davranması ve yüzey sertliğinin giderek artmasıdır. Sonuç olarak artan yük ile birlikte karşılıklı yüzeylerin temasının artmasına ve yüzey pürüzlülüğünün artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısı artmış dolayısı ile de numunelerde meydana gelen ağırlık kaybı ve özgül aşınma miktarları artmıştır.



### 3.3. Devire Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

#### 3.3.1. Devire Bağlı Sürtünme Katsayılarının İncelenmesi

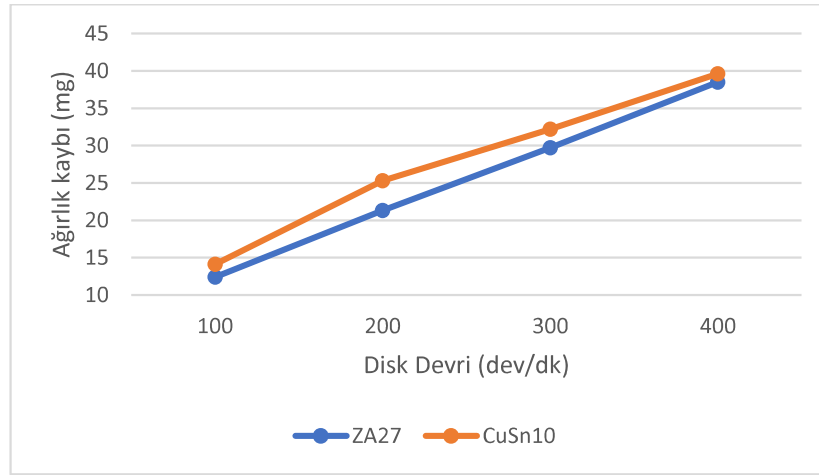
Aşındırıcı disk devrinin aşınma davranışına olan etkilerini incelemek amacıyla diğer değişkenler sabit tutularak disk devri 100, 200, 300 ve 400dev/dk dönme hızlarında değiştirilerek aşınma testleri yapıldı. Şekil 29 incelendiğinde disk devri arttıkça sürtünme katsayılarının azaldığı görülmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı her iki alaşım içinde 100dev/dk dönme hızlarında meydana gelirken, en düşük sürtünme katsayıları 400dev/dk dönme hızlarında meydana gelmiştir. Artan disk devri ile sürtünme kuvvetinde meydana gelen bu azalmanın sebebi, birim zamanda meydana gelen temasın azalmasıdır. Yani disk hızı arttıkça SiO<sub>2</sub> partiküllerinin ve karşı yüzeyin, aşınan malzeme yüzeyiyle birim zamanda gerçekleşen teması azalmaktadır. Böylece, sürtünme kuvvetinin oluşmasına neden olan direnç kuvveti daha az oluşmakta ve sürtünme katsayısı da azalmaktadır. Ayrıca artan disk devri ile birlikte SiO<sub>2</sub> partiküllerinin yüzeyden santrifüj etkisiyle daha hızlı uzaklaşması sağlanmaktadır. Sonuç olarak, artan disk devri ile birlikte yüzeyden göreceli olarak giderek azalan SiO<sub>2</sub> partikülleri sürtünme katsayısının daha az olmasına neden olmaktadır.



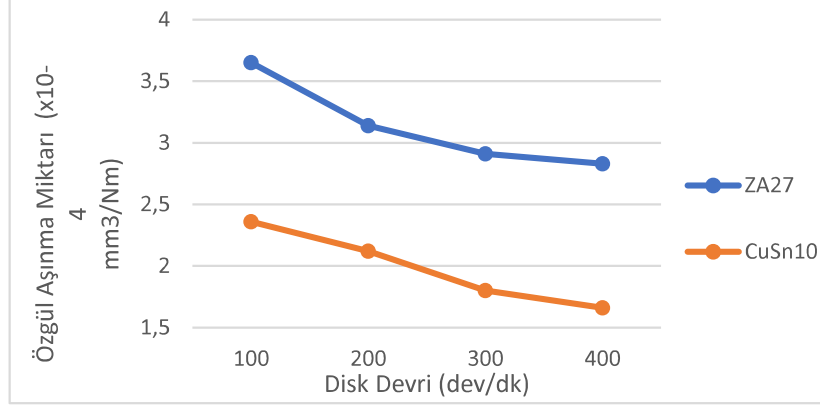
Şekil 29. Disk devrine göre sürtünme katsayıları

### 3.3.2. Aşındırıcı Disk Devrine Bağlı Aşınma Kayıplarının İncelenmesi

Aşındırıcı disk devri ile aşınma kayıplarının değişimini gösteren Şekil 30'da görüldüğü üzere (aşağıdaki) disk devri arttıkça her iki alaşım için de ağırlık kayıplarının arttığı görülmektedir. En az ağırlık kayıplarının 100dev/dk disk devrinde meydana geldiği ve en yüksek ağırlık kaybının 400dev/dk devirde meydana geldiği görülmüştür. Bu durum yukarıda incelenen sürtünme katsayısı grafiğiyle bağdaşmamaktadır. Sürtünme katsayıları grafiği incelendiğinde, 400dev/dk disk devrinde yapılan deneylerde sürtünme katsayılarının daha düşük olduğu görülmüştü ve bu sonuca göre ağırlık kaybının da düşük olması beklenir. Ancak biz disk devrinin aşınma davranışına olan etkisini incelerken, deney süremizi sabit tuttuk. Yapılan benzer çalışmalarda süre veya yol üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır. Biz deney süremizi sabit tuttuğumuz için 100dev/dk dönme hızında yapılan testlerde 113,04 metre kayma mesafesi varken, 400dev/dk dönme hızında yapılan testlerde 678,24 metrelik kayma mesafesi vardır. Dolayısıyla sürtünme katsayılarının düşük olmasına rağmen, alınan yolun daha fazla olmasından dolayı artan disk devri ile birlikte ağırlık kayıpları artmıştır. ZA27 alaşımı ile CuSn10 alaşımı kıyaslandığında ise CuSn10 alaşımının ağırlık kayıplarının bütün disk devirlerinde daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 30. Disk devrine göre ağırlık kayıpları

