

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ZA-27 ALAŞIMININ ABRASİF AŞINMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seramik Müh. Hasan Serdar ÇELİK

**HAZİRAN 2010
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ZA-27 ALAŞIMININ ABRASİF AŞINMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Seramik Müh. Hasan Serdar ÇELİK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Yüksek Lisans(Metalurji ve Malzeme Mühendisliği)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.05.2010
Tezin Savunma Tarihi : 18.06.2010**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Mühendislik malzemelerinde verimli ve güvenli çalışmayı sağlamak, kullanım ömrünü artırmak amacıyla üstün özelliklere sahip malzemeler gerekmektedir. Bu amaçla tarihte birçok yeni malzemeyle üretilmiş mühendislik elemanları denenmiş ve kullanılmıştır. Geleneksel malzemelerin yerine kullanılan bu yeni nesil malzemelerin geliştirilmesi günümüzde halen devam etmekte olup bu malzemelerin ekonomik olmaları da ayrı bir avantaj sağlamaktadır. Genellikle yatak malzemesi olarak kullanılan bronzun kısıtlı ve pahalı olması nedeniyle mühendisler daha ucuz ve verimli malzeme arayışına gitmişlerdir.

Bu çalışmada, üretilen çinko-alüminyum esaslı alaşımların tribolojik özellikleri incelendi. Çalışma sonucunda geleneksel yatak malzemesi olarak kullanılan bronzun alternatif olarak üretilmiş olan daha az maliyetli çinko-alüminyum esaslı alaşımların örneklerinin tribolojik özelliklerde bronzlara göre nispeten daha üstün özelliklere sahip oldukları belirlendi.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasında değerli fikirleri, teşvikleri ve fedakarlığıyla her türlü yardımı esirgemeyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI 'ya şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarımda bana yardımcı olan sayın Dr. Aykut ÇANAKCI' ya da teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmanın değişik aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Metalurji ve Malzeme Mühendisliği'nde görevli tüm teknisyen ve çalışanlara teşekkür ederim.

Hasan Serdar ÇELİK
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Zamak Alaşımları	2
1.3. Çinko-Alüminyum Alaşımının Tarihi Gelişimi	3
1.4. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Geleneksel Döküm Alaşımlarıyla Karşılaştırılması.....	4
1.5. Çinko Alüminyum Alaşımların Endüstriyel Uygulamaları ve Döküm Avantajları	4
1.6. Çinko Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri	5
1.6.1. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Mekanik özellikleri	5
1.6.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri	7
1.7. Alaşım Elementlerinin ZA Alaşımlarına Etkileri	9
1.7.1. Alüminyum	9
1.7.2. Magnezyum	10
1.7.3. Bakır	10
1.7.4. Kurşun, Kalay ve Kadmiyum	10
1.7.5. Demir	11
1.7.6. Nikel, Krom, Manganez ve Silisyum	11
1.8. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Türlerine Göre Özellikleri.....	11
1.9. TRİBOLOJİ.....	13
1.9.1. Tarihçesi	13
1.9.2. Triboloji Alanındaki Araştırmalar	14
1.9.3. Sürtünme.....	15
1.9.4. Aşınma.....	15
1.9.4.1. Abrasif Aşınma.....	16

1.9.4.1.1.	Abrasif Aşınmada Yüzeyden Malzeme Kaybı	18
1.9.4.1.2.	Abrasif Aşınmayı Etkileyen Faktörler	20
1.9.4.1.3.	İlk Kullanılan Çinko Kaplama Alaşımları ve Avantajlarına Örnekler ve Abrasil Aşınma Çalışmaları	20
1.10.	İlgili Literatürün Özeti ve Çalışmanın Amacı	21
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
2.1.	ZA-27 Alaşımının ve Aşınma Numunelerinin Hazırlanışı	23
2.1.1.	Kullanılan Malzeme Oranları ve Miktarları	23
2.1.2.	Alaşım Dökümü	23
2.1.3.	Aşınma, Sertlik ve Metalografi Numunelerinin Üretilmesi	24
2.2.	Deney Numunelerinin Hazırlanması	25
2.3.	Aşınma Deney Düzeneği ve Kullanılan SiC	26
2.4.	Aşınma Deneylerinin Yapılışı	29
3.	BULGULAR	31
3.1.	Alaşımın İçyapıları ve Sertlik Değerleri	31
3.2.	ZA-27 Alaşımı Aşınma Deneyleri	32
3.3.	Bronz Numuneler İçin Aşınma Deneyleri	34
3.4.	ZA-27 ve Bronzun Ağırlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması	36
3.4.1.	Aşınmanın Deney Süresi İle Değişimi	36
3.4.2.	Aşınmanın Disk Dönme Hızı İle Değişimi	37
3.4.3.	Aşınmanın SiC Tane Boyutu İle Değişimi	38
3.4.4.	Aşınmanın Yük İle Değişimi	38
3.4.5.	Aşınmanın Ağ.% SiC Miktarı İle Değişimi	39
3.5.	Deneylerdeki Fs(Sürtünme Kuvveti)'nin Karşılaştırılması	40
3.6.	Elektron Mikroskopundan Alınan Görüntülerin İrdelemesi	42
3.6.1.	Deney Süresinin Etkisi	42
3.6.2.	Disk Dönme Hızının Etkisi	43
3.6.3.	Deney Yükünün Etkisi	44
3.6.4.	SiC Tane Boyutunun Etkisi	45
3.6.5.	Ağ.%SiC Miktarının Etkisi	46
3.6.6.	Numunelerde SEM'de Yapılan Nokta Analiz Testleri	47
4.	İRDELEME	49
5.	SONUÇLAR	51

6.	ÖNERİLER	52
7.	KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Son yıllarda endüstride önemli uygulama alanı bulan ZA alaşımların yetersiz yağlama şartlarında ve yüksek yükler altında iyi aşınma direnci gösterdiği kanıtlanmıştır. Hem serbest hem de basınçlı döküme elverişli %27'ye kadar alüminyum içeren ticari alaşımlar geliştirilmiştir. Bu alaşımlar pek çok uygulamada dökme demir, beyaz metaller ve bronz gibi geleneksel yatak malzemelerinin yerini almaya başlamıştır.

Bu çalışmada laboratuarda üretilen ZA-27 alaşımı ile piyasadan tedarik edilen CuSn10 bronzunun abrasif aşınma performansları bir deney düzeneği yardımı ile belirlenmiştir. Çalışma kapsamında dönme hızı, % SiC oranı, uygulanan yük, deney süresi, tane boyutu gibi deney değişkenlerinin alaşımların abrasif aşınma performansı üzerindeki etkileri araştırıldı.

Deneysel sonuçlarda ZA-27 alaşımının CuSn10 bronzundan daha iyi aşınma performansı sergilediği gözlemlendi. Öte yandan devir sayısı ve tane boyutu arttıkça, alaşımların aşınma dayanımlarının düştüğü belirlendi. Bununla birlikte, uygulanan yük ve % SiC oranı arttıkça ZA-27 ve CuSn10 bronzunun aşınma miktarlarının da arttığı tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: ZA-27 alaşımı, CuSn10 bronz, Abrasif aşınma

SUMMARY

Investigation of Abrasive Wear Performance of ZA-27 Alloys

Important applications in industry in recent years, finding insufficient lubrication of ZA alloys under high load conditions and show good wear resistance has been proven. Both free and suitable for casting aluminum containing up to 27% of commercial alloys have been developed. This cast iron alloys in many applications began to replace traditional bedding materials. such as white metal and bronze

In this study , the abrasive wear performance of ZA-27 alloy and CuSn10 bronze has been calculated with an abrasive wear experimental device. In the study experimental variables such as rotational speed,% SiC ratio, applied load, test duration, particle size were investigated for the abrasive wear performance of ZA-27 alloy.

Results of experiments in the ZA-27 alloy exhibit better wear performance than bronze CuSn10 was observed. On the other hand, the number of cycles and the grain size increases, the wear resistance of alloys that were decreased. However, with increase of applied load and % SiC, ZA-27 and CuSn10 bronze increased in the amount of wear was found.

Key Words : ZA-27 alloy, Bronze CuS10, Abrasive wear

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Abrasif aşınma mekanizması.....	16
Şekil 2.	İki gövdeli ve üç gövdeli aşınma mekanizmaları	17
Şekil 3.	Abrasif aşındırıcı ve yük altında aşınma mekanizması	18
Şekil 4.	Tek bir abrasif ucun üzerinden geçmesi ile malzemede oluşan aşınma mekanizmaları (a) Pulluklama (b) mikro yorulma (c) takozlama (d) mikro çatlak (e) kesme.....	19
Şekil 5.	Sıcaklık kontrollü devirmeli tip ergitme potası	24
Şekil 6.	Aşınma numunesi boyutları.....	24
Şekil 7.	120 µ tane boyutundaki SiC'ün (a) 25x (b) 115x görüntüleri	26
Şekil 8.	220 µ tane boyutundaki SiC'ün (a) 25x (b) 115x görüntüleri	27
Şekil 9.	320 µ tane boyutundaki SiC'ün (a) 25x (b) 115x görüntüleri	27
Şekil 10.	Aşınma deney düzeneğinin şematik görünüşü	28
Şekil 11.	(a) Aşınma deney düzeneği (b) ultrasonik temizleyici (c) aşınma deney numunesi ve diskin yakından görünümü	29
Şekil 12.	Bronz numunenin ışık mikroskobunda 100x görüntüsü.....	31
Şekil 13.	ZA-27 alaşımının ışık mikroskobunda 100x görüntüsü	31
Şekil 14.	Deney süresinin alaşımların aşınma miktarına etkisi	37
Şekil 15.	Disk dönme hızlarının alaşımların aşınma miktarına etkisi	37
Şekil 16.	SiC tane boyutlarının alaşımların aşınma miktarlarına etkisi.....	38
Şekil 17.	Yükün alaşımların aşınma miktarlarına etkisi	39
Şekil 18.	SiC miktarlarının alaşımların aşınma miktarlarına etkisi	39
Şekil 19.	Fs(sürtünme kuvveti)'nin deney süresi ile değişimi.....	40
Şekil 20.	Fs(sürtünme kuvveti)'nin disk dönme hızı ile değişimi	40
Şekil 21.	Fs(sürtünme kuvveti)'nin SiC tane boyutu ile değişimi	41
Şekil 22.	Fs(sürtünme kuvveti)'nin uygulanan yük ile değişimi	41
Şekil 23.	Fs(sürtünme kuvveti)'nin Ağ.%SiC miktarı ile değişimi	42
Şekil 24.	Değişken zamanlarda (a) ZA-27 için düşük büyütme(80x) (b) ZA-27 için yüksek büyütme(1.00Kx) (c) Bronz İçin Düşük büyütme(60x) (d) Bronz için yüksek büyütme(400x).....	43

Şekil 25.	Değişken disk devirlerinde (a) ZA-27 için düşük büyütme(90x) (b) ZA-27 için yüksek büyütme(1.00Kx) (c) bronz için düşük büyütme(60x) (d) bronz için yüksek büyütme(700x)	44
Şekil 26.	Değişken yüklerde (a) ZA-27 için düşük büyütme (80x) (b) ZA-27 için yüksek büyütme(1.00 Kx) (c) bronz için düşük büyütme (60x) (d) bronz için yüksek büyütme(1.00Kx).....	45
Şekil 27.	Değişken SiC tane boyutlarında (a) ZA-27 için düşük büyütme(80x) (b) ZA-27 için yüksek büyütme(1.00Kx) (c) bronz için düşük büyütme(60x) (d) bronz için yüksek büyütme(700x)	46
Şekil 28.	Değişken %SiC miktarlarında (a) ZA-27 için düşük büyütme(49x) (b) ZA-27 için yüksek büyütme(200x) (c) bronz için düşük büyütme(50x) (d) bronz için yüksek büyütme(500x)	47
Şekil 29.	2 no'lu bronz numunede (a)SEM'de 500x görüntüsü ve (b) bu büyütmedeki nokta analiz sonuçları.....	47
Şekil 30.	8 no'lu ZA-27 numunede (a) SEM de 80x büyütme ve (b) bu büyütmedeki nokta analiz sonuçları.....	48

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri	7
Tablo 2.	Çinko-alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri	8
Tablo 3.	ZAMAK alaşımlarının kimyasal bileşim oranları(ağırlıkça %)	8
Tablo 4.	Çinko-alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşim oranları(ağırlıkça %)	9
Tablo 5.	Çinko-alüminyum alaşımlarının türlerine göre özellikleri	11
Tablo 6.	ZA-27 alaşımının frezeleme işlemi sonrası 3 ayrı numunede ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri	25
Tablo 7.	ZA-27 alaşımının zımparalama ve parlatma sonrası 3 ayrı numunede ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri	25
Tablo 8.	ZA-27 Alaşımı numunelerinin değişik zaman, yük, disk dönme hızı, SiC tane boyutu ve % SiC oranlarında elde edilen deney sonuçları.....	32
Tablo 9.	Bronz numunelerinin değişik zaman, yük disk dönme hızı SiC tane boyutu ve SiC miktarlarında elde edilen deney sonuçları	34

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüz dünyasında, insanların ihtiyaçları teknolojinin gelişimi ile paralel olarak artmakta ve hatta teknolojik gelişmelere zemin hazırlamaktadır. Bu ihtiyaçlardan biri de sanayinin temel girdisi olan malzeme üretimidir. Malzeme bilimindeki gelişme hızla devam etmektedir. Son zamanlarda çinko endüstrisindeki en önemli gelişme Zn-Al alaşımları yani zamak olarak bilinen ve yüksek Zn içerikli yeni bir seri alaşım geliştirilmesi olmuştur. Zamak; çinko, alüminyum, bakır ve magnezyumdan meydana gelen temel alaşımların adı olarak kullanılır. Çok yönlü bir malzeme olarak, parça dökümündeki üretim kolaylığı ile maliyetleri de düşürmektedir[1]. Zamak malzemenin, yüksek aşınma mukavemeti ve basınçlı döküm kalıbında çok karmaşık parçaların imalinde, hiç talaşlı işleme gerek kalmaksızın kalıplanabilme gibi özellikleri de bulunmaktadır. Günümüzde bu alaşımlar iyi dökülebilirlikleri, yüksek mukavemet ve iyi aşınma özellikleri ile birçok alanda Al, Pirinç, Bronz ve bazı dökme demir gibi konvansiyonel alaşımların uygulama alanlarında rakip malzeme olmaktadır. Zn alaşımlarının mekanik özellikleri pek çok uygulama için yetersiz kalmaktadır. Alaşım elementi olarak katılan Al bu alaşımların mekanik özelliklerinden başka, döküm özelliklerini de önemli ölçüde iyileştirmektedir. Yapılan araştırmalar; Cu, Mg, Mn, Si gibi alaşım elementi katkılarının Zn-Al alaşımlarının mukavemetini arttırdığını göstermektedir. Üretim kolaylığından dolayı zamak malzemenin sektördeki kullanım yerlerinin artması, farklı ürünler için yeni hammadde alternatifi olarak kullanılabilmesi sektörel olarak üretim maliyetlerini ucuzlatacak ve malzemenin pazar payını arttıracaktır. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan günümüzde en yaygın kullanıma sahip olan alaşımlar ZA-3 ve ZA-5 alaşımlarıdır. Bu malzemeler endüstride birçok yerde kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisi başta olmak üzere, ev eşyaları endüstrisi, hırdavat, büro makineleri, elektronik cihazlarda, askeri malzemelerde, otomobil radyatörleri, radyo ızgaraları, karbüratör, yakıt pompası v.b. parça imalinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çinko endüstrisindeki en önemli gelişme, yüksek alüminyum içerikli ve ZA alaşımı olarak tanınan bir dizi yeni alaşımın günümüzde geliştirilmiş olmasıdır. Bu alaşımlar günümüzde ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 olarak standartlaştırmışlardır. Özellikle Al oranı arttıkça ikili Zn-Al alaşımlarının mekanik özellikleri iyileşmektedir. Az miktarlardaki Mg

katkılarında da benzer etkiler görülmektedir. Öte yandan Pb, Sn ve Cd gibi kalıntı elementler, bu alaşımların taneler arası korozyon direncini düşürmektedir.

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.

1.2. Zamak Alaşımları

Ülkemizde en çok tanınan ve geniş bir kullanım alanına sahip olan çinko-alüminyum alaşımları, “zamak” alaşımları olarak bilinen No. 3 (Zn- % 4Al - % 0.05 Mg) ve No. 5 (Zn - % 4Al - % 1Cu - % 0.05 Mg) alaşımlarıdır. Zamak bir metal alaşımdır ve ana bileşenlerini çinko, alüminyum, magnezyum ve bakır oluşturur. Bu metaller değişik zamaklarda değişik oranlarda bulunur. Zamak 3- Zamak 5 gibi değişik sertlikte alaşımlarında bu maddeler değişik oranlarda bulunur.

