

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

96708

ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLARDAN ÜRETİLEN KAYMALI
YATAKLARIN STATİK VE DİNAMİK YÜK ALTINDAKİ TRİBOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mak. Yük. Müh. Gençğa PÜRÇEK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"Doktor"

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

96708

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12.05.2000

Tezin Savunma Tarihi : 28.06.2000

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN

T. Savaşkan

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ahmet ARAN

A. Aran

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

F. Arslan

**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

A. Kadioğlu

Trabzon 2000

ÖNSÖZ

Geleneksel yatak malzemelerinin genelde kısıtlı miktarlarda üretilmeleri, birim maliyetlerinin yüksek olması ve tribolojik özelliklerinin bazı uygulamalarda yetersiz kalması araştırmacıları daha kolay tedarik edilebilen, daha ekonomik ve daha üstün özelliklere sahip yatak malzemeleri geliştirmeye yöneltmiştir. Bu amaçla geliştirilen çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklar bronz, pirinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerinden üretilen yatakların yerini almaktadır.

Bu çalışmada, çinko-alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların hem statik, hem de dinamik yük altındaki sürtünme ve aşınma gibi tribolojik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, alaşımların sürtünme ve aşınma özellikleri çubuk-disk esaslı bir aşınma deney düzeneği yardımıyla, bu alaşımlardan üretilen yatakların aşınma özellikleri de bir yatak deney düzeneği yardımıyla incelendi. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların gerek statik, gerekse dinamik yükleme koşullarında bronz yatakların yerine başarılı bir şekilde kullanılabilceği belirlendi.

Bu konuda çalışmamı sağlayan ve çalışmanın her aşamasında yakın ilgi ve değerli fikirleriyle beni yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca yapıcı eleştirilerinden dolayı Dr. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU'na teşekkür ederim. Aynı zamanda, Müh. Mim. Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarı ve Talaşlı İmalat Atölyesi teknisyenlerine teşekkür ederim.

Bu çalışma, 1996.112.003.2 kod numaralı proje çerçevesinde K.T.Ü. Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Bu nedenle adı geçen fon yetkililerine teşekkür ederim.

Gençağa PÜRÇEK

Mayıs 2000

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Faz Diyagramları.....	2
1.3. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Özellikleri.....	5
1.3.1. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Fiziksel Özellikleri.....	5
1.3.2. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Mekanik Özellikleri.....	6
1.3.3. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ve Bu Alaşımlardan Üretilen Yatakların Tribolojik Özellikleri.....	8
1.4. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	11
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	13
2.1. Alaşımların Üretimi ve Isıl İşlemi.....	13
2.2. Alaşımların Yapısal, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi.....	13
2.3. Alaşımların ve Bu Alaşımlardan Üretilen Yatakların Sürtünme ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi.....	14
2.3.1. Alaşımların Sürtünme ve Aşınma Deneyleri.....	14
2.3.2. Yatakların Aşınma Deneyleri.....	19
2.3.3. Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	30
3. BULGULAR.....	31
3.1. Alaşımların Kimyasal Bileşimleri ve Yapısal İncelemelerden Elde Edilen Bulgular.....	31
3.2. Fiziksel ve Mekanik Deneylerden Elde Edilen Bulgular.....	36
3.3. Sürtünme ve Aşınma Deneylerinden Elde Edilen Bulgular.....	38

3.3.1. Çubuk-Disk Esaslı Aşınma Deney Düzenğinde Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular.....	38
3.3.2. Yatak Deney Düzenğinde Statik Yük Altında Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular.....	44
3.3.3. Yatak Deney Düzenğinde Dinamik Yük Altında Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular.....	51
3.4. Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular.....	58
4. İRDELEME.....	65
5. SONUÇLAR.....	73
6. ÖNERİLER.....	75
7. KAYNAKLAR.....	76
8. ÖZGEÇMİŞ.....	82



ÖZET

Değişik kimyasal bileşime sahip, bir dizi çinko-alüminyum, çinko-alüminyum-bakır ve çinko-alüminyum-bakır-silisyum alaşımı kokil döküm yöntemiyle üretildi. Üretilen alaşımların iç yapı ve mekanik özellikleri dökülmüş ve 150°C'de stabilize edilmiş durumlarda incelendi. Alaşımların sürtünme ve aşınma özellikleri disk-çubuk esaslı bir aşınma deney düzeneği yardımıyla, bu alaşımlardan üretilen yatakların tribolojik özellikleri ise bir yatak deney düzeneği yardımıyla hem statik hem de dinamik yükleme koşulları altında incelendi.