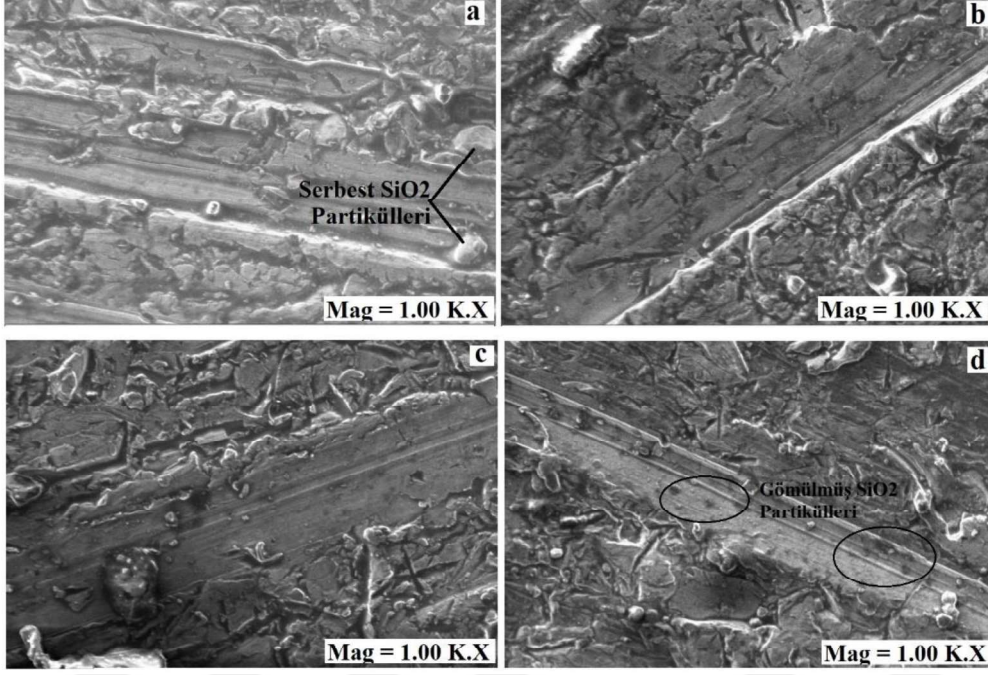


Şekil 31.Disk devrine bağlı özgül aşınma miktarı

Disk devrine göre meydana sürtünme katsayılarının incelenmesinde anlatıldığı üzere artan disk devri ile birlikte karşılıklı yüzeyler arasında meydana gelen temas birim zamanda azalmaktadır. Toplam ağırlık kayıplarımız, artan disk devrinde yani artan kayma mesafesinde artmış olmasına rağmen bu artış lineer bir artış değildir, bu artışın ivmesi zamanla azalmaktadır. Artışın lineer olmayışının temel olarak iki sebebi vardır, bunlardan birincisi aşınan yüzeylerin deforme olmasından dolayı yüzeyde bir deformasyon sertleşmesinin meydana gelmesi ve aşındırdığımız yüzeylerin artan sertlikle birlikte aşınma dirençlerinin artmasıdır. Bir diğer sebep ise, artan kayma mesafesiyle birlikte yüzeyde biriken SiO<sub>2</sub> miktarının artmasıdır. Diğer deney parametrelerinde olduğu gibi, aşınma yüzeyleri incelendiğinde SiO<sub>2</sub> partiküllerinin aşınma yüzeylerine gömüldüğü görülmektedir. Yüzeyde biriken bu partiküller, aşınmaya karşı bir direnç oluşturmakta ve özgül aşınma miktarının giderek azalmasına neden olmaktadır. ZA27 ve CuSn10 alaşımları birbirleriyle kıyaslandığında, ZA27 alaşımının ağırlık kayıplarının daha az olmasına rağmen özgül aşınma miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Yani ZA27 alaşımının birim zamanda ve birim yükte meydana gelen aşınma miktarı daha fazladır, dolayısıyla ZA27 alaşımının abrazif aşınma direncinin CuSn10 alaşımından daha düşük olduğu söylenebilir.

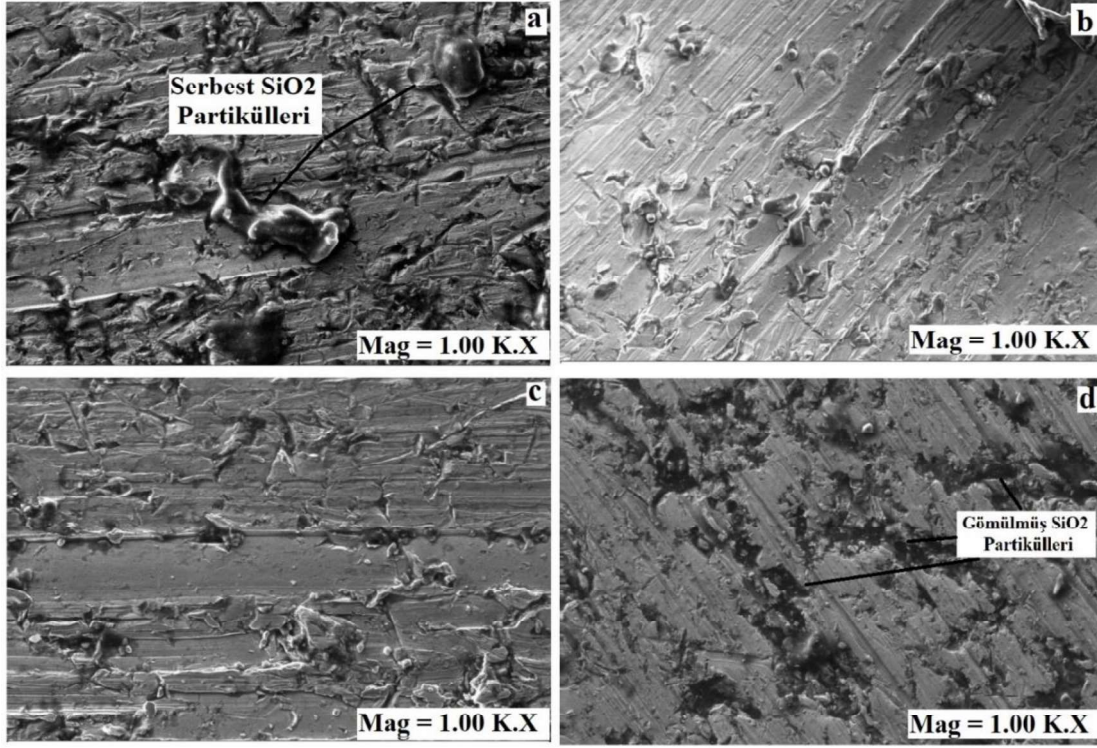
### 3.3.3. Disk Devrine Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi

#### 3.3.3.1. ZA27 Alaşımının Disk Devrine Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi



Şekil 32. ZA27 numunelerinin farklı disk devirlerinde aşınma yüzeyleri (a)100dev/dk (b)200dev/dk, (c)300dev/dk ve (d)400dev/dk

### 3.3.3.2. CuSn10 Alaşımının Disk Devrine Bağlı Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi



Şekil 33. CuSn10 numunelerinin farklı disk devirlerinde aşınma yüzeyleri (a)100dev/dk (b)200dev/dk, (c)300dev/dk ve (d)400dev/dk

Yukarıdaki Şekil 32 ve 33 incelendiğinde her iki alaşım içinde çizilme ve yırtılma şekillerinde abrazif aşınma izleri görülmektedir. 100dev/dk disk devrinden itibaren her iki alaşımda da belirgin şekilde aşınma izleri görülmüştür. Aşınma izleri incelendiğinde, SiO<sub>2</sub> partiküllerinin yüzeyde farklı şekillerde bulunduğu görülmektedir. 100dev/dk disk devrinde yapılan deneylerden elde edilen aşınma yüzeyleri incelendiğinde, SiO<sub>2</sub> partiküllerinin yüzeyde büyük çoğunlukla bağımsız halde bulunduğu, yani bir yapışma, gömülmenin meydana gelmediği görülmektedir (Şekil 32a, 33a). Ancak artan disk devri ile birlikte, yüzeyde serbest halde bulunan SiO<sub>2</sub> partiküllerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 32b, 32c). Bu durum aşınma davranışını önemli derecede etkilemektedir. Artan disk devri ile birlikte, diskin çevresel hızı artmış dolayısıyla dönme esnasında meydana gelen santrifüj etkisi artmıştır. Bu santrifüj etkisiyle birlikte, SiO<sub>2</sub> partiküllerinin bir kısmı disk yüzeyinden ve numune yüzeyinden savrulmuş bir kısmı ise kırılarak numune yüzeylerine gömülmüştür (Şekil 32 c, d ve 33c,d). Kırılarak yüzeye gömülen bu SiO<sub>2</sub> partikülleri, her iki alaşımında yüzey sertliğinin artmasına ve dolayısıyla aşınma direncinin artmasına neden olmuştur. Özgül aşınma kayıpları grafiğinde de görüldüğü üzere artan disk devri ile birlikte özgül aşınma miktarının azalmasını

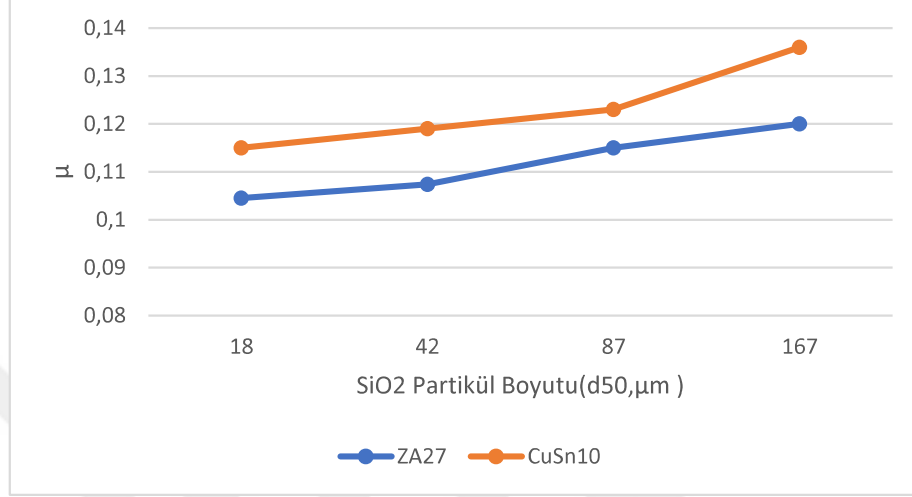
en önemli sebebi, kırılarak yüzeye gömülen bu SiO<sub>2</sub> partikülleridir. Aynı zamanda, artan SiO<sub>2</sub> miktarı ile birlikte sürtünme katsayılarında meydana gelen azalmanın sebebi de budur. Devam eden deney boyunca artan disk devrine bağlı olarak, yüzeyden uzaklaşan SiO<sub>2</sub> partikülleri sürtünme katsayılarının düşük olmasına neden olmuştur. Özetlemek gerekirse, düşük devirde yapılan aşınma testlerinde SiO<sub>2</sub> partikülleri daha çok çizme, kesme gibi abrasif davranışlar sergilerken, artan disk devri ile birlikte hem abrasif davranış göstermekte, hem de yüzeye gömülerek yüzey sertliğini arttırmakta ve aşınmaya karşı direnç oluşturmaktadır.