The New Jersey Zinc Company tarafından 1920'lerde bulunan Zamak, Almanca çinko (Zink), alüminyum (Aluminium), magnezyum (Magnesium) ve bakırın (Kupfer) baş harflerinden oluşturulmuş bir isimdir. Son derece sağlam kopmaya, esnemeye, kırılmaya dayanıklı bir alaşımdır. Dünyanın pek çok ülkesinde üretilir. Türkiye'de pek çok üreticisi vardır. Hindistan ve Çin'de çok fazla üretilir ve satılır. İlk zamanlarda kokil ve kum kalıp uygulamaları için düşünölmelerine rağmen, daha sonraki çalışmalar sonucu, ZA alaşımlarının hemen hemen bilinen bütün döküm yöntemleri ile başarılı bir şekilde üretilbileceği gösterilmiştir. Bunlar arasında ekonomik ve seri üretim ile kompleks şekilli parça üretimine imkan sağlayan basınçlı döküm yöntemi giderek daha artan bir oranda tercih edilmektedir. Ayrıca bu yöntemin alaşımların mekanik özelliklerini de önemli ölçüde iyileştirdiği gösterilmiştir. Son yıllarda yapılan ayrıntılı çalışmalar ile bu alaşımların oda ve yüksek sıcaklık mekanik özellikleri ve mikro yapıları ile ilgili önemli veriler elde edilmiştir. Fakat halen mikro yapı-mekanik özellik ilişkilerinin tam ve sağlıklı bir şekilde tanımlanması gerçekleştirilememiştir. Bazı ülkelerde MAZAK adıyla tanınır. Bu alaşımların çinko alüminyum ikili denge sisteminde ötektik altı bir bileşimde, düşük ergime sıcaklığı ve katılama aralığına sahip olmaları, ideal bir sıcak-basınçlı döküm

işlemlerle çok ekonomik ve yüksek üretim hızları ile hassas şekilli parçaların üretilmesine imkân vermektedir

1.3. Çinko-Alüminyum Alaşımının Tarihi Gelişimi

Çinko ile alüminyumun, bakır ile diğer metallerin alaşımlanması, çinko özelliklerinin geliştirilmesi bu yüzyılın başında başlamıştır. Geliştirilen il alaşımlarda mukavemet kaybı ve şekil değişimleri vardı. Bu sorunların interkristalin korozyon ve aşırı yaşlanma dan kaynaklandığı bulundu.

Yüksek saflıktaki çinko alaşımlarının avantajlarından faydalanmak New Jersey Zinc firmasının piyasaya tanıttığı zamak 3 ve 5 alaşımlarıyla 1430 lu yıllarda başlamıştır. Düzgünce alaşımlanıp, dökülüp uygulandığında güvenilir özelliklere sahip son derece yararlı bir mühendislik malzemesi sağlandı. Çok iyi dökülebilirlik, sonlandırma işlemleri ve düşük maliyetleri nedeniyle döküm endüstrisinde bir temel taşı olmuşlardır[1].

2. Dünya Savaşı ve öncesinde Almanya bakır sıkıntısı çekmişti, bu yüzden sanayiciler bakır ve alaşımları yerine çinko bazlı alaşımlar kullandı. Alaşım geliştirildikçe bronz kaplamalı malzemelerin yerine kullanılmaya başlandı. Bazıları çinko ve %10-30 alüminyum ile üretilen alaşımlar bronz rakip olup isimleri beyaz bronz olarak anılmaya başlandı. Savaştan sonra çoğu beyaz bronz uygulamaları geleneksel bronz döndü. Ancak bazı firmalar yüksek alüminyumlu çinko alaşımlarını geliştirmeye devam etti[16].

1960 lı yılların sonunda Uluslar arası Kurşun Çinko Araştırma Kurumu (ILZRO) tarafından desteklenen bir araştırma programı sonucunda %12 Al içeren yeni bir çinko alaşımı, basınçsız döküm yöntemiyle üretilerek geliştirildi. Bu alaşım önce ILZRO-12 sonra ZA-12 olarak adlandırıldı. Bunu izleyen yıllarda, Noranda araştırma merkezi ve St. Joe Minerals Corporation firmaları tarafından yürütülen araştırma çalışmaları sonucunda ticari adları sırası ile ZA-8 ve ZA-27 olan çinko-alüminyum alaşımları geliştirildi. Aynı yıllarda, Voest Alpine AG of Linz adlı Avusturya firması tarafından Alzen olarak adlandırılan Zn-Al-Cu alaşımları geliştirildi. Günümüzde Alzen, Kayem ve Main Metal adları altında üretilen çinko-alüminyum esaslı alaşımlar Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır[16].

1.4. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Geleneksel Döküm Alaşımlarıyla Karşılaştırılması

Çinko-Alüminyum döküm alaşımlarının çokça kullanılan geleneksel döküm alaşımlarından bazı yönlerde daha avantajlıdır. Örneğin;

Dökme demirle karşılaştırıldığında; alaşımlar daha iyi işlenebilirliğe sahiptir, az hatayla döküm yapılabilir ve üstün ham döküm yüzey bitirmeye sahiptirler. Alaşımlar genellikle kısa üretim koşullarına daha uygundur. Bu avantajlar birçok uygulamada düşük üretim maliyetine de sahiptir.

Alüminyum ile karşılaştırıldığında; çinko alaşımları daha sert ve mukavemetlidir, daha iyi işlenebilir, üstün basınç sıklığına sahiptir ve büyük oranda daha iyi aşınma ve kaplama özellikleri gösterir. ZA 8 ve 12 alaşımları kıvılcım yaratmayan malzemelerdir.

Bakır ile karşılaştırıldığında; çinko-alüminyum alaşımları bakırdan çok daha ucuz bir malzemedir. Alaşım daha iyi döküm mukavemeti ve sertliği verir ve eşdeğer(veya daha iyi) işlenebilirliğe sahiptir[16].

1.5. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Endüstriyel Uygulamaları ve Döküm Avantajları

Ticari önemi gittikçe artan çinko-alüminyum esaslı yatak alaşımları ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları, yoğun bir biçimde devam etmektedir. Bu alaşımlar beyaz metal, bronz, pirinç, dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerine göre pek çok üstünlüklere sahiptir. Bunların başında; çinko-alüminyum esaslı alaşımların aşınma direncinin yüksek olması, alaşım elementlerinin kolaylıkla ve ucuza temin edilebilmesi, iyi döküm ve ısı işlem özelliklerine sahip olması gelmektedir.

Çinko-alüminyum döküm alaşımlarının Ekonomik karlılık ve doğal özellikleri ile hızla büyüyen endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır[18]. Bunların bazıları:

- Küresel yataklar ve aşınma plakaları
- Elektriksel anahtarlama sistemleri ve donanım
- Ateş dayanımlı donanımlar(yakıt tankları vs.)
- Pinomatik ve hidrolik silindir bileşenleri

- Endüstriyel makine donanımı
- Elektriksel iletim hattı elemanları
- Kapı donanımı ve kilit bileşenleri
- Makara ve çıkırıklar
- Kıvılcımlanmayan mayın donanımı
- Dekoratif donanımlar
- Elektronik aygıt taşıyıcıları, donanımları ve kaplamaları

Çinko-alüminyum alaşımlarının döküm avantajları;

- Düşük ergitme maliyeti
- Daha uzun döküm ekipman ömrü
- Temiz döküm çevresi
- Mükemmel kalıp doldurma özellikleri
- Daha az hatalı döküm
- Az ergitme kayıpları
- Yüksek sertlik
- İyi işlenebilirlik
- Çok iyi basınçlı sıkıştırma
- İyi kaplama ve aşınma özellikleri
- İnce kesitlerin kolaylıkla dökülebilmesi
- Geniş döküm metodu seçimi 'dir.

1.6. Çinko Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri

1.6.1. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri

Çinko-Alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin birçok uygulama için yetersiz olduğu bilinmektedir. Yapılan araştırmalar bakır, magnezyum ve silisyum gibi element katkılarının, ikili çinko-alüminyum alaşımlarının mukavemet değerlerini arttırdığını göstermiştir. Özellikle bakır katkısı, ikili alaşımların mukavemet, korozyon ve

aşınma dayanımlarını büyük ölçüde arttırmaktadır. Ancak, %2 oranının üzerindeki bakır katkılarının alaşımların mukavemet değerlerini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca bakır katkısı arttıkça üçlü alaşımlarda meydana gelen hacimsel büyüme oranının da arttığı bilinmektedir.

Çinko-alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklıklarının düşük ve katılaşma aralıklarının oldukça geniş olması, içyapıda gözeneklerin(mikro boşluk) oluşmasına neden olmaktadır. Katılaşma sırasında içyapıda oluşan gözeneklerin alaşımların mukavemet değerlerini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Bu nedenle, dökümden önce katılaşmayı etkileyen bütün faktörlerin (döküm sıcaklığı, kokil sıcaklığı, soğuma hızı, kokil biçimi ve boyutları, besleyiciler, çıkıcılar ve yolluklandırma sistemi) kontrol edilerek, gözenek oluşumunun önlenmesi ya da en aza indirilmesi gerekmektedir.

Çinko-Alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklığının düşük olması, döküm maliyeti açısından önemli bir avantaj olmakla beraber, bu durum sözü edilen alaşımları sıcaklığa duyarlı hale getirmektedir. Sıcaklık arttıkça söz konusu alaşımların sertlik ve mukavemet değerleri önemli ölçüde düşerken, süneklilik değeri artmaktadır. Bu nedenle ticari ZA-27 alaşımını 120 °C 'lik sıcaklığın, ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarının ise 90 °C 'nin altındaki sıcaklıklarda kullanılması tavsiye edilmektedir.

Tablo 1. Çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri

Çinko-alüminyum Alaşımları	#3	#5	#7	#2	ZA-8	ZA-12	ZA-27
Maksimum çekme dayanımı: (MPa)	283	328	283	359	374	400	421
Akma Dayanımı - 0,2% ötelemeli: (MPa)	221	269	221	283	290	317	379
% Uzama: 2" te	10	7	13	7	6-10	4-7	1-3
Kayma dayanımı : (MPa)	214	262	214	317	275	296	325
Sertlik: Brinell	82	91	80	100	95-110	95-115	105-125
Çarpma dayanımı: (J)	58	65	58	48	42	29	5
Yorulma dayanımı- - 5x10⁸ çevrim: (MPa)	48	57	47	59	103	117	145
Basmada Akma dayanımı (MPa)	414	600	414	641	252	269	385
Elastiklik modülü -(MPa x 10³)	85.5	85.5	85.5	85.5	-	-	-
Poisson oranı	0.27	0.27	0.27	0.27	0.29	0.30	0.32

1.6.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri

Çinko-alüminyum alaşımlarının yoğunlukları bronz, pirinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerinin yoğunluklarından daha düşük olup, özgül mukavemetleri bu malzemelerden daha yüksektir. Yoğunlukların düşük olması nedeniyle, ağırlığın önemli olduğu uygulamalarda bu alaşımlar tercih edilmektedir. Alüminyum oranı arttıkça söz konusu alaşımların yoğunlukları azalmakta ve dolayısıyla birim maliyeti düşmektedir. Çinko-alüminyum alaşımlarının ısı iletkenlik, genleşme ve elektriksel iletkenlik katsayıları, alüminyum alaşımları dışındaki geleneksel döküm alaşımlarına göre daha yüksek olup, bu katsayılar artan alüminyum oranı ile doğrusal olarak artmaktadır. Üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarında, katılaşma sırasında oluşan meta stabil fazların, yaşlandırma sırasında kararlı fazlara dönüşmesi sonucunda hacimsel büyüme meydana

Tablo 4. Çinko-alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşim oranları(ağırlıkça %)

	ZA-8		ZA-12		ZA-27	
	İngot	Döküm	İngot	Döküm	İngot	Döküm
Al	8.2-8.8	8.0-8.8	10.8-11.5	10.5-11.5	25.5-28.0	25.0-28.0
Mg	.02-.03	.015-.030	.02-.03	.015-.030	.012-.020	.010-.020
Cu	0.9-1.3	.8-1.3	0.5-1.2	0.5-1.2	2.0-2.5	2.0-2.5
Fe (max)	.035	.075	.05	.075	.07	.075
Pb (max)	.005	.006	.005	.006	.005	.006
Cd (max)	.005	.006	.005	.006	.005	.006
Sn (max)	.002	.003	.002	.003	.002	.003
Ni	-	-	-	-	-	-
Zn	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

1.7. Alaşım Elementlerinin ZA Alaşımlarına Etkileri

Çinko alaşımlarının içindeki alaşım elementlerinin miktar ve saflıklarının önemi çok büyüktür. Oranlardaki sapmalar mukavemet ve korozyon özelliklerini olumsuz etkiler yüzey kalitesini ve dökülebilirlik özelliğini kötüleştirir.

1.7.1. Alüminyum

Alaşımın mukavemetini arttırmak, tane boyutunu küçültmek için eklenir. Ayrıca alüminyum akışkanlık sağladığından döküm kabiliyetini artırır. Ergiyik metalle temasta olan demir veya çelik, kalıp ve döküm aletlerinin aşınmasını azaltır. **Z 3** ve **Z 5**, % 4 civarında alüminyum içermektedir. % 3.5 den daha düşük alüminyum içeren alaşımların dökümü için daha yüksek sıcaklıklara çıkılması gerekir. Yüksek sıcaklıkların sonucunda kalıp ve döküm ekipmanlarına verilen zarar artar. Ayrıca dökülen parçanın boyutsal hassasiyeti azalır ve mukavemeti düşer. Alüminyum yüzdesi % 4.3' ün yukarısına

çıkıldıkça parçanın darbe dayanıcı düşer. Çinko – Alüminyum alaşımının tektik formu % 5 Alüminyum civarındadır. Bu formda alaşım çok kırılmandır.

1.7.2. Magnezyum

Alaşımındaki magnezyum miktarı çok hassas şekilde sınırlar arasında tutulmalıdır. Magnezyumun alaşımındaki temel görevi, alaşımın içinde bulunan ve saflığı bozan istenmeyen elemanlardan dolayı oluşabilecek intergranüler korozyonu azaltmaktır. Sınırların dışında fazla miktarda magnezyum metalin akışkanlığını azaltır. Çekme yüzdesini düşürür, kalıp içinden çıkarken parçanın kırılmasına sebep olur.

1.7.3. Bakır

Magnezyum gibi saflığı bozan istenmeyen elemanlardan dolayı oluşturulabilecek negatif etkileri azaltır. Az bir miktarı bile sertlik ve dayanıcı arttırır. Miktarı % 1.2' nin üzerine çıkarsa parçanın döküm esnasındaki boyutsal hassaslığı azalır.

Z 5' in alt limitlerinde (% 0,6 civarı) çekme mukavemeti ve sertlik yüksek değerlere çıkar. Üst limiti civarında (% 1.25) parçalar dökümden sonra oda sıcaklığında “ aging ” değişimleri gösterirler.

1.7.4. Kurşun, Kalay ve Kadmiyum

Alaşımında istenmeyen metallendir. Sınırları Tablo 1 de verilmiştir. Bu metaller döküm parçasında kabarma çarpılma ve çatlaklara neden olurlar. Bu etkiler parça üretildikten 1 yıl sonra dahi ortaya çıkabilir. Yüksek miktarlarda parçada tane sınırlarında korozyona neden olurlar.

1.7.5. Demir

Alaşım içinde % 0.05 den çok olmadığı sürece demirin büyük bir zararına rastlanmaz. Ancak alüminyumla birleşerek sert bölgecikler oluşturur. Bu ise polisaj esnasında yüzeyin pürüzlenmesine neden olarak yüzey kalitesini bozar.

1.7.6. Nikel, Krom, Manganez ve Silisyum

Alaşımında istenmeyen metallerdir. Sınırları Tablo 1 de verilmiştir. Sınırların dışına çıktığında alüminyumla intermetalik hafif bir alaşım yaparlar. Bu ergiyik metalin üzerinde bir tabaka halinde yüzer ve alüminyum kaybına neden olur.

1.8. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Türlerine Göre Özellikleri

Tablo 5. Çinko-alüminyum alaşımlarının türlerine göre özellikleri

Alaşım	Açıklama
#3	Basınçlı çinko dökümü göz önüne alındığında no:3 alaşımı genellikle ilk seçenektir. Alaşım en genel amaçlı çinko alaşımıdır. Düşük sertliği ve darbe dayancısı ile mukavemetten ziyade işlevin önemli olduğu parçalarda kullanılır. Yüzey işlemlerinden özellikle boyama işlemine uygundur.
#5	No. 5 döküm alaşımları no.3 alaşımlarından daha mukavemetli ve serttir. Ancak , bu gelişimler bazı prosesleri etkileyecek(bükme, perçinleme, presleme vs.) esneklikte azalmaya neden olur No. 5 bu özellik değişimlerine neden olan %1 bakır içerir. Alaşım Avrupa da genellikle çok iyi döküm özellikleri gösteren(geliştirilmiş sürünme performansı gibi) basınçlı dökümle üretilir. Mukavemetin, aşınma dayanımının ve sertliğin gerekli olduğu parçalarda kullanılır. Kaplama kabiliyeti Z 3 ve Z 7 ye göre daha iyidir. Özellikle aksesuar ve otomotiv sektörünün parçalarında kullanılır.
#7	Akışkanlığı artırma amacıyla daha az Mg ilavesiyle #3 ün geliştirilmiş halidir.