İncelemeler sonucunda, çinko-alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen yatakların, genelde geleneksel bir yatak malzemesi olan CuSn12 bronz ve bu bronzdan üretilen yataklardan daha yüksek aşınma direnci sergiledikleri gözlemlendi. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar içerisinde en düşük hızlı aşınmanın en düşük sürtünme katsayısına sahip olan ZnAl40Cu2Si1 alaşımında, yataklar içerisindeki en düşük hızlı aşınmanın ise bu alaşımdan üretilen yatakta meydana geldiği görüldü. Uygulanan stabilizasyon işleminin, çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile bu alaşımlardan üretilen yatakların statik yük altındaki aşınma direncini azalttığı, dinamik yük altındaki aşınma direncini ise artırdığı belirlendi. Dökülmüş durumdaki alaşımlardan üretilen yatakların statik yükleme durumunda, dinamik yükleme durumuna göre daha yüksek aşınma direnci sergiledikleri görüldü. Ayrıca, monotektoid esaslı alaşımlardan üretilen yatakların aşınma direncinin artan bakır oranı ile arttığı, % 2 bakır oranından sonra ise azaldığı belirlendi. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile bu alaşımlardan üretilen yatakların statik yükleme durumundaki aşınma davranışlarının birbirine çok benzedikleri görüldü. Bu nedenle, alaşımların aşınma davranışı hakkında çubuk-disk esaslı aşınma deney düzeneği yardımıyla elde edilen bulguların, bu alaşımlardan üretilen yatakların aşınma davranışı için de büyük ölçüde geçerli olduğu sonucuna varıldı.

Bu çalışmada elde edilen bulguların değerlendirilmesi sonucunda, dökülmüş ve ısıl işlem görmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların gerek statik, gerekse dinamik yük altında bronz yataklardan daha üstün aşınma direnci sergiledikleri belirlendi. İncelenen yataklar içerisinde en üstün aşınma davranışı ise ZnAl40Cu2Si1 alaşımından üretilen yataklardan elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımlar, Aşınma Deney Düzenekleri, Statik ve Dinamik Yükleme, Kaymalı Yataklar, Sürtünme ve Aşınma.

SUMMARY

Examination of Tribological Properties of Bearings Produced from Zinc-Aluminum Based Alloys Under Static and Dynamic Loading

A series of zinc-aluminum, zinc-aluminum-copper and zinc-aluminum-copper-silicon alloys were produced by permanent mould casting. The microstructure and mechanical properties of the alloys were examined in the as cast and heat treated conditions and the effect of chemical composition and heat treatment on the properties of these alloys were determined. The friction and wear properties of the zinc-aluminum based alloys were examined under static loading using a pin-on-disc test machine, and the tribological properties of the bearings produced from these alloys were investigated under both static and dynamic loading conditions using a bearing test rig.

The zinc-aluminum based alloys and bearings produced from these alloys exhibited higher wear resistance than the CuSn12 bronze and the bearing produced from this bronze. The lowest wear rate or highest wear resistance was obtained with the bearings produced from ZnAl40Cu2Si1 alloy which had the lowest coefficient of friction. The bearings produced from the zinc-aluminum based casting alloys showed higher wear resistance than those produced from the heat treated alloys under static loading condition. However, the bearings produced from the heat treated alloys exhibited higher wear resistance under dynamic loading than those produced from the alloys in the as cast condition. The wear resistance of the bearings produced from the cast alloys under static loading were found to be higher than that obtained under dynamic loading. It was also found that the wear resistance of the bearings produced from the monotectoid based alloys increased with increasing copper content up to 2% Cu, above which it decreased with increasing copper content. The wear results obtained from the alloys using the pin-on-disc machine were found to be in a good agreement with the wear results obtained from the bearings produced from these alloys using the bearing test rig under static loading.

As a result of this study, the bearings produced from the zinc-aluminum based casting and heat treated alloys showed much higher wear resistance than the bronze bearings under both static and dynamic loading. Among all the bearings tested, the best wear performance was obtained with the bearings produced from ZnAl40Cu2Si1 alloy.