### **3.4. Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi**

#### **3.4.1. Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Sürtünme Katsayılarının İncelenmesi**

ZA27 ve CuSn10 alaşımları, diğer değişkenler sabit tutularak dört farklı ortalama partikül boyutuna sahip SiO<sub>2</sub> tozları kullanılarak abraziv aşınma testlerine tabi tutulmuşlardır. Şekil 34 incelendiğinde artan SiO<sub>2</sub> partikül boyutuyla birlikte her iki alaşımda da sürtünme katsayılarının bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Her iki alaşım için, en düşük sürtünme katsayıları 18µm ortalama partikül boyutuna sahip SiO<sub>2</sub> tozlarıyla, en yüksek sürtünme katsayılarının ise 167µm ortalama partikül boyutlarına sahip SiO<sub>2</sub> partikülleriyle yapılan deneylerde elde edilmiştir. Ancak sonuçlar incelendiğinde partikül boyutunun, sürtünme katsayısına olan etkisi zaman, yük ve disk devrine göre daha az olduğu görülmektedir. Çünkü, grafik incelendiğinde ZA27 alaşımı için en küçük aşındırıcı partikül boyutunda elde edilen sürtünme katsayısı 0,1045 iken en yüksek aşındırıcı partikül boyutunda elde edilen sürtünme katsayısının 0,12 olduğu, CuSn10 alaşımı içinse bu değerlerin sırasıyla 0,115 ve 0,136 olduğu görülmektedir. Yani aşındırıcı partikül boyutundaki önemli değişiklik, sürtünme katsayısında önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Bunun nedeni, SiO<sub>2</sub> partiküllerinin seramik yapıda olması ve gevrek olmasından kaynaklanmaktadır. Aşınma deneylerinin başlangıcından itibaren yük ve dönen diskin hareketiyle birlikte arayüzeyde sıkışan SiO<sub>2</sub> partikülleri kırılmaktadır. Deneylerin başlangıç aşamalarında gözlemlenen yüksek sürtünme kuvvetleri, SiO<sub>2</sub> partiküllerinin kırılması neticesiyle azalmaktadır. Bunun neticesinde, kaydedilen sürtünme kuvvetlerimiz her deney için başlangıçtan itibaren azalmaktadır dolayısıyla hem ortalama sürtünme kuvvetlerimiz hem de sürtünme katsayılarımız deneylerin başlangıcından itibaren azalmaktadır. Ancak iri partiküllerle başlanılan deneylerde, ilk başlarda daha yüksek olarak kaydedilen sürtünme kuvvetleri, ortalama sürtünme kuvvetinin ince partiküllerle yapılan deneylere kıyasla bir miktar fazla olmasına neden olmuştur. Kırılan SiO<sub>2</sub> partikülleri belirli

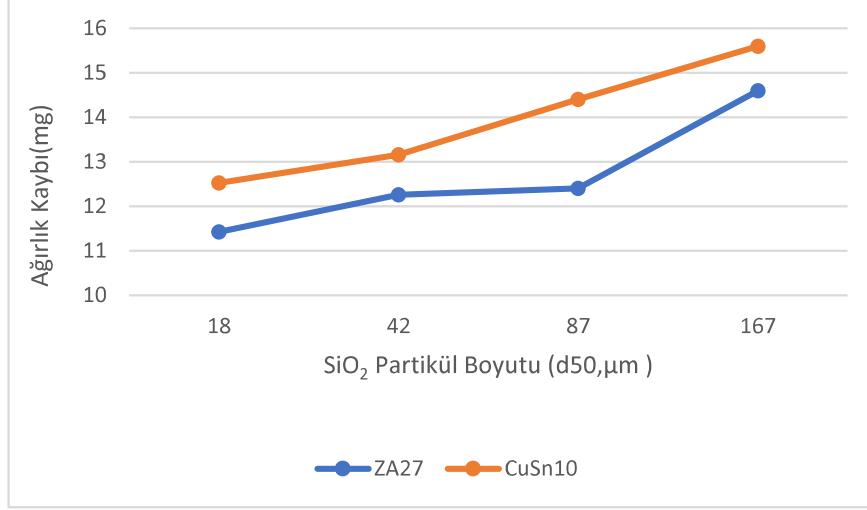
boyutlara ulaştıktan sonra ise daha fazla kırılmamakta ve yüzeye gömülmektedir, bir başka ifadeyle deneylerin başlangıcında etkili olan SiO<sub>2</sub> partikül boyutu çok kısa bir süre sonra SiO<sub>2</sub> partiküllerinin kırılarak boyutlarının küçülmesinden dolayı etkisini yitirmektedir.



Şekil 34. SiO<sub>2</sub> boyutuna bağlı sürtünme katsayısı grafiği

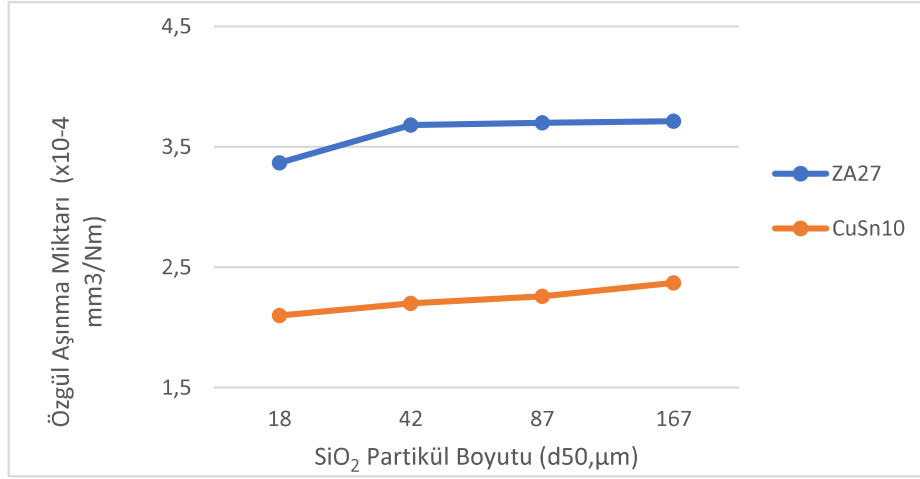
### 3.4.2. Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Aşınma Kayıplarının İncelenmesi