Tablo 5'in devamı

	<p>Taneler arası korozyonu engellemek için az miktarda Ni ile birlikte kirlilik yaratılır. #7 diğer özellikleri #3 ile aynı olmasına rağmen akışkanlığı #3 den daha iyidir. Bu yüzden alaşım ince cidarlı malzeme üretiminde popülerdir. Basınçlı döküm parametrelerinin hassas kontrolü istenmeyen etkenleri önlemek ve istenilen kaliteyi sağlamak amacıyla çok önemlidir.</p>
#2	<p>Basınçlı döküm için, No. 2 ZAMAK ailesinde en yüksek sertlik ve mukavemet değerini verir. Ancak, içindeki yüksek bakır oranı uzun süreli aging gibi bazı özelliklerde değişikliğe neden olur. Bu değişiklikler basınçlı döküm ile üretilen ürünler için cüzi boyutsal büyüme, daha az uzama ve darbe performansını içerir.</p>
ZA-8	<p>ZA 8 Alaşımı sürekli döküm ve sıcak kamara enjeksiyon malzemesidir. Çok mükemmel işlenebilirliği ve yüzey kalitesiyle dekoratif parçaların imalatında kullanılır.</p>
ZA-12	<p>ZA 12 Alaşımı genel amaçlı döküm parçalarda kullanılabilir. Kum kalıplarda ve soğuk kamara preslerinde çok iyi sonuçlar elde edilir. Ezilme mukavemeti yüksek olduğu için mükemmel yatak ve dişli çark malzemesidir. Bronz yataklara göre daha dayanıklı ve ucuzdur.</p> <p>Bu sebepler yüzünden ZA 12 mukavemet gerektiren uygulamalarda ZA 27 ile yarışır.</p> <p>ZA-12 çok iyi yatak alaşımı olmasıyla birlikte çok iyi kaplama alaşımıdır da ve ZAMAK a nazaran kaplama adezyonu daha düşüktür.</p>
ZA-27	<p>ZA 27 Alaşımı çok yüksek dayanç ve süreklilik sağlar. En hafif alaşım özelliğiyle çok iyi yataklama ve aşınma direnci gösterir. Genellikle kum dökümde kullanılsa da soğuk kamara metal enjeksiyon preslerinde de uygundur. Yüksek dayanım isteyen dişli çark güç aktarım mekanizmaları gibi parçalarda kullanılır.</p> <p>ZA-27 kaplama amaçlı önerilmez ancak, kaba mukavemet veya aşınma dayanımı özellikleri istendiğinde ZA-27 ispatlanmış olağanüstü performansa sahiptir.</p>

ZA 8, ZA 12, ZA 27 elektrik ekipmanlarının ve el aletleri üretiminde de kullanılmaktadır. Aynı zamanda çarpışma ve darbe esnasında kıvılcım çıkarmadıkları için patlayıcı ve yanıcı gazların kullanıldığı tank ve benzeri gaz armatürlerinde güvenle kullanılabilir. Z 3, Z 5 ve Z 7 den daha mukavim ve serttirler. Manyetik özelliklerinin düşük olması bu alaşımların elektronik endüstrisinde de kullanımını yaygınlaştırmıştır. Çinko alaşımlarının atmosferik şartlardaki korozyona direnci oldukça yüksektir. Korozyon direncini arttıran kaplama, boyama, krom atlama ve fosfatlama işlemi bu alaşımlardan yapılan parçalara uygulanabilir. Aynı zamanda dekoratif amaçlı polisaj ve kaplama işlemlerinde başarıyla bu alaşımlara uygulanabilir.

1.9. Triboloji

Triboloji (İngilizce; *tribology*), sürtünme, aşınma ve yağlama konularını inceleyen bilim ve teknoloji dalıdır. *Triboloji* sözcüğü eski Yunan dilindeki τριβο (tribo) "sürtünme" ile λόγος (logos) "prensipte veya mantık" kelimelerinden türetilmiştir.

1.9.1. Tarihçesi

Tekerleğin icadından önce ağır yükleri silindirik kalaslar üzerinde kaydırarak bir yerden bir yere taşıyan insanlık, bu kalasları ıslatarak sürtünmenin ve aşınmanın önüne geçme konusunda ilk adımları atmıştır. Tekerleğin M.Ö. 3000'li yıllarda Sümerler tarafından keşfiyle beraber insanlık dönel elemanların yataklama ve bu yataklardaki aşınma problemleriyle tanışmış ve bunlara hal çareleri aramaya koyulmuştur.

Ortaçağda İtalyan mimar ve mühendis Leonardo da Vinci (1452-1519), Fransız fizikçiler Amontons (1663-1705) ve Coulomb (1736-1806), mekanik ile ilgili çalışmalarda bulunmuşlardır. Coulomb sürtünme konusunda bugün de geçerliliğini koruyan Kanunu'nu ortaya koymuştur. Sıvı sürtünmesi konusunda Newton (1643-1727), Poiseuille (1799-1869), Hagen (1797-1884), Stokes (1819-1903), Reynolds (1842-1912) araştırmalar yapmışlar ve bugünkü *Triboloji* biliminin temelini atmışlardır.

Son yıllarda Türk mühendis Erdemir'in çalışmaları dünyada yankı uyandırmaktadır[1]. Erdemir, R&D ödülünü daha önce 1991 yılında, borik asidin motor ve

makinelere sürtünme ve aşınma özelliğini bularak, 1998 yılında ise geliştirdiği atom karbon bir film kaplama ile sürtünme katsayısını sıfıra indirerek kazanmıştı. Son olarak nanoteknoloji kullanarak geliştirdiği yapay elmas özelliği taşıyan buluşu ile R&D ödülünü 2003 yılında 3. kez kazandı.

Yapılan araştırmalara ve tutulan istatistiklere göre makine elemanlarının ortalama %70'inin hurdaya ayrılma sebebi aşınmadır. Bunun sonucu olarak meydana gelen malzeme kayıpları, aşınan parçaların yenileriyle değiştirilmesi zorunluluğu, makinelerin bakım-onarım faaliyetleri için harcanan zaman ve emek ve bu faaliyetler için istihdam edilen teknik personel göz önüne alındığında her yıl milli sermayeye oldukça büyük yükler getirmektedir.

Sürtünme sonucu makinelerde ortaya çıkan enerji kaybı ise hesap edilemeyecek boyutlardadır. Bu sebeple makine konstrüksiyonlarında, aşınma ve enerji kaybının önlenmesi için yağlama son derece önemlidir ve üzerinde en hassasiyetle durulması gereken bir konudur.

Her ne kadar Triboloji bilimi, genelde makinelerde oluşan aşınma türleriyle, minimum sürtünmeyle çalışabilecek mühendislik malzemeleri ve konstrüksiyonlarla ve aşınma ve sürtünmeyi en aza indirecek yağlama teknolojileriyle doğrudan ilgili olsa da, özelde günlük yaşamımızda karşılaştığımız pek çok sorunla da dolaylı olarak alakalıdır.

Günlük giydiğimiz elbiselerin yıpranması, bıçakların ve diğer kesici aletlerin körelmesi, toprağın erozyona uğraması, metallerin paslanması (korozyon), asfalt sokak ve yolların aşınmaya uğraması, insanların kaygan bir zeminde dengelerini kaybedip düşmeleri, karlı veya ıslak yollarda arabaların kumandalarını yitirerek kazalara neden olmaları da bu bilim dalının dolaylı olarak alanına giren gündelik sorunlardır.

1.9.2. Triboloji Alanındaki Araştırmalar

Triboloji araştırmaları ve eğitimi üniversitelerin makine mühendisliği ve metalürji bölümlerinde yapılır. Ayrıca birçok sanayi kuruluşları ve araştırma enstitüleri bu konuda kurmuş oldukları (AR-GE) laboratuvarları ile bu konuda incelemeler yapmaktadırlar.

Triboloji alanındaki araştırmalar başlıca üç gruba ayrılır. Bu araştırmalarda genellikle malzemelerin sürtünme katsayısının ve aşınma oranlarının belirlenmesi,

sürtünmeyi ve aşınmayı etkileyen doğal mekanizmaların bulunması (atmosfer, yük miktarı, hız, vb.), sürtünmeyi ve aşınmayı azaltacak malzemelerin veya endüstriyel yağlarının bulunması gibi konuları içerir. Bazı durumlarda sürtünmenin azaltılması değil çoğaltılması da gerekebilir. Örneğin fren ve debriyaj malzemelerinin sürtünme katsayılarının yüksek olması tercih edilir

1.9.3. Sürtünme

Sürtünme teknikte, birbiriyle temasta olan ve birbirine göre izafi hareket yapan ya da yapma eğiliminde olan iki cismin harekete karşı gösterdikleri direnç olarak tarif edilir. İki cisim arasındaki izafi hareketi meydana getirmek isteyen kuvvete karşı, cisimlerin temas yüzeyleri arasında hareketi engelleyen ve sürtünme kuvveti olarak tanımlanan bir karşı kuvvet oluşur. Sürtünme kinematik olarak, *kayma*, *yuvarlanma* ve *kayma ve yuvarlanma* şeklinde olur.

Birbirlerine temas eden yüzeyler arasında izafi hareket yoksa *statik sürtünmeden* söz edilir. İzafi hareket iki cisim yüzeyleri arasında mevcutsa bu durumdaki sürtünmeye *dinamik* veya *kinetik sürtünme* denir. Sürtünme kuvveti sabit değildir ve sürtünme katsayısına bağlıdır ve bu katsayının değişimiyle beraber değişir. Sürtünme katsayısı statik sürtünme durumunda en büyük değerini alır. Dolayısıyla sürtünme kuvveti de izafi hareketin başlangıcından hemen önce en büyük değerini almış olur.

İzafi hareket yapan cisimlerin söz konusu yüzeyleri arasına yağlayıcı bir madde konulup konulmaması açısından sürtünme, kuru sürtünme, sıvı sürtünme ve bu iki sürtünme türü arasında kalan yarı sıvı sürtünme olmak üzere üç durumda incelenir.

1.9.4. Aşınma

Aşınma, birbirine temas eden ve birbirlerine göre izafi hareket yapan *sürtünme* halindeki cisimlerin yüzeylerinde sürtünme etkisiyle oluşan ve istenilmeyen malzeme kaybıdır. Bunun sonucu olarak makine elemanları giderek aşınır ve fonksiyonlarını sıhhatli olarak yerine getiremez hale gelir.

Aşınma, endüstride en çok karşılaşılan sorunlardan bir tanesidir. Genellikle pek tehlikeli olmamakla birlikte güç iletimini zorlaştırdığından çalışma verimini

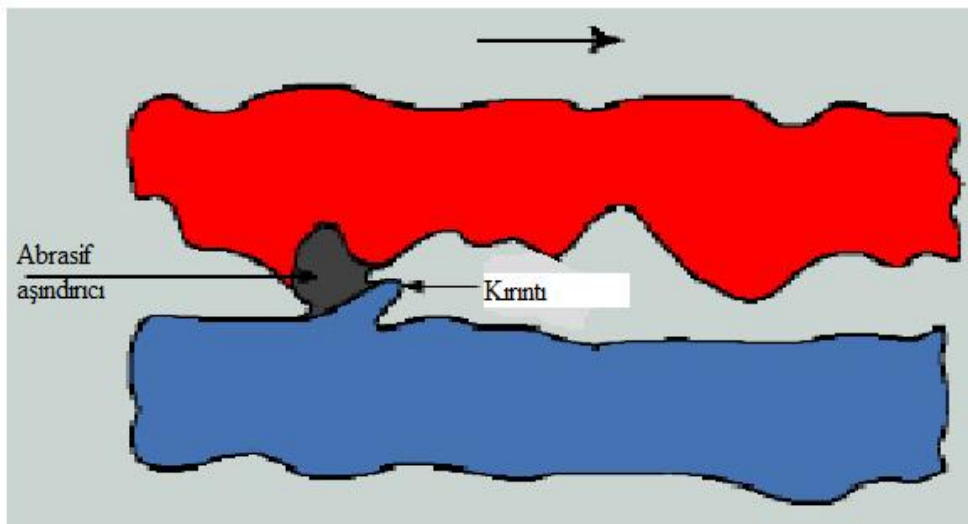
düşürmektedir. Araştırmacılar şuna işaret etmektedirler ki, aşınma direnci, malzemenin yalnızca içyapısına bağlı bir özellik değil aynı zamanda malzemenin maruz kaldığı şartlara da son derece bağlı olmaktadır.

Belli başlı aşınma türleri; adezyon aşınması (yapışma), abrazyon aşınması, yorulma (pitting) ve korozyondur.

1.9.4.1. Abrasif Aşınma

Abrazyon aşınması, birbirine göre izafi hareket yapan iki cisim arasında çevre etkisiyle yabancı sert parçacıkların girmesi ve bu parçacıkların yumuşak yüzeye gömülerek sert yüzeyden sanki eğelercesine veya zımparalarcasına malzeme kaldırmasıyla kendini gösteren bir aşınma türüdür. Sert parçacıklar gömüldükleri yüzeyde de tahribat yaparlar ve yüzeyi hareket yönünde çizerek.

Abrazyonun endüstrisi ileri ülkelerde ulusal üretimin % 1-4 ünü harcadığı tespit edilmiş. Abrazyon; tarım, maden yatakları, mineral işleme, yol yapımı, kaya ve minerallerin taşınması, Kaymalı bir aşınmada abrasif aşınmanın temsili. Yüzeyde boyuna çizikler oluşması genelde abrasif aşınmaya işaret eder.

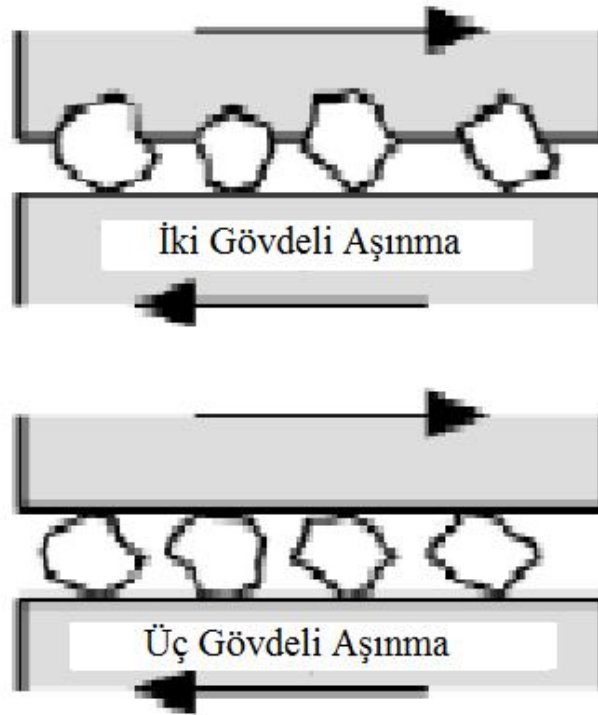


Şekil 1. Abrasif aşınma mekanizması

Abrazyon temas türüne göre sınıflandırılır.

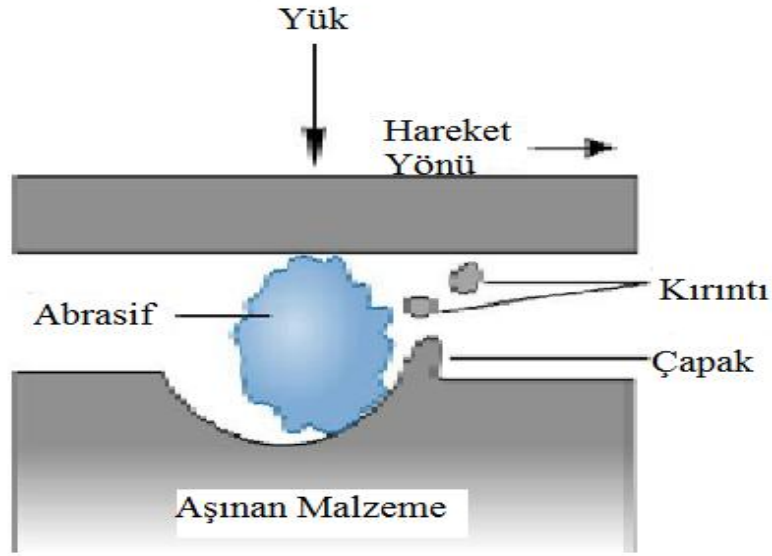
Temas türleri;

- a) İki gövdeli aşınma –Two body abrasion-(Aşındırıcı veya abrasif bir yüzey boyunca kaydığında oluşur)
- b) Üç gövdeli aşınma –Three body abrasion-(Abrazifb iki yüzey arasında hapsedüğünde meydana gelir)



Şekil 2. İki gövdeli ve üç gövdeli aşınma mekanizmaları

Aşınma hızı, önemli ölçüde aşındırıcı partiküllerin yüzeye gömülü olup olmamasına bağlıdır. Partiküller yüzeye gömülürse karşı malzemenin aşınması çok yüksek olur. Aşınma iki gövdeli abrazyonda daha şiddetlidir.