Key Words: Zinc-Aluminum Based Alloys, Wear Test Rigs, Static and Dynamic Loadings, Sliding Bearings, Friction and Wear.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa no</u>
Şekil 1. İkili çinko-alüminyum faz diyagramı.....	3
Şekil 2. Çinko-alüminyum-bakır alaşım sisteminin 350°C sıcaklıktaki izotermal kesiti...5	5
Şekil 3. Çubuk-disk esaslı aşınma deney düzeneğinin şematik resmi.....16	16
Şekil 4. Çubuk-disk esaslı aşınma deney düzeneğinin genel görünümü.....17	17
Şekil 5. Çubuk-disk esaslı aşınma deney düzeneğinde örnek, disk ve yük hücresinin yakından görünümü.....17	17
Şekil 6. Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan örneğin teknik resmi.....18	18
Şekil 7. Sürtünme ve aşınma deneylerinde kullanılan; a) Zn-Al esaslı alaşıma, b) CuSn12 bronzuna ait örneklerin resmi.....18	18
Şekil 8. Sürtünme kuvveti ölçümünde kullanılan yük hücresi için kalibrasyon doğrusu.19	19
Şekil 9. Kaymalı yatak deney düzeneğinin mil eksenine paralel kesitinin resmi.....22	22
Şekil 10. Kaymalı yatak deney düzeneğinin mil eksenine dik kesitinin resmi.....23	23
Şekil 11. Kaymalı yatak deney düzeneğinin genel görünümü.....24	24
Şekil 12. Kaymalı yatak deney düzeneğinin yakından görünümü.....24	24
Şekil 13. Yatak gövdesine hem statik, hem de dinamik yük uygulayan hidrolik yükleme devresi.....25	25
Şekil 14. Hidrolik yükleme ünitesinde yükün kumanda ve kontrolünü sağlayan sistemin şematik resmi.....26	26
Şekil 15. Deney yatağı ve yataklama rulmanlarına ait yağlama devresi.....27	27
Şekil 16. Aşınma deneylerinde kullanılan yatakların teknik resmi.....29	29
Şekil17. Aşınma deneylerinde kullanılan yarım yatakların fotoğrafı: a) Zn-Al esaslı alaşımdan üretilen yatak, b) CuSn12 bronzundan üretilen yatak.....29	29
Şekil18. Deney yatağına uygulanan yükün belirlenmesinde kullanılan kalibrasyon doğrusu.....30	30
Şekil 19. ZnAl27Cu2 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....32	32
Şekil 20. ZnAl40Cu2 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....33	33
Şekil 21. ZnAl27Cu2Si1 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....33	33
Şekil 22. ZnAl40Cu2Si1 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.....34	34

Şekil 23. ZnAl ₂₇ Cu ₂ alaşımının stabilize edilmiş durumaki iç yapısı.....	34
Şekil 24. ZnAl ₄₀ Cu ₂ alaşımının stabilize edilmiş durumdaki iç yapısı.....	35
Şekil 25. ZnAl ₂₇ Cu ₂ Si ₁ alaşımının stabilize edilmiş durumdaki iç yapısı.....	35
Şekil 26. ZnAl ₄₀ Cu ₂ Si ₁ alaşımının stabilize edilmiş durumdaki iç yapısı.....	36
Şekil 27. Dökülmüş durumdaki alaşımların sürtünme katsayılarının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	39
Şekil 28. Stabilize edilmiş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımların sürtünme katsayılarının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	40
Şekil 29. Dökülmüş durumdaki ZnAl ₂₇ Cu ₂ Si ₁ alaşımının sürtünme katsayısı ve sıcaklığının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	41
Şekil 30. Stabilize edilmiş durumdaki ZnAl ₂₇ Cu ₂ Si ₁ alaşımının sürtünme katsayısı ve sıcaklığının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	41
Şekil 31. CuSn ₁₂ bronzunun sürtünme katsayısı ve sıcaklığının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	42
Şekil 32. Alaşımlarda meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	43
Şekil 33. Statik yük uygulanan yataklarda yatak sıcaklığının çalışma süresine göre değişimi.....	45
Şekil 34. Statik yük uygulanan kaymalı yataklarda meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	46
Şekil 35. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların kararlı çalışma durumundaki sıcaklıklarının yatak basıncına göre değişimini gösteren eğriler.....	48
Şekil 36. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklarda çalışma sırasında meydana gelen hacim kaybının yatak basıncına göre değişimini gösteren eğriler.....	48
Şekil 37. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların çalışma sıcaklıklarının kayma hızına göre değişimi.....	50
Şekil 38. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklarda çalışma sırasında meydana gelen hacim kayıplarının kayma hızına göre değişimi.....	50
Şekil 39. Dinamik yük altında çalışan yataklardan ölçülen sıcaklıkların çalışma süresine göre değişimini gösteren eğriler.....	51