Artan SiO<sub>2</sub> partikül boyutuyla birlikte her iki alaşımda da görülen ağırlık kayıpları aşağıdaki şekilde görülmektedir (Şekil 35). Şekil 35 incelendiğinde her iki alaşım için de artan partikül boyutuyla birlikte aşınma kayıplarının arttığı görülmektedir. Ancak yukarıda da anlatıldığı üzere, aşındırıcı partikül boyutundaki değişiklik, aşınma miktarında önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. SiO<sub>2</sub> partiküllerinin boyutunun etkisi olarak ele almak gerekirse aşınma davranışını etkileyen iki temel sebep vardır. Bunlardan birincisi SiO<sub>2</sub> partiküllerinin numune yüzeylerine gömülmesi, ikincisi ise SiO<sub>2</sub> partiküllerinin kırılmasıdır. SiO<sub>2</sub> partikülleri oldukça sert yapıdadır, numunelerimiz ise yumuşak alaşımlardır, deneylerin başlangıcından itibaren SiO<sub>2</sub> partikülleri numune yüzeylerine hem abrazif etki yapmakta hem de yüzeylere gömülmektedir. Mikroskobik incelemelerden de görüleceği üzere, partikül boyutu küçüldükçe alaşımların yüzeyine gömülmesi daha fazla olmaktadır. Deneylerimizin başlangıcından itibaren, sürtünme katsayılarında olduğu gibi, hızlı bir ağırlık kaybının meydana geldiği ancak yüzeye gömülen SiO<sub>2</sub> partikülleriyle birlikte ağırlık kayıplarının azaldığı düşünülmektedir. Şekil 28 incelendiğinde, en az ağırlık kayıplarının 18µm partikül boyutuna sahip SiO<sub>2</sub> tozlarıyla yapılan deneylerde, en yüksek kaybın ise 167µm partikül boyutlarına sahip SiO<sub>2</sub> tozlarıyla yapılan deneylerde meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 35. SiO<sub>2</sub> partikül boyutunun ağırlık kaybına etkisi

Özgül aşınma miktarları incelendiğinde ise yine artan aşındırıcı partikül boyutuyla birlikte özgül aşınma miktarının bir miktar arttığı ancak bu artışın çok önemsiz derecede olduğu görülmektedir. Yukarıda sürtünme katsayıları ve ağırlık kayıpları incelemelerinde anlatıldığı üzere, aşınma deneylerinin başlangıcından itibaren kırılan SiO<sub>2</sub> partikülleri, deneyimizde değişken olarak belirlediğimiz SiO<sub>2</sub> partikül boyutlarını aynı seviyeye getirerek deney sonuçlarının da birbirine yakın çıkmasına neden olmuştur.