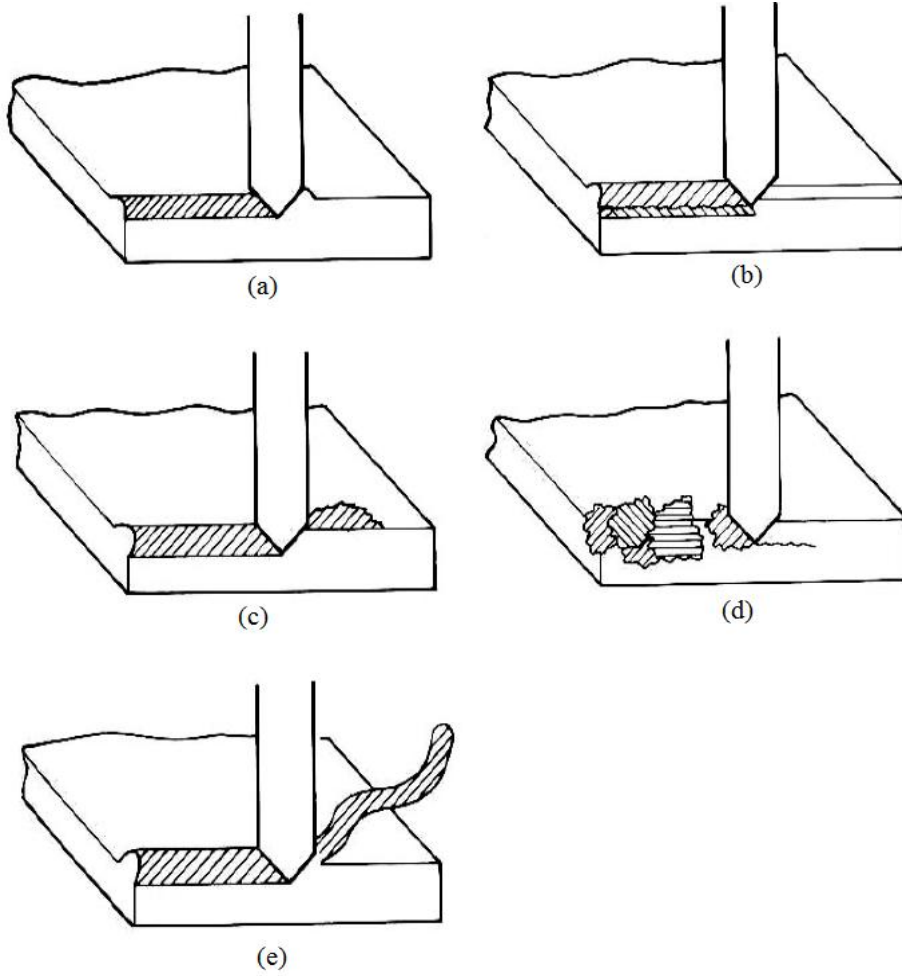


Şekil 3. Abrasif aşındırıcı ve yük altında aşınma mekanizması

Aşınma parçacıkları (debris) veya iki yüzey arasında herhangi bir şekilde dahil olmuş olan partiküller aşınma hızını arttırtırlar

1.9.4.1.1. Abrasif Aşınmada Yüzeiden Malzeme Kaybı

Abrasif aşınmada yüzeiden malzeme kaybı; kırılma, yorulma, kesme ve ergime ile olur. Bazen başka bir mekanizma veya birçok mekanizma birlikte oluşur. Bu mekanizmalardan bazıları pulluklama (Ploughing), mikro yorulma (Microfatigue), takozlama (Wedging), mikro çatlak (Microcracking), kesme (Cutting) 'dir.



Şekil 4. Tek bir abrasif ucun üzerinden geçmesi ile malzemede oluşan aşınma mekanizmaları (a) Pulluklama (b) mikro yorulma (c) takozlama (d) mikro çatlak (e) kesme

Pulluklama: Bir yivden malzemenin kenarına doğru transfer. Hafif yüklerde oluşur. Mikro yorulma: malzeme yüzeyinde oluşan hasarlar dislokasyonları üretir. İlave hasar (aşınmanın devam ettirilmesi) malzemenin mikro çatlak yorulmasına yol açar.

Takozlama: Aşındırıcının kesme mukavemeti/aşınan kütlenin kesme mukavemeti = 0.5-1.0 arası. Abrasif ucun önünde takoz şeklinde malzeme transferi oluşur.

Mikro çatlak: Yüzeye çarpan sert partikül veya iki yüzey arasında yüksek gerilme konsantrasyonlu bölgelerin çatlak oluşarak kopması

Kesme: Şiddetli aşınmadır. Abrasif uç talaşlar halinde malzemeyi yüzeyden transfer eder.

1.9.4.1.2. Abrasif Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Abrasif aşınma direnci aşağıdaki faktörlerin artması ile artar:

- Artan sertlik
- Azalan deformasyon sertleşmesi hızı(Deformasyon kabiliyetinin düşmesi)
- Alaşımlama aşınma direncini arttırmak için uygulanabilir.

Yabancı partiküller aşınma direncini arttırabilir: Ana fazdan daha sert, tok, elastik modülü yüksek ve iri boyutlu partiküller aşınma direncini arttırır. Örnek :SiC–Alüminyum

1.9.4.1.3. İlk Kullanılan Çinko Kaplama Alaşımları ve Avantajlarına Örnekler ve Abrasif Aşınma Çalışmaları

Serdar Aslan, Ahmet Türk ve Mehmet Duman'ın 1997 yılında yaptığı çalışmada çinko-alüminyum alaşımında artan oranlarda alüminyum ile alaşımların sertlik değerleri sürekli olarak önemli olarak arttığı tespit edilmiştir. Artan alüminyum oranları alaşımların aşınma dayanımını %8 Al oranına kadar önemli ölçüde artırmış, bu oranın üzerindeki alüminyum ilavelerinin alaşımların aşınma dayanımlarını arttırmada daha az etkili olduğu belirlenmiştir.

Çoğu çalışmada parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışları incelenmiştir. Takviye malzemesi olarak genellikle grafit, Al₂O₃, SiC, TiC, TiB₂, B₄C kullanılmıştır. Surappa ve arkadaşları %5 alümina içeren Al-Si alaşımının aşınma direncinin iyileştiğini belirlemişlerdir. Roy ve arkadaşları SiC, TiC, TiB₂ ve B₄C parçacık takviyeli Al-MMK'lerin kayma aşınma davranışını incelemişler ve takviyesiz alüminyuma göre bu kompozitlerin aşınma oranlarının düşük olduklarını tespit etmişlerdir. Parçacık takviyeli kompozitlerin aşınma davranışında parçacık boyutunun, miktarının ve parçacık/matris ara yüzeyindeki bağın etkili olduğu belirlenmiştir.

B.K. Prasad abrasif aşınmada dış etkenlerin kullanılan malzemedan daha önemli olduğunu ve SiC takviyeli matrisin düşük yüklerde avantajlı olabileceği gibi yüksek yüklerde dezavantajlı olacağını açıklamıştır.

Zülfü Balaban ve Mehmet Kaplan ın yaptığı bi araştırmada ise Si ve Cu katkılı Zn-Al alaşımlarının kuru-kayma aşınma davranışında hem mikro yapı özelliklerinin hem de mekanik özelliklerin önemli derecede etkili olduğu saptanmıştır.

Marczak ve Ciach tarafından, 175 N dan daha düşük yükler altında yapılan aşınma deneyleri sonucunda, üçlü ZnAl38Cu2 alaşımının, CuPb30 bronzundan daha üstün tribolojik davranış sergilediği belirlenmiştir.

Kuru aşınma şartlarında SiC parçacıkların alüminyum matriste olumlu etki sağlamadığı Alpas ve Embury tarafından ortaya konmuş, aynı kompozitin yağlamalı kayma aşınma direncinin ise daha iyi olduğu görölmüştür. Bunun tersine, Hopking ve arkadaşları ile Milliere ve Suery kuru aşınma şartlarında saffil fiberli kompozitlerin çelik bilyeli yataklarda iyi aşınma direnci gösterdiği belirlenmiştir.

Hafriyat traktörlerinde çinko alaşımlı yataklar bronzun yerine konduğunda çalışma ömrü 1800-2000 saatten 5000-7000 saate yükselmiş.

Çinko alaşımı ile bronz yan yana konulup 650 saat çalıştırıldıktan sonra bronz yatak aşınımı 1,18 mm iken çinko alaşımının 0,4 mm'dir. İçinde çelik şaft dönen bronz yatakta aşınma 0,6 mm iken çinko alaşımında 0,5 mm' dir.

2000-ton dövme preste bir şafta çinko alüminyum yataklar diğerine bronz yataklar uygulamıştır. Her ikisi de 6 yıldan fazla çalıştırılmıştır. Süre sonu bronz yataklar tahrip olmuş ve şafta zarar vermiştir ancak çinko alaşımlı yatak bozulmamış ve şafta zarar vermemiştir.

1.10. İlgili Literatürün Özeti ve Çalışmanın Amacı

Son yıllarda alüminyum, bakır ve dökme demire alternatif olarak çinko-alüminyum alaşımları geliştirilmiştir. Bunlar mukavemetli, korozyon ve aşınma direnci iyi, aynı zamanda kolay dökülebilirliğe sahip alaşımlardır. Özellikle ZA adı verilen grup daha iyi mekanik özelliklere sahiptir.

Son yıllarda endüstride önemli uygulama alanı bulan ZA alaşımların yetersiz yağlama şartlarında ve büyük yükler altında iyi aşınma direnci gösterdiği kanıtlanmıştır. Hem serbest hem de basınçlı döküme elverişli %27'ye kadar alüminyum içeren ticari alaşımlar geliştirilmiştir. Bu alaşımlar pek çok uygulamada dökme demir, beyaz metaller

ve bronz gibi geleneksel yatak malzemelerinin yerini almaya başlamıştır [17-20]. Bu alaşımlardan üretilen yataklar iş makineleri, hidrolik sistemler ve kranklar gibi bazı mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır

Araştırmacılar şuna işaret etmektedirler ki, aşınma direnci, malzemenin yalnızca içyapısına bağlı bir özellik değil aynı zamanda malzemenin maruz kaldığı şartlara da son derece bağlı olmaktadır.

Yapılan literatür araştırmasında ZA-27 için deney düzeneğinde yağlayıcıya ilave edilmiş aşındırıcı ile yapılmış deney bulunamamıştır. Ayrıca değişik dış faktörlerde(yük, zaman, devir, SiC tane boyutu ve miktarı) yapılmış olan herhangi bir çalışmaya da rastlanamamıştır.

Bu nedenle, bu tezin amacı; değişik faktörler altında ve yağlayıcıya SiC ilave ederek yapılan aşınma deneyleri ile ZA-27 alaşımının abrazif aşınma direnci bakımından geleneksel yatak malzemelerine alternatif bir malzeme olup olmayacağıının araştırılmasıdır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. ZA-27 Alaşımının ve Aşınma Numunelerinin Hazırlanışı

2.1.1. Kullanılan Malzeme Oranları ve Miktarları

Bu çalışmadaki alaşımların üretiminde %99,99 saflıkta çinko, ticari saflıkta(%99,7) alüminyum, bakır ilavesi için intermetalik bakır-alüminyum ön alaşımı (AlCu50) ve ticari saflıkta Mg aşağıdaki oranlarda hazırlanmıştır.

$ZnAl27Cu2 = \%27 \text{ Al} + \%2,3 \text{ Cu} + \%0.015 \text{ Mg} + \text{geri kalan Zn.}$

Bu bileşim için üretilecek 2500 gr lık alaşıma gereken malzeme miktarları:

AlCu50 → 115 gr (57,5 gr Al + 57,5 gr Cu)

Cu → $2500 \times 0,023 = \underline{57,5 \text{ gr Cu}}$ (bu miktar 115 gr intermetalikten(AlCu50) karşılanmıştır.)

Al → $2500 \times 0,27 = 675 \text{ gr Al} - 57,5 \text{ gr Al}$ (intermetalikten gelen)
 $= \underline{617,5 \text{ gr Al}}$

Mg → $2500 \times 0,00015 = \underline{0,375 \text{ gr Mg}}$

Geri kalan $2500 - (115 + 617,5 + 0,375) = \underline{1767 \text{ gr Zn}}$

2.1.2. Alaşım Dökümü

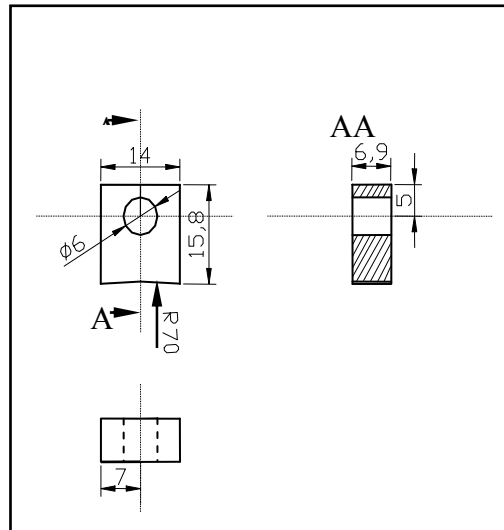
Tartılmış olan alaşım bileşenleri sıcaklık kontrollü devirmeli tip ergitme potası içerisinde sırasıyla Zn, Al, intermetalik(AlCu50) ve Mg eklenerek eritilmiş ve 630 °C sıcaklıktan 17,4x34,3x1,2 cm ebatlı kokil bir kalıba dökülerek katılaştırılmıştır.



Şekil 5. Sıcaklık kontrollü devirmeli tip ergitme potası

2.1.3.Aşınma, Sertlik ve Metalografi Numunelerinin Üretilmesi

Aşınma deney numuneleri dökülüp kalıptan çıkarılmış olan ZA-27 alaşımının freze tezgâhında aşağıda verilen boyutlarda üretilmesiyle elde edilmiştir. Bunun yanında 15x15 mm. boyutlarında sertlik ve metalografi numuneleri talaşlı imalat yöntemi ile üretildi.



Şekil 6. Aşınma numunesi boyutları

2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Herhangi bir karışıklık olmaması için numunelerin sırt kısmı ultrasonik yazıcıyla numaralandırılmıştır.

Aşınma deney numuneleri freze tezgâhlarında ayrı ayrı üretildiği için, yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçmelerinde farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılıklarının Freze tezgâhından çıkan çinko-alüminyum numunelerden 3 ü üzerinde yapılan pürüzlülük testleri sonuçları Şekil 6 'da verilmiştir.

Tablo 6: ZA-27 alaşımının frezeleme işlemi sonrası 3 ayrı numunede ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri

Numune No	Ra
18	2,699
20	3,254
23	5,677

Yüzey pürüzlülüklerindeki farklılıkların giderilmesi amacıyla numunelerin aşınma yüzeyleri 30 sn. 1200 lük zımparayla zımparalandıktan hemen sonra 30 sn. 'de alümina ile silinmiştir. Yapılan testlerde bu işlemler sonucu yüzey pürüzlülükleri tablo 7'de verilmiştir ve ilk yüzey pürüzlülüklerindeki farklılıkların giderildiği incelenmiş ve her numunenin yüzey pürüzlülükleri aynı kabul edilerek deneyler yapılmıştır.

Tablo 7: ZA-27 alaşımının zımparalama ve parlatma sonrası 3 ayrı numunede ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri

Numune No	Ra
18	1,445
20	1,681
23	1,642

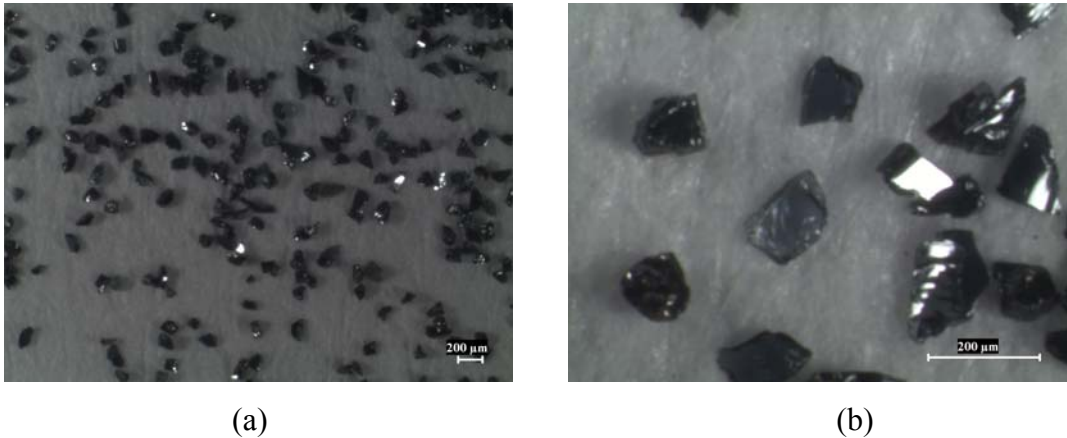
Yapılan deneyde numune deney sonrası düzenekten çıkarıldıktan sonra temiz bir bez ile temizlenip ultrasonik temizleyicide trikloretilen(C_2HCl_3) içinde üzerindeki yağ ve SiC taneciklerinden arındırılmaktadır. Ancak ilk testteki numune daha önceden yağlanmamış

olduğu için yağlanmış numunelerle olan testlerde farklılık göstermemesi amacıyla ilk test öncesi, testte kullanılan motor yağı içinde bekletilip ultrasonik temizleyicide, trikloretilen içinde yağdan temizlenip kurutulmuştur.

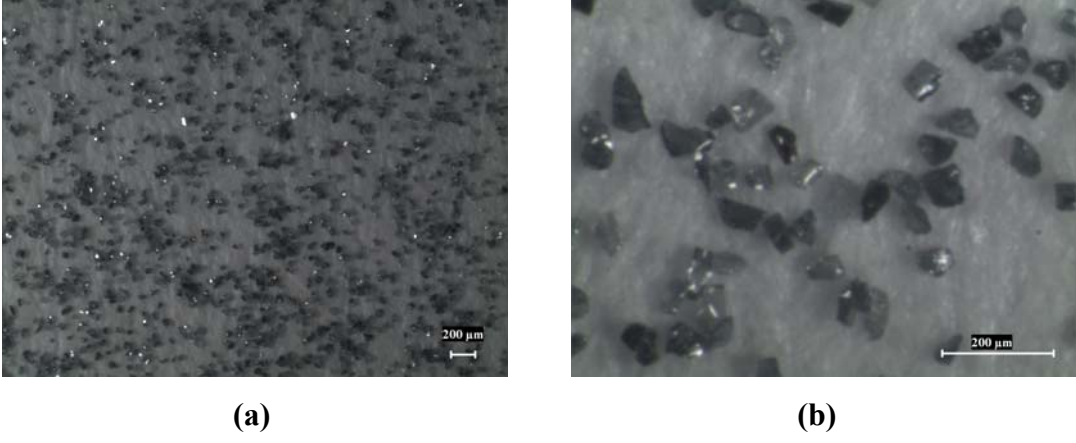
2.3. Aşınma Deney Düzenegi ve Kullanılan SiC

Deneylerde Plint & Partners marka, blok/disk esaslı aşınma deney cihazı kullanılmış olup söz konusu bu sisteme abrazif süspansiyon besleme sistemi eklenmiştir. Aşındırıcı olarak 120, 220, 320 μ tane boyutunda yağla karıştırılmış SiC 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. Yük 30,60,90,120,150 N, aşınma deney süreleri ise 3,6,9,12,15 dk. olarak alınmıştır. Diskin devri 100,200,300,400,500 devir/dk dır. Abrasif süspansiyon içine eklenen SiC taneleri miktarı da değişken olarak ağırlıkça % 3,6,9,12 oranlarındadır.

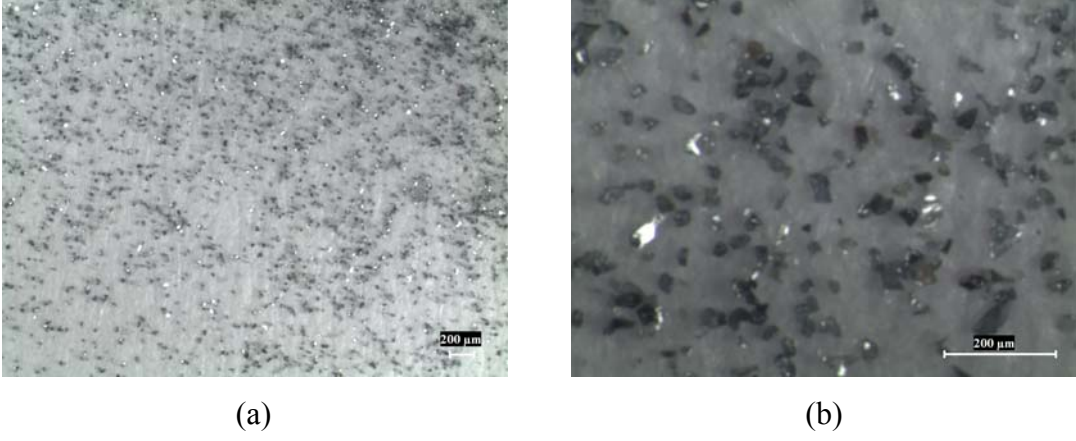
Deneylerde kullanılan değişik tane boyutlarına sahip SiC tozlarının stereo mikroskoptaki farklı büyütmelerdeki görünümüleri aşağıda verilmiştir.



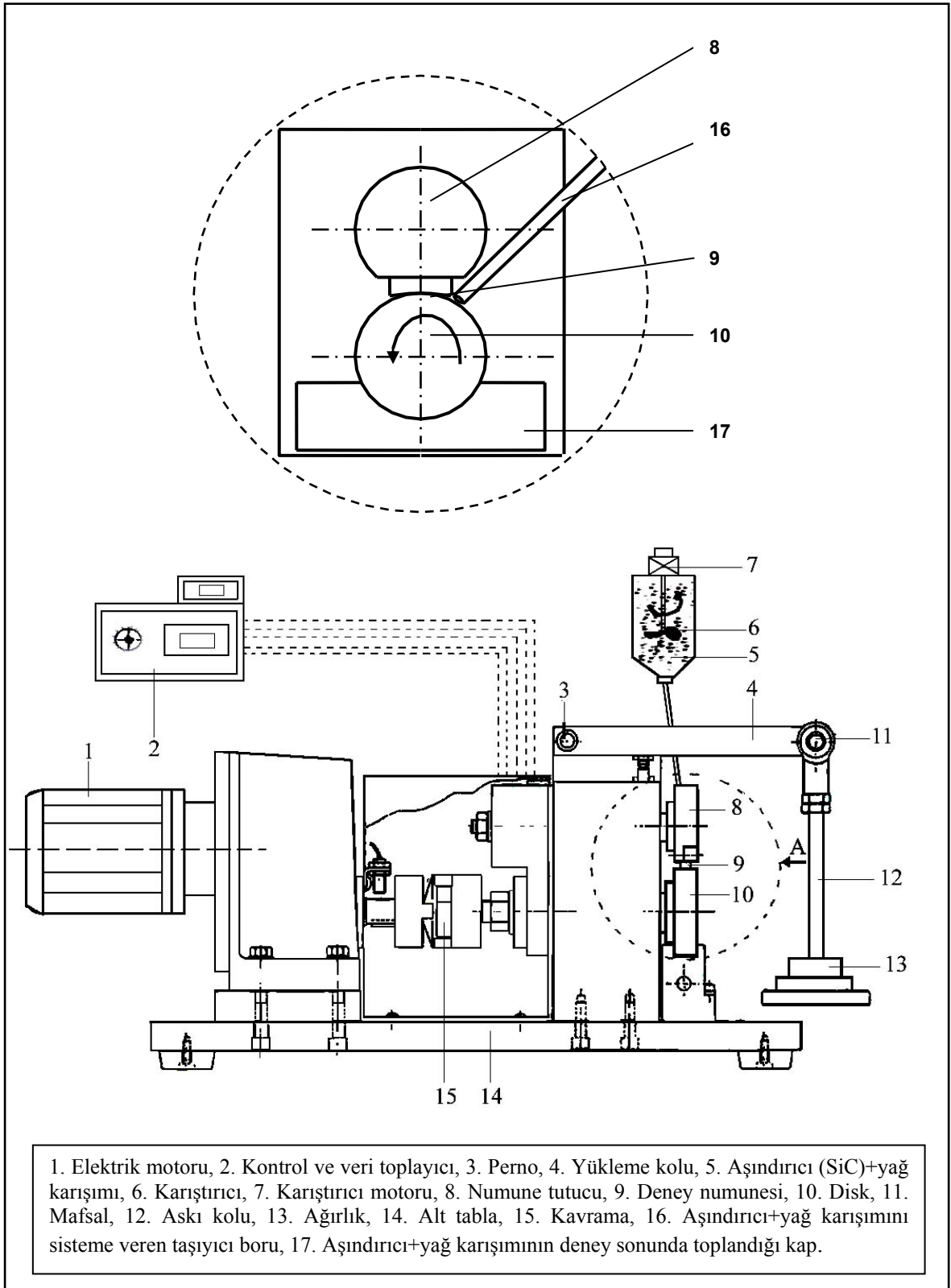
Şekil 7. 120 μ tane boyutundaki SiC'ün (a) 25x (b) 115x görünümüleri



Şekil 8. 220 μ tane boyutundaki SiC'ün (a) 25x (b) 115x görünümüleri



Şekil 9. 320 μ tane boyutundaki SiC'ün (a) 25x (b) 115x görünümüleri



Şekil 10. Aşınma deneş düzeneğinin şematik görünüşü



(a)



(b)



(c)

Şekil 11 : (a) Aşınma deney düzeneği (b) ultrasonik temizleyici (c) aşınma deney numunesi ve diskin yakından görünümü

2.4. Aşınma Deneylerinin Yapılışı

Bu çalışmada numuneler çelik diske karşı yüklenirler. Burada çelik disk dönerken aşındırıcı motoryağı+SiC parçacıkları karışımı numune yüzeyi ve dönen diskin temas yüzeyi bölgesine bir boru vasıtasıyla bırakılır. Numune yüzeyine taşınan aşındırıcı SiC parçacıkları numune yüzeyinde hasara neden olur. Kuvvet dönüştürücüsü yardımıyla programlanabilen bir data (veri) toplayıcı kullanılarak, sürtünme kuvvetinin sürtünme katsayısına çevrilmesi sağlandı ve deney süresince istenen zaman aralıkları seçilerek veriler saklandı. Saklanan veriler deney sonunda veri toplayıcıdan alındı. Bu verilerin ortalaması alınarak ortalama sürtünme katsayısı hesaplandı.

Her deney sonunda numune düzeneğinden çıkarılıp silindikten(yağ+SiC temizlendikten) sonra C_2HCl_3 içine konularak ultrasonik temizleyici içinde 3 dk bekletilmiştir. Bunun amacı mikro gözenek ve çatlaklar içine girmiş olabilecek yağ+SiC ün temizlenmesidir. Daha sonra kurutulup hassas terazide tartılan numunelerin ağırlık kayıpları tespit edildi.

Bronz ve ZA-27 alaşımına ait numuneler aşınma deney düzeneğinde değişik şartlar altında deneye tabi tutulmuşlardır. Her bir deney faktörü için 2 numune kullanılmıştır ve deneyler sonunda bu 2 numuneden elde edilen sonuçların ortalamaları hesaplanmış, sonuçlar grafik haline getirilip karşılaştırılmıştır.

Değişkenler;

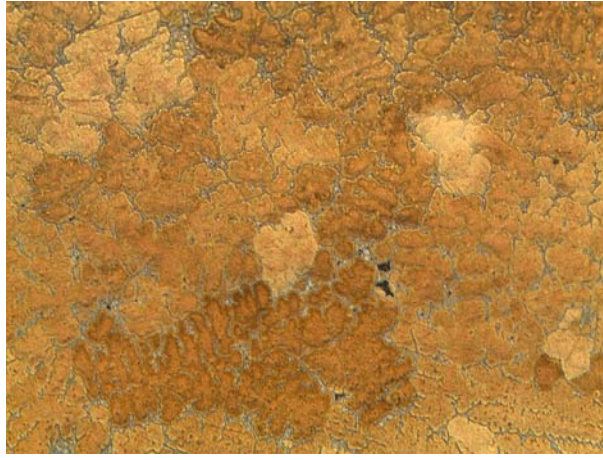
- Diskin dönme hızı (100 devir/dk)
- Yağlayıcı içindeki ağırlıkça % SiC oranı (%10)
- Yağlayıcı içindeki SiC tane boyutu (220 μ)
- Numune üzerine uygulanan yük(60 N)
- Deney süresi 'dir. (3 dk)

Deney faktörleri her deney için değiştirilmiştir. Değişen faktörler dışındaki deney şartları yukarıda verildiği gibidir.

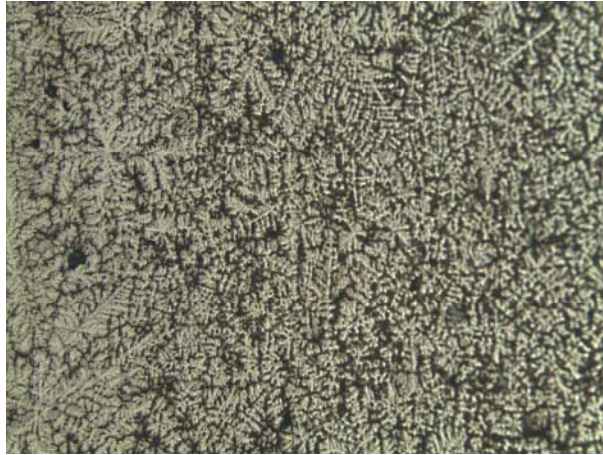
3. BULGULAR

3.1. Alaşımların İçyapıları ve Sertlik Değerleri

Şekil 12’de bronz numunenin ve Şekil 13’de ZA-27 alaşımının ışık mikroskobundan alınmıŐ ıyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 12. Bronz numunenin ışık mikroskobunda 100x görüntüsü



Şekil 13. ZA-27 alaşımının ışık mikroskobunda 100x görüntüsü

Bronz ve ZA-27 alaşımının sertlik değerleri aşağıda denklemi verilmiş olan Brinell sertlik deneyi ile hesaplanmıştır. Her bir sertlik deneyi için 3 lum yapılmış olup bunların ortalamaları alınmıştır.

ZA-27 için $P = 31,2$ kg, $D = 2,5$, $d = 0,54$, $\pi = 3,14$ değerlerinde

$$BHN = 134,62 \text{ HB}$$

Bronz için $P = 31,2$ kg $D = 2,5$, $d = 0,57$, $\pi = 3,14$ değerlerinde

$$BHN = 120,65 \text{ hb}$$

3.2. ZA-27 Alaşımı Aşınma Deneyleri

ZA-27 alaşımı için yapılmış olan bütün deney sonuçları tablo da verilmiştir.

Tablo 8: ZA-27 Alaşımı numunelerinin değişik zaman, yük, disk dönme hızı, SiC tane boyutu ve % SiC oranlarında elde edilen deney sonuçları

		Değişkenler								
	Numune no:	Mi (gr)	Yük (N)	Devir d/dk	%SiC	Tane Boyutu (μ)	Süre (dk)	Ms (gr)	Mi-Ms (mg)	Sürtünme kuvveti F_s (ort)
Deney Süresi	1 no'lu numune	6,1030	60	100	10	220	3	6,0962	6,8	4,916
			60	100	10	220	6	6,0913	11,7	4,804
			60	100	10	220	9	6,0803	22,7	4,501
			60	100	10	220	12	6,0627	40,3	4,782
			60	100	10	220	15	6,0522	50,8	4,930

Tablo 8'in devamı

	2 no'lu numune	6,2223	60	100	10	220	3	6,2202	2,1	5,224
			60	100	10	220	6	6,2146	7,7	5,450
			60	100	10	220	9	6,2085	13,8	5,855
			60	100	10	220	12	6,2040	18,3	6,855
			60	100	10	220	15	6,2017	20,6	7,031
Değişken Disk Deviri	3 no'lu numune	6,0298	60	100	10	220	3	6,0273	2,5	5,679
			60	200	10	220	6	6,0182	11,6	4,947
			60	300	10	220	9	6,0143	15,5	5,625
			60	400	10	220	12	5,9989	30,9	5,247
			60	500	10	220	15	5,9752	54,6	5,273
	4 no'lu numune	6,2305	60	100	10	220	3	6,2269	3,6	5,739
			60	200	10	220	6	6,2202	10,3	4,109
			60	300	10	220	9	6,2095	21	5,669
			60	400	10	220	12	6,1680	62,5	5,351
			60	500	10	220	15	6,1558	74,7	3,316
Değişken Yük	5 no'lu numune	6,1330	30	100	10	220	3	6,1239	9,1	3,448
			60	100	10	220	6	6,1159	17,1	4,219
			90	100	10	220	9	6,1042	28,8	5,131
			120	100	10	220	12	6,0972	35,8	6,029
			150	100	10	220	15	6,0932	39,8	9,502
	6 no'lu numune	5,7583	30	100	10	220	3	5,7498	8,5	4,629
			60	100	10	220	6	5,7431	15,2	4,329
			90	100	10	220	9	5,7381	20,2	6,753
			120	100	10	220	12	5,7317	26,6	5,686
			150	100	10	220	15	5,7268	31,5	9,022
Değişken SiC tane boyutu	7 no'lu numune	5,9359	60	100	10	320	3	5,9320	3,9	5,062
			60	100	10	220	6	5,9249	11	5,541
			60	100	10	120	9	5,9170	18,9	4,286
	8 no'lu numune	6,1414	60	100	10	320	3	6,1366	4,8	4,689
			60	100	10	220	6	6,1256	15,8	4,133

Tablo 8'in devamı

			60	100	10	120	9	6,1193	22,1	4,684
Değişken %SiC(yağlayıcıdaki)	9 no'lu numune	6,2198	60	100	3	220	3	6,2162	3,6	5,974
			60	100	6	220	6	6,2152	4,6	5,311
			60	100	9	220	9	6,2109	8,9	7,165
			60	100	12	220	12	6,1986	21,2	5,158
	10 no'lu numune	5,9442	60	100	3	220	3	6,1023	0,8	2,505
			60	100	6	220	6	6,0958	2	3,640
			60	100	9	220	9	6,0821	6,5	6,151
			60	100	12	220	12	6,0763	22	5,224

Mi: Aşınma deneyi öncesi ağırlık

Ms: Aşınma deneyi sonrası ağırlık

3.3.Bronz Numuneler İçin Aşınma Deneyleri

ZA-27 alaşımı için yapılmış olan bütün deney sonuçları tablo da verilmiştir.