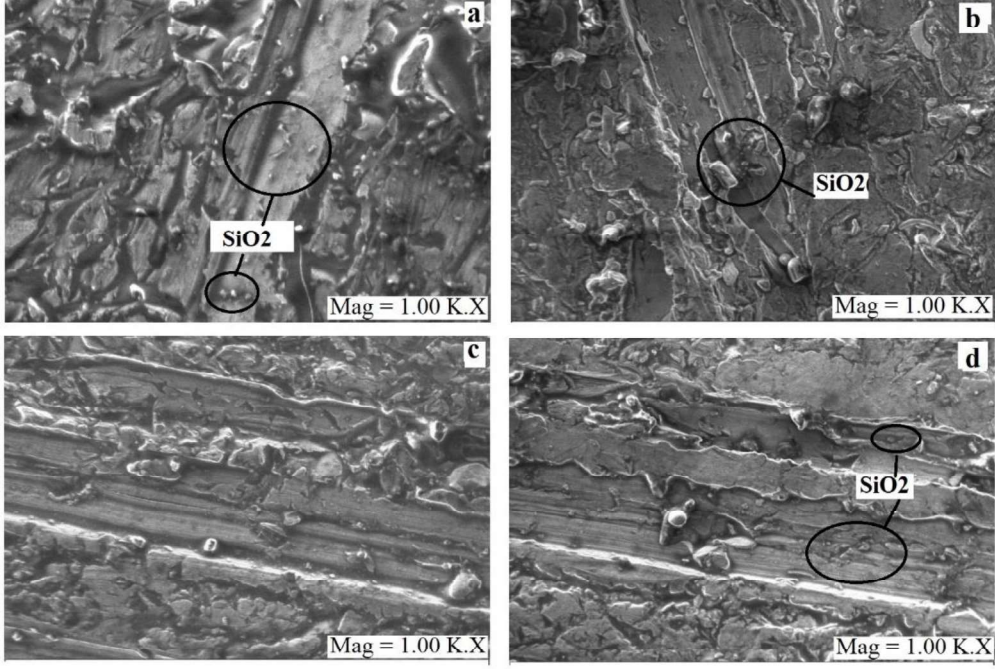


Şekil 36. SiO<sub>2</sub> partikül boyutunun özgül aşınma miktarına etkisi



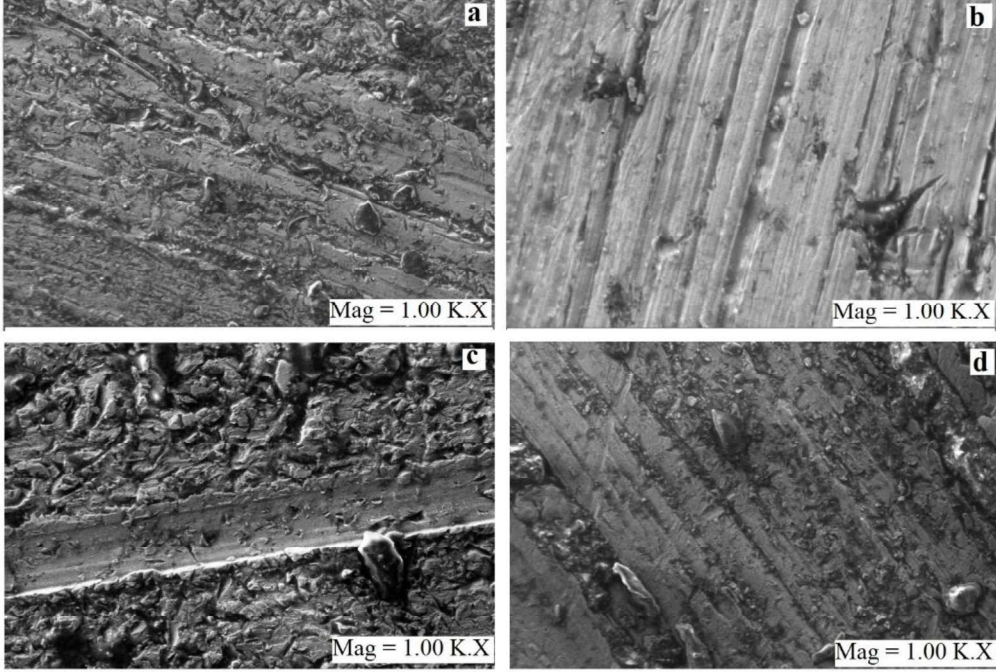
### 3.4.3. Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Olarak Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi

#### 3.4.3.1. ZA27 Alaşımının Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Aşınma Yüzeyleri



Şekil 37. ZA27 alaşımının farklı aşındırıcı partikül boyutlarındaki aşınma yüzeyleri (a) 18µm, (b)42µm, (c)87µm ve (d)167 µm

### 3.4.3.2. CuSn10 Alaşımının Aşındırıcı Partikül Boyutuna Bağlı Aşınma Yüzeyleri



Şekil 38. CuSn10 alaşımının farklı aşındırıcı partikül boyutlarındaki aşınma yüzeyleri (a) 18µm, (b)42µm, (c)87µm ve (d)167 µm

Yukarıdaki aşınma yüzeylerin incelendiğinde her iki alaşımda da abrasiv aşınma izleri görülmektedir. En küçük yani 18µm ortalama aşındırıcı partikül kullanılarak yapılan deneylerde, elde edilen aşınma fotoğrafları incelendiğinde oluşan kesme, kazıma izlerinin ince çizikler şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca ince SiO<sub>2</sub> partiküllerinin yüzeye gömüldüğü de fotoğraflarda görülmektedir (Şekil 37a, 38a). Ancak aşındırıcı partikül boyutu arttıkça meydana gelen abrasif aşınma izlerinin genişlediği ve numune yüzeylerinde irili ufaklı SiO<sub>2</sub> partiküllerinin mevcut olduğu görülmüştür (Şekil 38c,d ve 39 c,d). Fakat, fotoğraflarda da görüldüğü üzere iri partiküller yüzeye gömülü halde değil, tutunmuş haldedir. Bu iri partiküller, devam eden aşınma testleri boyunca, yük ve dönen diskin etkisiyle kırılarak incelmektedir. Bu nedenle, belirli bir aşınma süresinden sonra partikül boyutunun aşınma davranışına önemli bir etkisinin kalmadığı düşünülmektedir.

#### 4.SONUÇLAR

1) Artan aşınma testi süresiyle birlikte, her iki alaşımda da sürtünme katsayıları ve ağırlık kayıpları artmıştır.

2) Zamana bağlı olarak yapılan incelemede, ZA27 alaşımının sürtünme katsayıları ve aşınmada meydana gelen ağırlık kayıpları CuSn10 alaşımından daha az olmasına rağmen, özgül aşınma miktarları daha fazladır. Yani birim zaman ve birim yüke bağlı olarak hacimsel bir yorum yapmak gerekirse, CuSn10 alaşımının aşınma direnci daha iyidir.

3) Artan yük ile birlikte her iki alaşımda sürtünme katsayıları ve ağırlık kayıpları artmıştır.

4) Özgül aşınma miktarları artan yük ile birlikte artmıştır ve CuSn10 alaşımının özgül aşınma miktarının ZA27'den daha az olduğu görülmüştür.

5) Artan aşındırıcı disk devri ile birlikte sürtünme katsayıları her iki alaşım içinde artmıştır ancak artan disk devri ile birlikte kayma mesafesi de arttığı için ağırlık kayıpları artmıştır.

6) Artan disk devri ile birlikte, özgül aşınma miktarları azalmıştır ve CuSn10 alaşımının özgül aşınma miktarı bütün disk devirleri için ZA27 alaşımından daha düşüktür.

7) SiO<sub>2</sub> partikül boyutunun sürtünme katsayısı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür.

8) Artan SiO<sub>2</sub> partikül boyutuyla birlikte, aşınmada meydana gelen ağırlık kayıpları artmıştır.