Tablo 9: Bronz numunelerinin değişik zaman, yük, disk dönme hızı, SiC tane boyutu ve SiC miktarlarında elde edilen deney sonuçları

	Numune no:	Mi (gr)	Değişkenler					Ms (gr)	Mi-Ms (mg)	Fs (ort)
			Yük (N)	Devir	%SiC	Tane Boyutu (μ)	Zaman (dk)			
Değişken Zaman	2 no'lu numune	11,2422	60	100	10	220	3	11,2332	9	6,529
			60	100	10	220	6	11,2188	23,4	6,126
			60	100	10	220	9	11,2059	36,3	5,491
			60	100	10	220	12	11,1990	43,2	4,446
			60	100	10	220	15	11,1941	48,1	4,317

Tablo 9'un devamı

			Değişkenler							
	3 no'lu numune	10,6343	60	100	10	220	3	10,6230	11,3	6,004
			60	100	10	220	6	10,6054	28,9	6,198
			60	100	10	220	9	10,5925	41,8	4,903
			60	100	10	220	12	10,5845	49,8	4,822
			60	100	10	220	15	10,5776	56,7	4,697
Değişken Yük	4 no'lu numune	10,8459	30	100	10	220	3	10,8386	7,3	4,443
			60	100	10	220	6	10,8287	17,2	5,468
			90	100	10	220	9	10,8181	27,8	7,571
			120	100	10	220	12	10,8077	38,2	8,442
			150	100	10	220	15	10,8024	43,5	8,911
	5 no'lu numune	10,3511	30	100	10	220	3	10,3336	17,5	4,549
			60	100	10	220	6	10,3210	30,1	6,386
			90	100	10	220	9	10,3115	39,6	5,224
			120	100	10	220	12	10,3063	44,8	6,546
			150	100	10	220	15	10,3008	50,3	7,2
Değişken Devir	6 no'lu numune	10,5274	60	100	10	220	3	10,5165	10,9	5,602
			60	200	10	220	6	10,4626	64,8	6,263
			60	300	10	220	9	10,3128	216,6	7,765
			60	400	10	220	12	10,1839	343,5	6,522
			60	500	10	220	15	10,0252	502,2	8,106
	7 no'lu numune	10,5805	60	100	10	220	3	10,5705	10	6,044
			60	200	10	220	6	10,5188	61,7	6,437
			60	300	10	220	9	10,4175	163	6,410
			60	400	10	220	12	10,2319	348,6	6,287
			60	500	10	220	15	10,0240	556,5	6,754
SiC tane boyutu	8 no'lu numune	10,8466	60	100	10	320	3	10,8391	7,5	5,478
			60	100	10	220	6	10,8330	13,6	5,972
			60	100	10	120	9	10,8276	19	5,656

Tablo 9'un devamı

Değişken %SiC	9 no'lu numune	10,8791	60	100	10	320	3	10,8730	6,1	5,164
			60	100	10	220	6	10,8599	19,2	6,216
			60	100	10	120	9	10,8560	23,1	4,959
	10 no'lu numune	11,1158	60	100	3	220	3	11,1074	8,4	10,328
			60	100	6	220	6	11,1066	9,2	5,213
			60	100	9	220	9	11,0973	18,5	5,061
			60	100	12	220	12	11,0846	31,2	5,634
	11 no'lu numune	11,0672	60	100	3	220	3	11,0660	1,2	2,535
			60	100	6	220	6	11,0636	3,6	4,528
			60	100	9	220	9	11,0564	10,8	4,375
			60	100	12	220	12	11,0463	20,9	5,710

Mi: Aşınma deneyi öncesi ağırlık

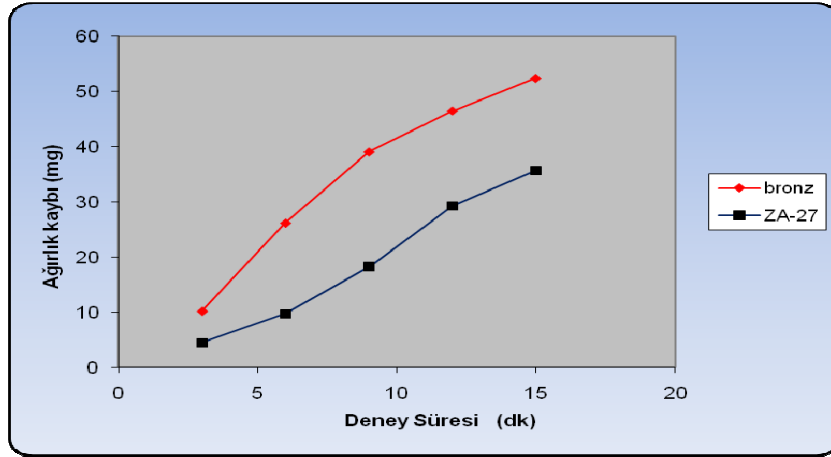
Ms: Aşınma deneyi sonrası ağırlık

3.4. ZA-27 ve Bronzun Ağırlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

Her deney için ZA-27 ve bronz numunelerden alınan değerlerin ortalamaları aşağıdaki gibi karşılaştırılıp tablo haline getirilmiştir.

3.4.1. Aşınmanın Deney Süresi ile Değişimi

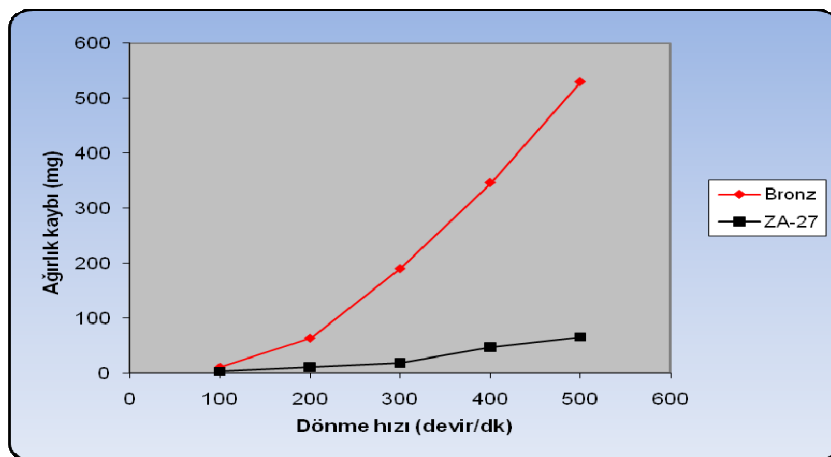
Şekilde 14'de görüldüğü gibi bronz ve ZA-27 artan zamanla doğrusal bir şekilde aşınma kaybına maruz kalmaktadır. Ancak ZA-27 nin aşınma miktarı bronzdan daha azdır. Yani normal şartlarda (%10 SiC takviyeli yağlayıcıyla, 60 N yük altında, yağlayıcı içindeki 220 µ SiC tane boyutu ile aşındırıcı disk dönme hızının 100 devir/dk olduğu) ZA-27, bronzla göre daha iyi aşınma dayanımı göstermektedir.



Şekil 14. Deney süresinin alaşımların aşınma miktarına etkisi

3.4.2. Aşınmanın Disk Dönme Hızı İle Değişimi

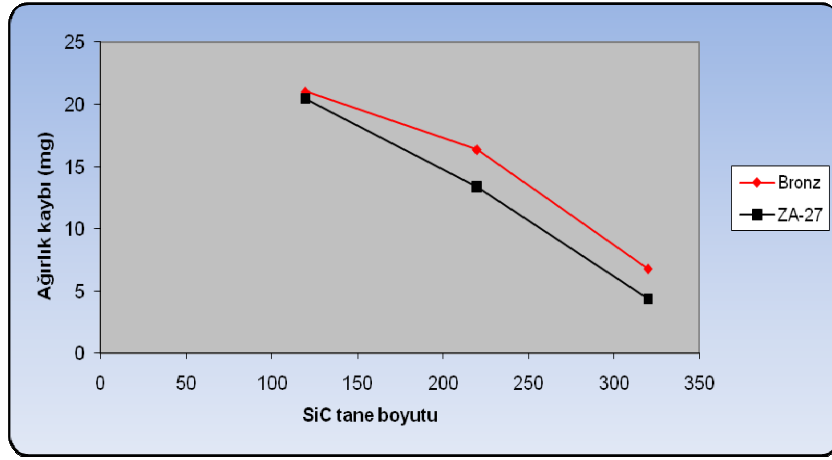
Diskin 100 devir/dk dönme hızında bronz ve ZA-27 'nin aşınma miktarları hemen hemen aynıyken artan devir hızı ile beraber bronz numunede yüksek bir aşınmanın meydana geldiği gözlenmiştir. Ancak Şekil 15'den görüldüğü gibi ZA-27 numunesindeki aşınma miktarındaki artış bronza göre çok daha azdır. Bu deneye göre ZA-27 alaşımı, bronza göre artan hızlarda daha az aşındığı için yüksek devirli uygulamalarda tercih edilebilir.



Şekil 15. Disk dönme hızlarının alaşımların aşınma miktarına etkisi

3.4.3. Aşınmanın SiC Tane Boyutu ile Değişimi

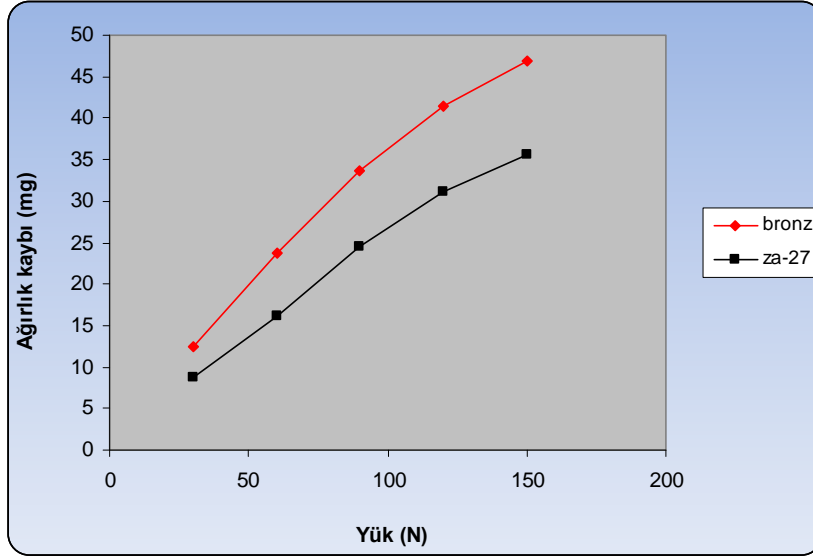
Şekil 16'da görüldüğü gibi bronz ve ZA-27 için yağlayıcı içindeki artan SiC tane boyutu ile aşınma miktarı doğrusal olarak artmaktadır. Ancak yapılmış olan son deneyde kullanılan 120 μ tane boyutlu deneyde her iki malzeme hemen hemen aynı aşınma davranışını göstermektedir. 120 μ tane boyutundan daha ince tanelerde aşınma miktarı daha az olduğu için ZA-27, bronzdan daha iyi bir performans sergilediği gözlenmektedir.



Şekil 16. SiC tane boyutlarının alaşımların aşınma miktarlarına etkisi

3.4.4. Aşınmanın Yük ile Değişimi

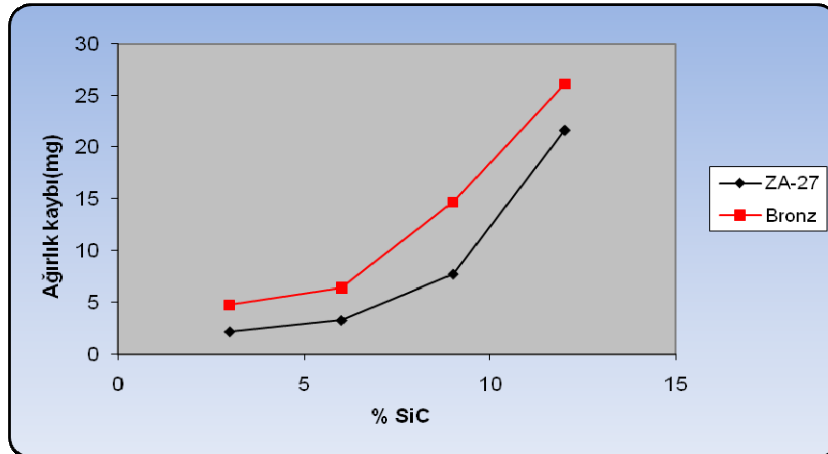
Numuneye uygulanan yük arttıkça aşınma miktarı artmaktadır. Şekil 17'de görüldüğü gibi ZA-27 nin aşınma miktarı bronzdan daha azdır. Yüksek yükler altında ZA-27 alaşımı bronzdan daha iyi bir performans sergilemektedir.



Şekil 17. Yükün alaşımların aşınma miktarlarına etkisi

3.4.5. Aşınmanın Ağ.% SiC Miktarı ile Değişimi

Şekil18’de de görüldüğü gibi yağlayıcı içindeki SiC miktarındaki artışla aşınma doğrusal olarak artmaktadır. Deney sonuçlarına göre aynı şartlarda bronz ZA-27 den daha fazla aşınmıştır. Buna göre ZA-27 alaşımının , aşırı abrasif aşındırıcı içeren uygulamalarda bronzdan daha uygun bir aşınma direnci sergilediği gözlenmektedir..

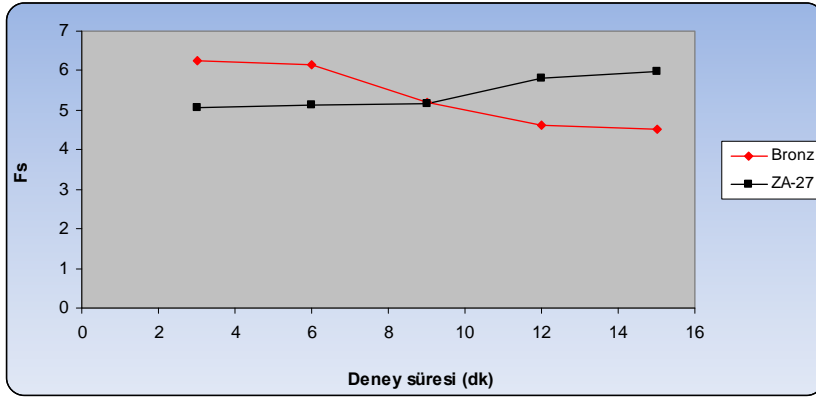


Şekil 18. SiC miktarlarının alaşımların aşınma miktarlarına etkisi

3.5. DeneYlerdeki F_s (Sürtünme Kuvveti)'nin Karşılaştırılması

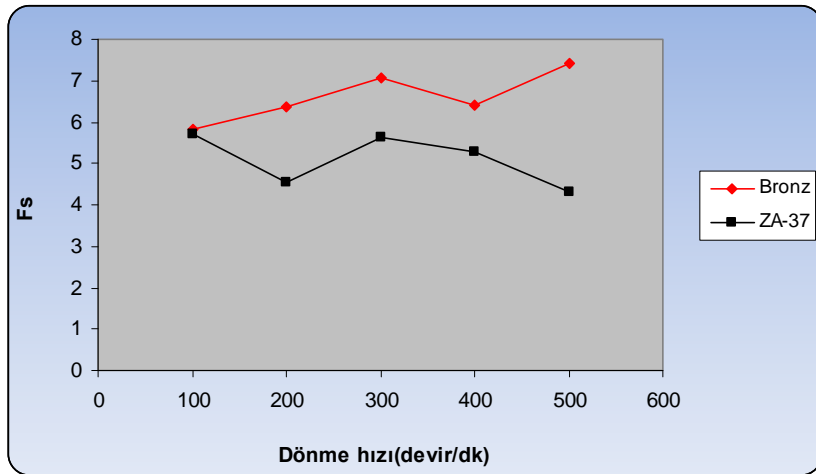
ZA-27 ve bronzda çalışma sırasında sürtünme katsayılarının zamana (15 dk) göre değişimleri Şekil 16'da verilmiştir. Şekilden sürtünme katsayılarının kararlı bir davranış sergilemediği gözlenmektedir. Genelde sürtünme kuvveti değerlerinin 40-65 N aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. DeneYlerdeki F_s katsayıları tutarlı çıkmamış olup deneY sonucu tabloları aşağıdaki gibidir.

Şekilde 19'da görüldüğü gibi bronz numunenin F_s değeri ilk dakikalarda ZA-27 alaşımından daha fazladır ancak geçen zamanla ZA-27 alaşımının F_s değeri artmaktadır.



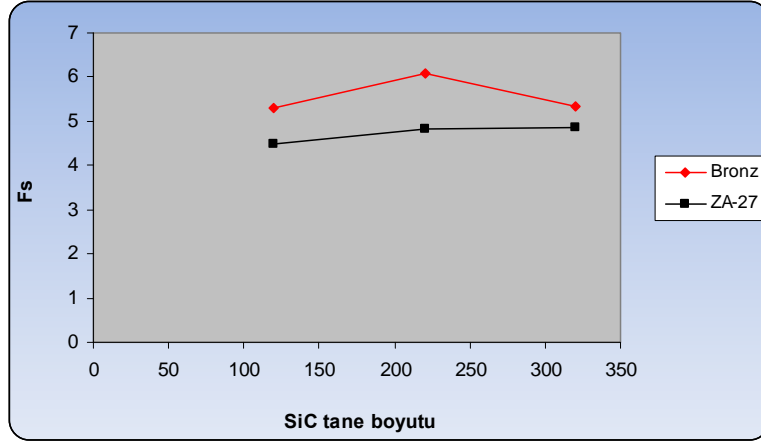
Şekil 19. F_s (sürtünme kuvveti)'nin deney süresi ile değişimi

Şekilde 20'de görüldüğü gibi sürtünme kuvveti değişik dönme hızlarında kararsız özellik göstermektedir.