9) Ağırlık kaybı olarak incelendiğinde ZA27 alaşımında daha az ağırlık kayıplarının meydana geldiği görülmüştür ancak özgül aşınma miktarı olarak inceleme yapıldığında ise CuSn10 alaşımının daha iyi olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

## 5. ÖNERİLER

- 1) Her bir deney sonrasında yüzey sertliği alınarak, yüzeyde meydana gelen sertlik değişimi incelenebilir. Böylece yüzeyde meydana gelen deformasyon sertleşmesi hakkında bilgi sağlanabilir.
- 2) Farklı abraziv partiküller kullanılarak, özellikle de kırılması, ezilmesi daha zor olan partiküller kullanılarak, abraziv partikül boyutunun aşınma davranışına etkisi incelenebilir.
- 3) Daha doğru kıyaslama yapabilmek adına, hacimsel aşınma kayıpları incelenebilir.
- 4) Yaptığımız deneylerde kullandığımız yağın sonucu etkileyecek korozif etkileri olabilir, bunları daha detaylı incelemek için tribokorozyon deneyleri yapılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Sahar, F., Çelik Takviyeli Zamak 5 Alaşımının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2007.
2. Çuvalcı, H., Çinko Alüminyum Esaslı Ticari ZA-27 Kaymalı Yatağının Sürtünme Davranışının İncelenmesi, Turk J Engin Environ Sci, 25 (2001), 199 – 204.
3. Babic, M., Mitrovic, S., Jeremic, B., The Influence of Heat Treatment on the Sliding Wear Behavior of A ZA27 Alloy, Tribology International, 43 (2010) 16–21.
4. Özay, Ç., TM yöntemiyle üretilen Cu-C-Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> kompozitinin abrasiv aşınma dayanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2004.
5. Solmaz, Y.M., Ni<sub>3</sub>Al+B metaller arası bileşiğinin değişken sıcaklık şartlarında aşınma davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2002.
6. Pekin, Ş., Vuoristi ve P., Mantyla, T., System aproach for wear rezistant coatings, Workshop on Anti-Wear Coatings, TÜBİTAK-MAM, Kocaeli, 1993.
7. Yılmaz, F., Sürtünme ve aşınma, IX. Ulusal Metalurji ve Malzeme Kongresi, 1, 229-256, Ankara, 1997.
8. Desai, V.M., Effect of carbide size on the abrasion of cobalt base powder metallurgy alloys, Wear, 94, 1 (1984) 347-376.
9. Muratoğlu, M., 1997, SiC katkılı 2124 alüminyum kompoziti ve yaşlandırılmış kompozitin aşınma davranışlarının araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
10. Božić, D., Stašić, J., and Rajković, V., Microstructures and Mechanical Properties of ZA27-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites Obtained by Powder Metallurgy Process, Science of Sintering, 43 (2011) 63-70.
11. Mitrović, S., Babić, M., Stojanović, B., and Miloradović N., Tribological Potencial Of Hybrid Composites Based On Zinc And Alüminium Alloys Reinforced With SiC And Graphite Particles, 12th International Conference on Tribology, Kragujevac, Serbia, 2011.
12. Azaklı, M. A., Aslan, S., Akbulut, H., Bindal, C., Etial 171-SiC-Grafit Hibrit Metal Matriksli Kompozitlerin Üretimi ve Mikroyapısı, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7, 2, 2003.
13. A. Alizadeh, E. Taheri-Nassaj, Mechanical properties and wear behavior of Al–2 wt.% Cu alloy composites reinforced by B<sub>4</sub>C nanoparticles and fabricated by mechanical milling and hot extrusion, Materials characterization, 67 (2012) 119-128.

14. Jia, D.C., Influence of SiC particulate size on the microstructural evolution and mechanical properties of Al-6Ti-6Nb matrix composites, Materials Science and Engineering: A, 289 (2000) 83-90.
15. Mykura, N., Zhu, Y., ve Murphy, S., Solid-State Reactions in Zn-Al Based Alloys, Canadian Metallurgical Quarterly, 25 (1986) 151-159.
16. Zhu, Y., Villasenor, G.T., and Pina, C., Complex Microstructural Changes in As- Cast Eutectoid Zn-Al Alloy, Journal of Materials Science, 29 (1994) 1549- 1552.
17. Houghton, M.E., and Murray, M.T., An Introduction to Zinc Alloys , Metals Forum, 6 (1984) 211-225.
18. Savaşkan, T., ve Murphy, S., Zn-Al Esaslı Yatak Alaşımlarındaki Faz Dönüşümleri, 4. Ulusal Metalürji Kongresi, Ekim 1986, Ankara, Bildiriler Kitabı II: 532-555.
19. Gervais, E., Levert, H. ve Bess, M., The Development of a Family of Zinc-Based Foundry Alloys, Trans.Am.Foundrym.Soc., 88 (1980) 183-194.
20. Schatt W. ve Wieters KP., Powder metallurgy processing and materials. Shrewsbury (UK): EPMA; 1997, 492.
21. Enomoto Y. ve Yamamoto T., New materials in automotive tribology, Tribol Letters , 5, 13-24, 1998.
22. Eyre TS., Friction an wear control in industry, Surface Engineering, 7 (1991) 8-143.
23. Ünlü B., Atik E, Meric, C., Wear mechanisms at journal bearings, Machine and Metal Technology, 27 (2002) 45-50.
24. Hull, D., “An Introduction to Composite Materials”, Cambridge University Pres, 71-79, 1992.
25. Ersoy, H. Y., “Kompozit Malzeme”, İstanbul, 95-127, 2001.
26. Kadir, S. ve Arık, H., “Sepiyolitten Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>'e dönüşüm mekanizmaları”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Science, 23 (1999), 287-298.
27. Akbulut, H., Durman, M. ve Yılmaz, F., SiC seramik partikül takviyeli alüminyum-silisyum metal esaslı kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi, 7. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, Haziran 1993, Ankara, Bildiriler Kitabı, 1183-1192.
28. Mabuchi, M. and Higashi, K., “An experimental investigation of a superplastic constitute equation in Al-Mg-Si alloy composites reinforced with Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> whiskers”, International Journal of Plasticity, 17 (2001) 399-407, Japan.
29. Kurt, T., “Diyatomit'ten karbo-termal indirgeme ve nitrürleme yoluyla silisyum nitrür (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) seramik toz üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002.

30. Işıker, V. ve Ögel, B., "Al-SiC kompozitlerinin üretiminde yatay bilyalı değirmen kullanımı ve parçacık dağılımına etkisi", 1.Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Gazi Üniversitesi, Eylül 1996, Ankara, Bildiriler Kitabı, 377-385.
31. Uygur, İ. ve Saruhan, H., "Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri", SAU, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2004.
32. Ekinci, V. Ş., "Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
33. ASM Handbook, Composites, 21, 2001.
34. Özdin, K., Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
35. Chawla, K.K, Composite Materials Science and Engineering, Springer-Verlag, USA, 1998.
36. Aktaş, H., Alüminyum Matrisli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
37. Aslan, S., SiC ve Grafit Takviyeli Çinko Alüminyum Hibrit Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
38. Barnhurst, R.J., and Gervais, E., Gravity Casting of Zinc-Aluminum (ZA)Alloys : Dependence of Mechanical Properties on Soundness, Microstructure and Inclusion Content, AFS Transactions. 93 (1985) 591-602.
39. Savaşkan, T., and Murphy, S., Decomposition of Zn-Al Alloys on Quench-Aging, Materials Science and Technology, 6 (1990) 695-700.
40. Murphy, S., Solid-Phase Reactions in the Low Copper Part of the Zn-Al-Cu System, Z.Metallkde., 71(1980) 96-102.
41. Durman, M., and Murphy, S., "Precipitation of Metastabil E-Phase in a Hypereutectic Zinc-Aluminum Alloys Containing Copper", Acta Metali. Matter., 39 (1991) 2235-2242.
42. Zho, Y. H., Torres, G., and Pina, C., "Complex Microstructural Changes in As-Cast Eutectoid Zn-Al Alloy", Journal of Materials Science, 29 (1994) 1549-1552.
43. Zhu, Y. H., and Goodwin, F. E., "Influence of Rare Earth Element Additions on Phase Transformations in the Zn-27% Al Alloy", J. Mater. Res., 8 (1993) 3043-3049.
44. Savaşkan, T., ve Pürçek, G., "Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ve Bu alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Aşınma Özellikleri", Türk Mühendis ve Çevre Bilimleri Dergisi (Tr. J. Engin. Sci.), 24 (2000) 25-34.

45. Prasad, B. K, "Influence of Heat Treatment on the Physical, Mechanical and Tribological Properties of a Zinc-based Alloy, Z. Metallkd., 87 (1996) 226-232.
46. Lyon, R, New Zinc Alloys with Wide Engineering Applications, Conference on Materials Engineering, University of Leeds, 1984, İngiltere, Bildiriler Kitabı, 87-96.
47. Barnhurs, R. J., Metals Hendbook, 10th Edition, Amarican Society for Metals, Metals Park, Ohio, 2 (1991) 528-542.
48. Savaşkan, T. ve Çuvalcı, H., "Çinko-Alüminyum Esaslı Yatak Alaşımlarının Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi", 4. Ulusal Makina Tasarımı ve İmalat Kongresi, Ankara, 123-130 (1990).
49. Lo, S. H. J., Dionne, S., Sahoo, M. and Hawthorne, H. M., Journal of Materials Science, 27 (1992) 5681-5691.
50. Goodwin, F. E. and Ponikvar, A. L., Engineering Properties of Zinc Alloys, Publişed by Int. Lead Zinc Res. Org. Inc., Third Edition-Revised, North Carolina, 2225-2235 (1989).
51. Choudhury, P., Das, K. and Das, S., Evolution of as-cast and heat-treated microstructure of a commercial bearing alloy, Materials Science and Engineering A, 398 (2005), 332–343.
52. Savaşkan, T. and Murphy, S. Mechanical Properties and Lubricated Wear Of Zn–Al Based Alloys, Wear, 116 (1987) 211–224.
29. Savaşkan, T. and Alemdağ, Y., Mechanical and Tribological Properties of Al–40Zn–Cu alloys, Tribology International, 42 (2009) 176–182.
53. Yağcı, E., Tabakalı Kompozit İnce Plakların Plak Düzlemine Dik Yükleme Etkisi Altındaki Eğilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2007.
31. Ransone, P. O., Carbon-Carbon Cylinder Block, United States Patent, Patent Number; 5, 769, 046 (1998).
54. Aycan, M. F., Yaşlandırma Isıl İşleminin SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Parçacık Takviyeli Alüminyum Alaşımı Eesaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
55. Ersoy, H.Y., "Kompozit Malzeme", Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama, San. ve Tic. Ltd. Sti., İstanbul, 11-15, 95-105, 110-116 (2001).
56. Saçak, M., "Polimer Kimyası", Gazi Kitabevi, Ankara, 85-89, 221-224, 275-297, 393-397 (2002).
57. Unlu B., Atik E., Meric C., Effect of loading capacity (pressure–velocity) to tribological properties of CuSn10 bearings, Materials and Design 28 (2007) 2160–21659.



## ÖZGEÇMİŞ

Onur ÖZKAYA 1987 yılında Alanya’da doğdu. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mezuniyetinin hemen ardından “Uluslararası Kaynak Sertifikası” ve “İş Sağlığı ve Güvenliği” uzmanlığı sertifikaları aldı ve 2 yıl süreyle özel sektöre kaynak uzmanı ve iş sağlığı güvenliği uzmanı olarak görev yaptı. Nisan 2016 tarihinden itibaren ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Abdullah Kanca Meslek Yüksek okulunda öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır.