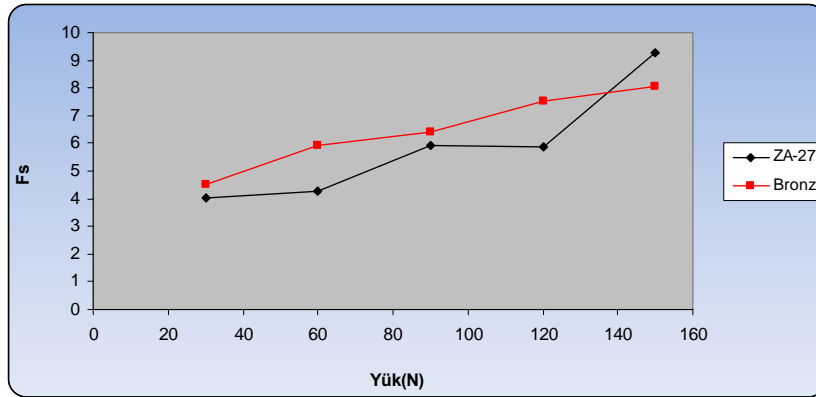
Şekil 20. F_s (sürtünme kuvveti)'nin disk dönme hızı ile değişimi

Şekilde 21’de görüldüğü gibi F_s , SiC tane boyutu değişimiyle çok fazla bir değişim göstermemektedir.



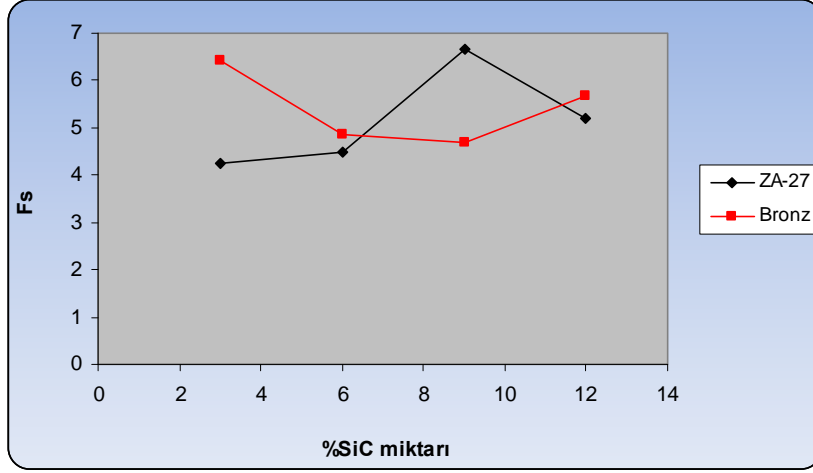
Şekil 21. F_s (sürtünme kuvveti)’nin SiC tane boyutu ile değişimi

Şekil 22’de görüldüğü üzere hem bronz hem de ZA-27 alaşımı için F_s değeri yükün artmasıyla artmaktadır.



Şekil 22. F_s (sürtünme kuvveti)’nin uygulanan yük ile değişimi

Şekilde 23’de görüldüğü üzere yağlayıcıdaki SiC miktarı F_s değerini düzensiz bir şekilde değiştirmiştir.

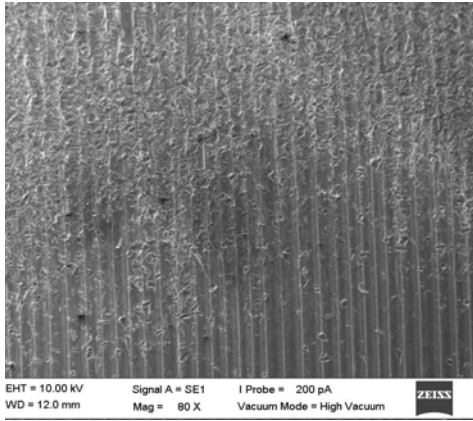


Şekil 23. Fs(sürtünme kuvveti)'nin Ağ.%SiC miktarı ile değişimi

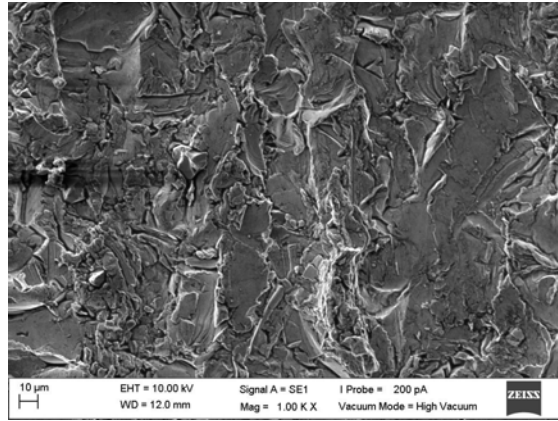
3.6. Elektron Mikroskobundan Alınan Görüntülerin İrdelemesi

3.6.1. Deney Süresinin Etkisi

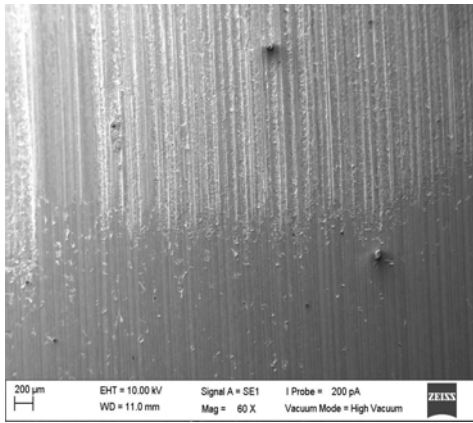
Şekil 24'deki görüntüde deney 60 N yükü, 100devir/dk' da, 220 μ tane boyutlu %10 (ağırlıkça) SiC ile değişik sürelerde(3,6,9,12,15 dk) yapılmıştır



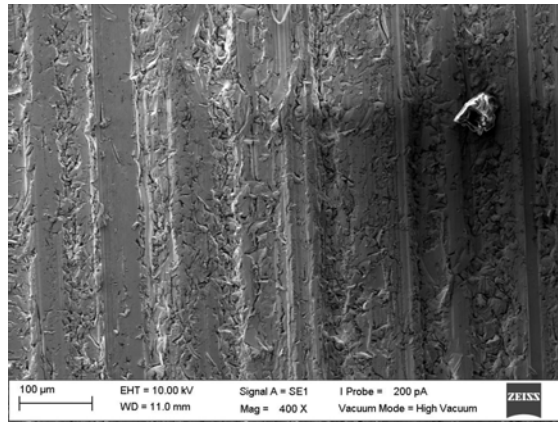
(a)



(b)



(c)



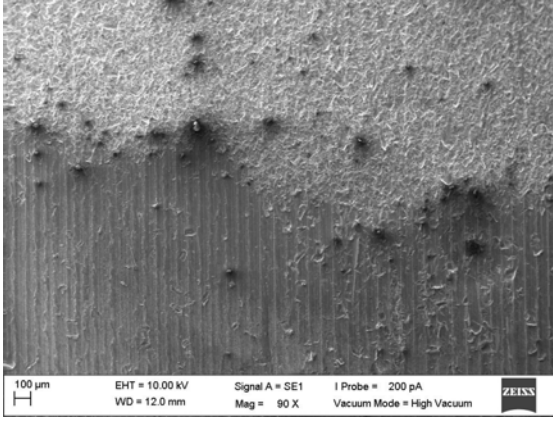
(d)

Şekil 24. SEM görüntüleri (a) ZA-27 için düşük büyütme(80x) (b) ZA-27 için yüksek büyütme(1.00Kx) (c) Bronz İçin Düşük büyütme(60x) (d) Bronz için yüksek büyütme(400x)

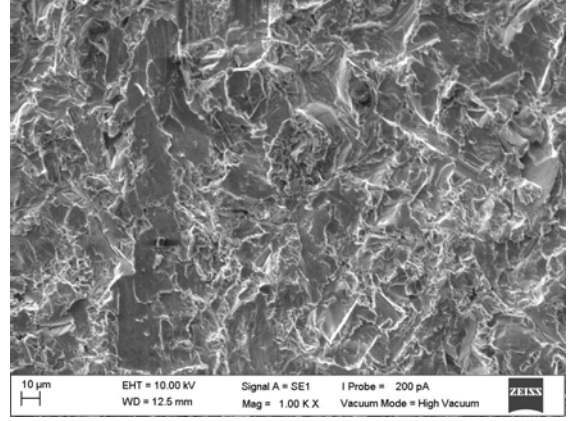
Şekillerde görüldüğü gibi ZA-27 alaşımı yüzeyindeki çizik miktarı bronza nazaran daha azdır ki bu da ZA-27 alaşımında daha az aşınma olduğunu gösterir.

3.6.2. Disk Dönme Hızının Etkisi

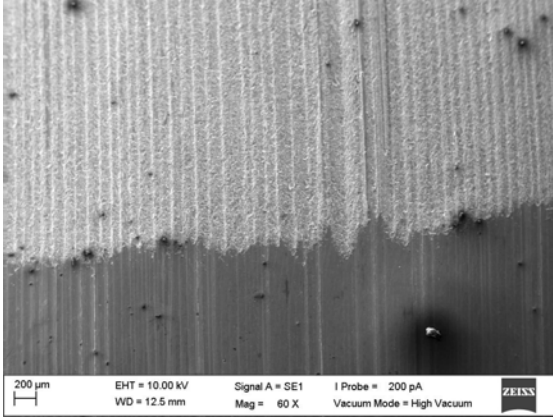
Şekil 25' deki görüntüde deney 60 N yükte, 220 μ tane boyutlu %10 (ağırlıkça) SiC ile, değişik devirlerde (100-200-300-400-500) devir/dk da yapılmıştır. Şekilde de görüldüğü üzere ZA-27 yüzeyine gömülen SiC miktarları bronz göre daha fazladır.



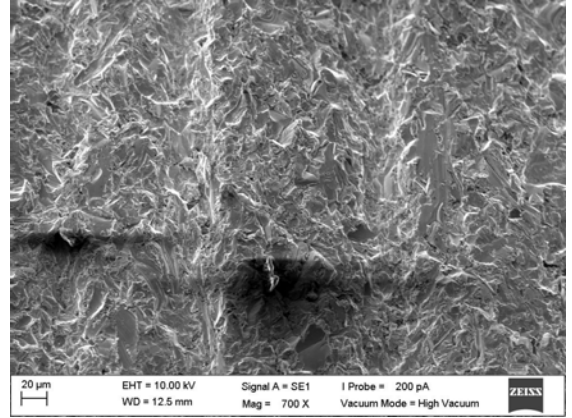
(a)



(b)



(c)



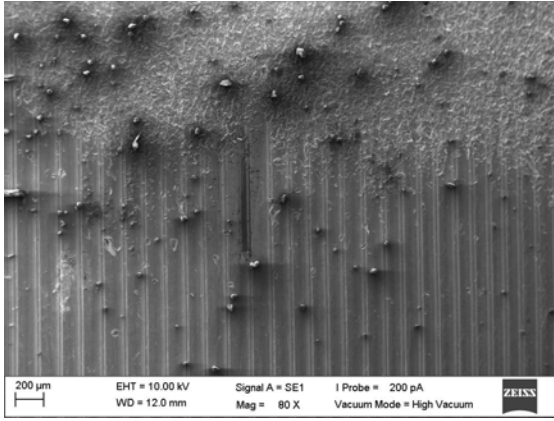
(d)

Şekil 25. SEM görüntüleri (a) ZA-27 için düşük büyütme(90x) (b) ZA-27 için yüksek büyütme(1.00Kx) (c) bronz için düşük büyütme(60x) (d) bronz için yüksek büyütme(700x)

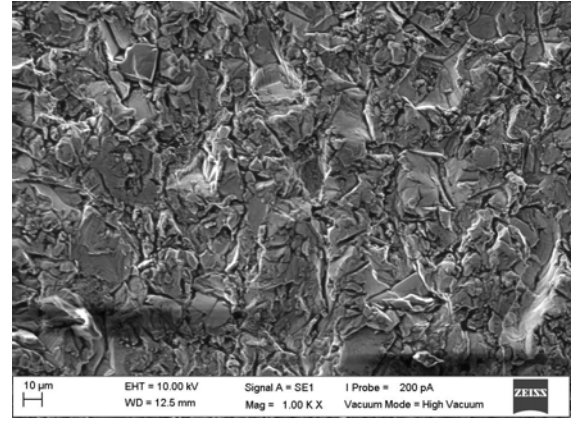
3.6.3. Deney Yükünün Etkisi

Şekil 26' daki görüntüde deney 220 μ tane boyutlu %10 (ağırlıkça) SiC ile, 100 devir/dk da, değişik yüklerde (30-60-90-120-150 N) yapılmıştır. Artan yüklerde yüzeye

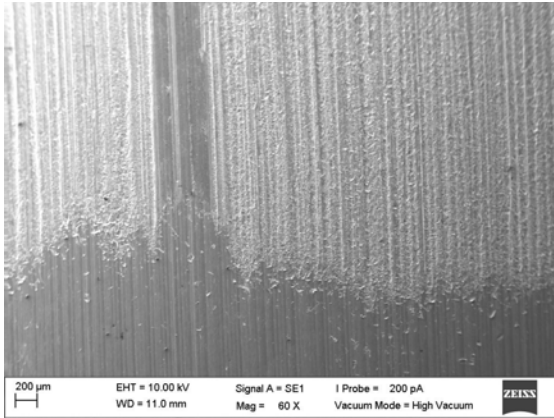
gömülen SiC miktarı ZA-27 de çok fazla fakat bronzda çok azdır. Bunun oluşumu da SiC parçacıklarının ZA-27 alaşımındaki yumuşak matrise(Çinko içine) gömülmesi ile olmuştur.



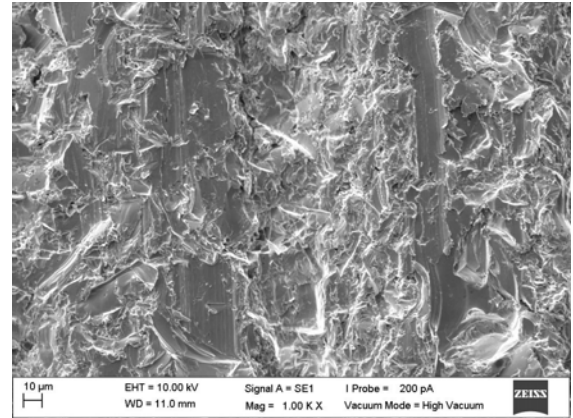
(a)



(b)



(c)

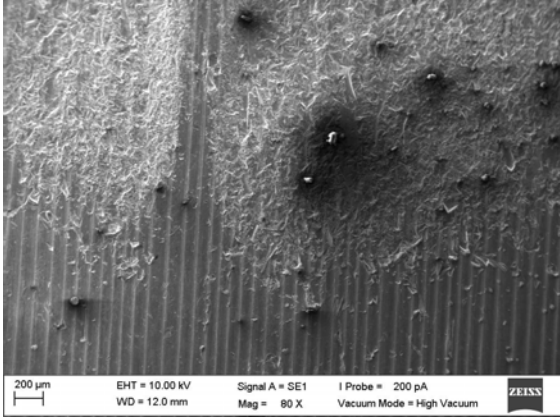


(d)

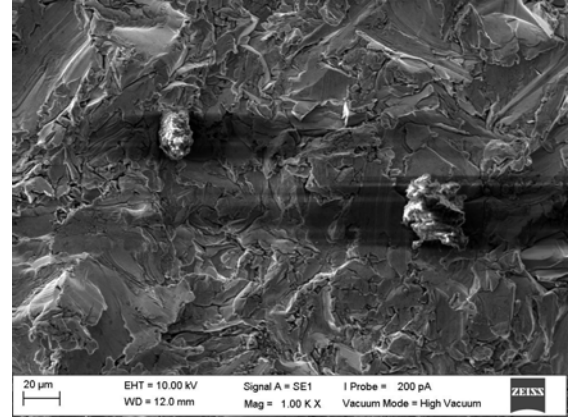
Şekil 26. SEM görüntüleri (a) ZA-27 için düşük büyütme (80x) (b) ZA-27 için yüksek büyütme(1.00 Kx) (c) bronz için düşük büyütme (60x) (d) bronz için yüksek büyütme(1.00Kx)

3.6.4. SiC Tane Boyutunun Etkisi

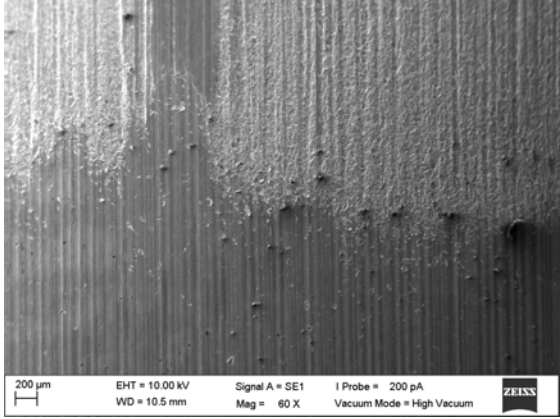
Şekil 27'deki görüntüde deney %10 (ağırlıkça) SiC ile, 100 devir/dk da, 60 N yükte, değişken tane boyutlarında (120-220-320 μ) SiC ile yapılmıştır.



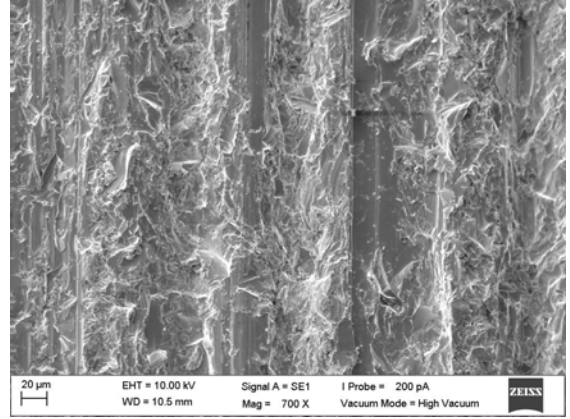
(a)



(b)



(c)

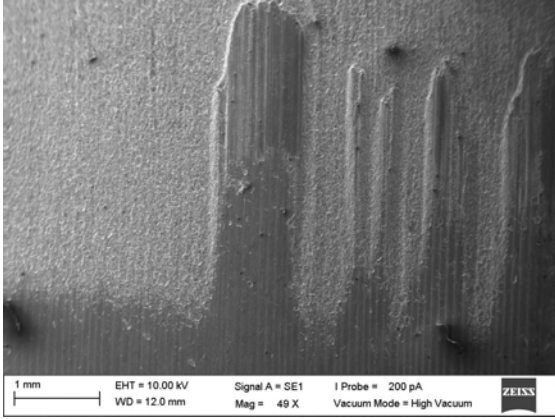


(d)

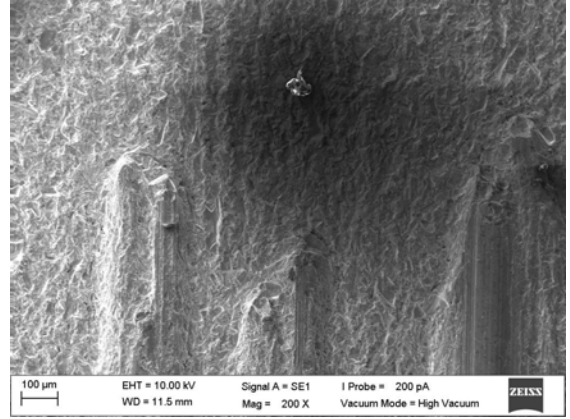
Şekil 27. SEM görüntüleri (a) ZA-27 için düşük büyütme(80x) (b) ZA-27 için yüksek büyütme(1.00Kx) (c) bronz için düşük büyütme(60x) (d) bronz için yüksek büyütme(700x)

3.6.5. Ağ.%SiC Miktarının Etkisi

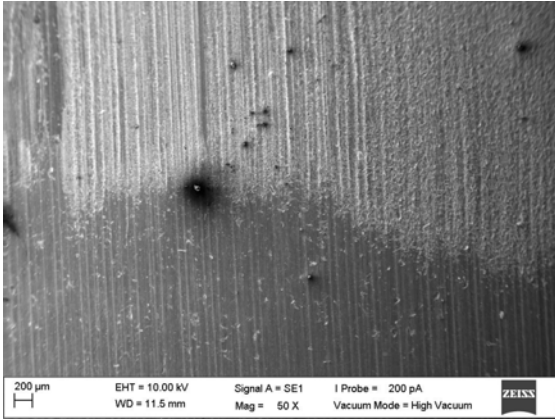
Şekil 28'deki görüntüde deney 100 devir/dk da, 60 N yükle, 220 µ tane boyutunda SiC ile değişken %SiC miktarlarında(% 3-6-9-12) yapılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi ZA-27 üzerindeki topografik farklılıklar yüzünden aşınma belli bölgelerde gerçekleşmiştir.



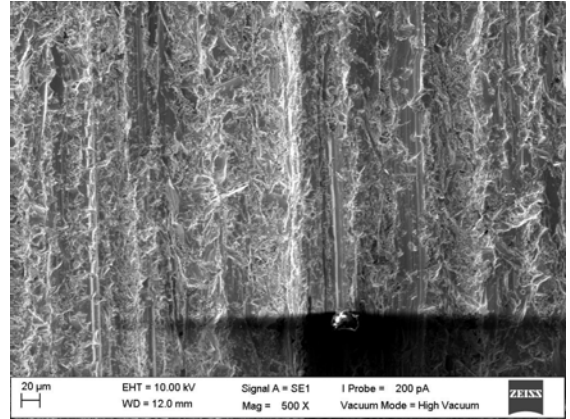
(a)



(b)



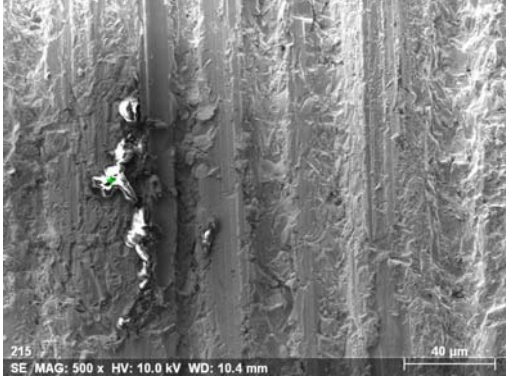
(c)



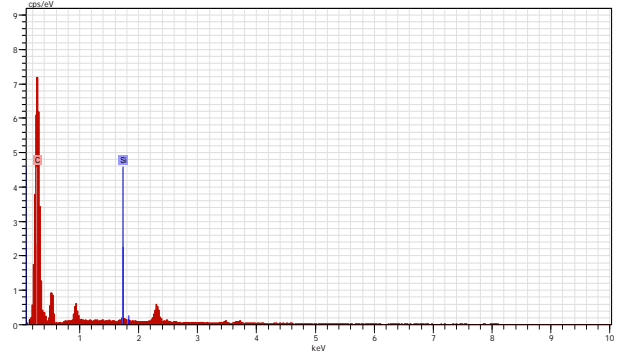
(d)

Şekil 28. SEM görüntüleri (a) ZA-27 için düşük büyütme(49x) (b) ZA-27 için yüksek büyütme(200x) (c) bronz için düşük büyütme(50x) (d) bronz için yüksek büyütme(500x)

3.6.6. Numunelerde SEM'de Yapılan Nokta Analiz Testleri

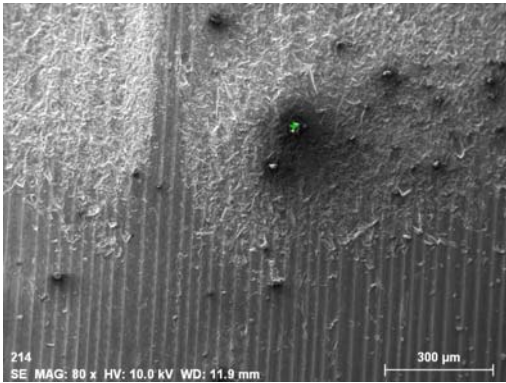


(a)

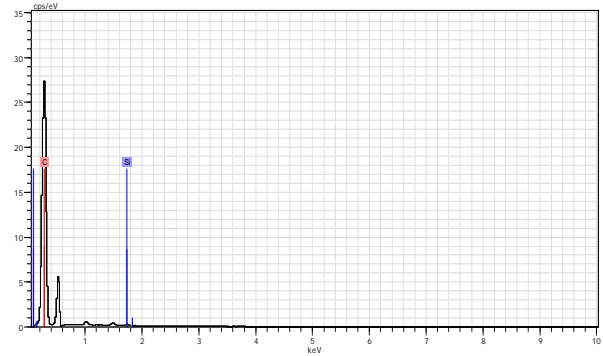


(b)

Şekil 29. 2 no'lu bronz numunede (a)SEM'de 500x büyütme görüntüsü ve (b) bu büyütmedeki nokta analiz sonuçları



(a)



(b)

Şekil 30. 8 no'lu ZA-27 numunede (a) SEM de 80x büyütme ve (b) bu büyütmedeki nokta analiz sonuçları

Nokta analiz sonuçları, numune yüzeyinde bulunan yabancı, koyu renkteki parçacıkların yüzeye saplanmış olan SiC taneleri olduğunu göstermiştir.

4. İRDELEME

Yapılan çalışmalar sonucunda ZA-27 alaşımının aşınma direncinin bronzdan daha üstün olduğu belirlenmiştir. Bu durum bu alaşımın bronzla göre yüksek sertlik değerinden(134 HB) kaynaklanmış olabilir. Nitekim yüksek sertlik değerine sahip yüzeylerin abrasif aşınma dayanımının daha yüksek olduğu daha önceki çalışmalarla ortaya konulmuştur. [19]

Her iki alaşımda da ağırlık kaybı değerleri artan zaman ile birlikte artmaktadır. Aşınmanın zamanla arttığı bilinen bir gerçektir. Dönme hızı bronzun aşınma miktarı üzerinde çok fazla etki yapmış olduğu belirlenmiştir. SiC tane boyutu arttıkça her iki alaşımda da aşınmanın arttığı belirlenmiştir. Tane boyutunun artması ile birlikte aşındırıcı parçacık büyüklüğü artmakta, bu ise malzeme yüzeyinden aşınan parçacık miktarını arttırmış olabilir. Başka bir ifadeyle büyük, sert SiC parçacıkları daha fazla aşınmaya sebebiyet vermektedir. Uygulanan yük arttıkça her iki alaşımda da ağırlık kaybının arttığı gözlenmiştir. Yükün artmasıyla birlikte disk ve numune arasındaki yüzey basıncı artmakta ve parçacıkların kazıma, abrasif etkisi daha belirgin hale gelmektedir. Yağ içerisindeki %SiC oranı arttıkça alaşımların her ikisinin de aşınma miktarının arttığı tespit edilmiştir. Söz konusu bu durum disk-numune arasına gönderilen aşındırıcı parçacık(SiC) miktarının artışı ile açıklanabilir. Yağ içindeki % SiC miktarının artması disk-numune arasına daha fazla abrasif SiC parçacığı girişine sebebiyet vermekte, bu ise aşınmayı arttırmaktadır. Sürtünme kuvveti değerleri her bir durumda(zamana göre değişim, dönme hızına göre değişim, SiC tane boyutuna göre değişim, %SiC oranına göre değişim) kararsız bir değişim sergilemekte ve bu değerlerde düzensiz bir dalgalanma meydana gelmektedir. Bu durum disk-numune arasına girmiş olan SiC parçacıklarının dinamik etkileşiminden kaynaklanmış olabilir. 3 elemanlı tribolojik sistemlerde(3body) aşındırıcı parçacık ara yüzeyde parçalanmakta ve aşındırıcı parçacıkların ara yüzeye sabit bir akış hızında girişi olmadığından sürtünme kuvveti değerleri de buna paralel olarak düzensiz bir davranış sergilemektedir. Sürtünme kuvveti her iki alaşımda da uygulanan yük ile beraber artmaktadır. Söz konusu bu durum coulomb-amontons kanunlarına uygundur. coulomb-amantons kanununa göre iki yüzey arasındaki sürtünme kuvveti yüzeye uygulanan yük ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde SiC parçacıklarının numunenin belli bir bölgesinde yüzeyde kazıma, çizme şeklinde abrasif aşınma meydana getirdiği gözlenmiştir. Bu bölgelerde SiC parçacıklarının numune bünyesinde varlığı tespit edilmiştir. SiC parçacıklarının numunenin belirli bir yerinde aşınma ve gömülme şeklinde toplanması numune ile disk arasındaki geometrik farklılıktan kaynaklanmaktadır. Disk çapı 60 mm iken numune aşınma yüzeyi 70 mm lik bir radius ile işlenmiştir. Elektron mikroskobu görüntülerinde SiC parçacıklarının bronz yüzeyde daha fazla aşınma meydana getirdiği daha fazla çizik ve oyukların meydana geldiği gözlenmiştir. ZA-27 alaşımında ise daha çok SiC parçacıklarının malzeme içerisine gömüldüğü gözlenmiştir. Bu durum aşınma üzerinde de etkili bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır.

Talaşlı işleme sonrası elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri çok farklı değerler sergilemektedir. Direk talaşlı işleme sonrası yapılabilecek tribolojik deneyler hatalı sonuçlar ortaya çıkarabilir. Talaşlı işleme sonrası yapılan zımparalama ve parlatma işlemi numunelerin yüzey pürüzlülüğünün sabit bir değere getirilmesinde etkili olmaktadır. Ancak yüzey pürüzlülüğü değerleri tam sabit bir değere getirilememektedir. Bu durum az da olsa aşınma performansı üzerinde etkili olabilmektedir.

5. SONUÇLAR

1. ZA-27 alaşımı incelenen deney şartları altında CuSn10 bronzundan daha iyi aşınma performansı sergilemiştir.
2. Alaşımların aşınma dayanımları devir sayısı ile beraber düşmektedir.
3. Alaşımların aşınma direnci aşındırıcı tane boyutu arttıkça düşmektedir.
4. İncelenen her iki alaşımda da aşınma miktarı uygulanan yük ile artmaktadır.
5. ZA-27 ve CuSn10 bronzunda % SiC oranı arttıkça aşınma miktarı artmaktadır.
6. Her iki alaşıma ait sürtünme kuvveti değerleri düzensiz bir davranış sergilemektedir.
7. Her iki alaşıma ait sürtünme kuvveti değerleri uygulanan yük ile beraber artmaktadır.
8. ZA-27 alaşımında yüzeyde aşındırıcı parçacıkların daha yoğun olarak toplandığı, bronzda ise daha çok çizme ve oyuklanma şeklinde aşınmanın meydana geldiği belirlendi.
9. deneylerden önce uygulanan zımparalama ve parlatma işlemi numunelerin yüzey pürüzlülüklerini sabit bir değere getirmekte etkin bir rol oynamaktadır.

6. ÖNERİLER

- 1.** Her bir veri için farklı numune kullanılarak deneyler yapılabilir.
- 2.** Değişik yağ sıcaklıklarında deneyler yapılabilir.
- 3.** daha kaba veya daha ince tane boyutlu SiC parçacıkları kullanılarak deneyler yapılabilir.

7. KAYNAKLAR

1. Çuvalcı, H. , Çinko Alüminyum Esaslı Alaşımların ve Bu Alaşımlardan İmal Edilen Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Trabzon, 1996
2. Arıkan, R. , Saffil Fiber Takviyeli ZA-12 Alaşımının Sürtünme, Aşınma Davranışları, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. , 22, 3(2007) 359-368
3. Akbulut, H. , Aşınma, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2005
4. Balaban, Z. ve Kaplan, M. , Silisyum Katkılarının Ötektoid Esaslı Zn-Al Alaşımının Aşınma Davranışına Etkilerinin İncelenmesi , TEKNOLOJİ, 10,2 (2007) 91-98
5. Mihaichuk , W. ,1981, ZINC-ALLOY BEARINGS CHALLENGE THE BRONZES *eastern Alloys, inc.*,
6. Arıkan , H. , ve Sahar F. , Çelik Tel Takviyeli ZN-AL 5 (ZAMAK 5) Alaşımının Kırılma Davranışı, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, Kasım 2007, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 401-408
7. G. Ranganath , S.C. Sharma , M. Krishna , Graphite particles reinforced ZA-27 alloy composite materials for journal bearing applications, Wear, 251 (2001) 1408–1413
8. S.C. Sharma , B.M. Girish, Rathnakar Kamath, B.M. Satish, Effect of SiC particle reinforcement on the unlubricated sliding wear behaviour of ZA-27 alloy composites, Wear, 213 (1997) 33-40
9. SC. Sharma , B.M.G irish, R athnaka Kr amath , B.M. Satish , Graphite particles reinforced ZA-27 alloy composite materials for journal bearing applications, Wear, 219 (1998) 162-168
10. B.K. Prasad , Abrasive wear characteristics of a zinc-based alloy and zinc-alloy/SiC composite, Wear, 252 (2002) 250–263
11. S.C. Sharma , B.M. Girish, D.R. Somashekar, B.M. Satish, Rathnakar Kamath , Sliding wear behaviour of zircon particles reinforced ZA-27 alloy composite materials, Wear, 224 (1999) 89–94
12. Savaşkan, T. , PÜRÇEK, G., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ve Bu Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Aşınma Özellikleri, Tr J Engin Environ Sci 24 (2000) , 25 – 34

13. Savaşkan, T. ve Murphy, S. , Comparative Wear Behaviour of Zn-Al Based Alloys in an Automotive Engine Application , Wear, 98 (1984) 151-161
14. Çuvalcı, H. , Çinko-Alüminyum Esaslı Ticari ZA-27 Kaymalı Yatağının Sürtünme Davranışının İncelenmesi, Turk J Environ Sci 25 (2001) , 199-204
15. Cayalag, T. and Ferres, D. , High-Performance, High-Aluminum Zinc Alloys for Low-Speed Bearings and Bushings, Society of Automotive Engineers Inc., 1983
16. R.J. Barnhurst and J.C. Farge, A Study of the Bearing Characteristics of Zinc-Aluminum (ZA) Alloys, Canadian Metallurgical Quarterly, Vol 27, 3, 225-23, Great Britain
17. [http://www. keytometals.com/Article46.htm](http://www.keytometals.com/Article46.htm) Zinc-Aluminum Foundry Alloys , 24.11.2009

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Serdar ÇELİK, 07.10.1979'da Trabzon' da doğdu. İlköğrenimini Vakfikebir Kemaliye İlkokul'unda, orta ve lise öğrenimini Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nde yaptı. 1998 yılında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2004 yılında seramik mühendisi olarak mezun oldu. Askerlik görevinden hemen sonra dil eğitimi için gittiği Bournemouth/İngiltere' de 2 yıl kaldı. Döndüğünde Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalının açtığı yüksek lisans programını kazandı. Yüksek lisansın 2. yarıyılıının 2. döneminde yurtdışında eğitim için başvurduğu Erasmus öğrenci değişim programıyla İsveç, Borlange'deki Högskolan Dalarna Ünivesitesinde öğrenim görmeye hak kazandı. Şu an tezli yüksek lisansın son dönemindedir ve aynı zamanda çalışmaya devam etmekte olup çok iyi derecede İngilizce bilmektedir.