- Şekil 40. Dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan kaymalı yataklarda meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....53
- Şekil 41. $ZnAl_{27}Cu_2$ alaşımından dökülmüş ve stabilize edilmiş durumlarda üretilen yataklarda statik ve dinamik yükleme durumlarında meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler.....54
- Şekil 42. $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımından dökülmüş ve stabilize edilmiş durumlarda üretilen yataklarda statik ve dinamik yükleme durumlarında meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler.....54
- Şekil 43. $ZnAl_{40}Cu_2$ alaşımından dökülmüş ve stabilize edilmiş durumlarda üretilen yataklarda statik ve dinamik yükleme durumlarında meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler.....55
- Şekil 44. $ZnAl_{40}Cu_2Si_1$ alaşımından dökülmüş ve stabilize edilmiş durumlarda üretilen yataklarda statik ve dinamik yükleme durumlarında meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler.....55
- Şekil 45. $CuSn_{12}$ bronzundan üretilen kaymalı yatakta statik ve dinamik yükleme durumlarında meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler.....56
- Şekil 46. Değişik oranlarda bakır içeren $ZnAl_{40}$ esaslı üçlü alaşımlardan dökülmüş durumda üretilen yataklarda dinamik yük altında meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler.....57
- Şekil 47. $ZnAl_{40}$ esaslı üçlü alaşımların çekme dayanımları ile dinamik yük altındaki aşınma sonucu meydana gelen hacim kaybı değerlerinin bakır bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler.....57
- Şekil 48. Aşınma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....60
- Şekil 49. Aşınma deneyine tabi tutulan stabilize edilmiş durumdaki $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....60
- Şekil 50. Aşınma deneyine tabi tutulan $CuSn_{12}$ bronzunun aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....61
- Şekil 51. Dökülmüş durumdaki $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımından üretilen ve statik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....61

- Şekil 52. Stabilize edilmiş durumdaki ZnAl₂7Cu₂Si₁ alaşımından üretilen ve statik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....62
- Şekil 53. CuSn₁₂ bronzundan üretilen ve statik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....62
- Şekil 54. Dökülmüş durumdaki ZnAl₂7Cu₂Si₁ alaşımından üretilen ve dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....63
- Şekil 55. Stabilize edilmiş durumdaki ZnAl₂7Cu₂Si₁ alaşımından üretilen ve dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....63
- Şekil 56. CuSn₁₂ bronzundan üretilen ve dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....64



TABLolar DİZİNİ

Sayfa no

Tablo 1. İkili çinko-alüminyum alaşım sisteminde meydana gelen faz dönüşümleri.....	4
Tablo 2. Çinko-alüminyum-bakır alaşım sisteminde meydana gelen katı hal dönüşümleri.....	5
Tablo 3. Çinko-alüminyum esaslı bazı alaşımlar ile geleneksel yatak alaşımlarının fiziksel özellikleri.....	6
Tablo 4. Çinko-alüminyum esaslı bazı alaşımlar ile geleneksel yatak alaşımlarının mekanik özellikleri.....	8
Tablo 5. Alaşımların kimyasal bileşimleri.....	31
Tablo 6. Alaşımların fiziksel ve mekanik özellikleri.....	37
Tablo 7. Alaşımların aşınma deneyinden elde edilen sonuçlar.....	43
Tablo 8. Statik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yataklarda meydana gelen hacim kaybı değerleri.....	45
Tablo 9. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların değişik basınç değerleri altındaki kararlı çalışma sıcaklıkları.....	47
Tablo 10. Değişik basınçlarda çalışan yataklarda meydana gelen hacim kaybı değerleri	47
Tablo 11. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklardan kararlı çalışma durumunda ölçülen sıcaklık değerleri.....	49
Tablo 12. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklarda değişik kayma hızlarındaki çalışma sırasında meydana gelen hacim kayıpları	49
Tablo 13. Dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yataklarda meydana gelen hacim kayıpları.....	52

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Geleneksel yatak malzemelerinin yerine başarılı bir şekilde kullanılan çinko-alüminyum esaslı alaşımlar uzun süreli inceleme ve araştırma çalışmaları sonucunda geliştirildi [1, 2, 3]. 1930-1940 yılları arasında %4 Al, %0,03 Mg ve çok düşük oranlarda bakır içeren ZAMAK-3 ve ZAMAK-5 adlı çinko-alüminyum esaslı alaşımlar basınçlı döküm yöntemiyle üretildi [4]. Daha sonra, II. Dünya Savaşı yıllarında, Almanya'da bakır ve kalay tedarikinde karşılaşılan güçlükler nedeniyle bronzun yerine kullanmak amacıyla yüksek oranlarda alüminyum ve düşük oranlarda bakır içeren çinko-alüminyum esaslı yatak alaşımları geliştirildi [3, 5, 6]. Savaş sonrası, malzeme tedarikinde karşılaşılan zorluklar ortadan kalktığından kaymalı yatak üretiminde yeniden geleneksel yatak malzemeleri kullanılmaya başlandı [7, 8, 9, 10]. Ancak, az sayıda da olsa bazı firmalar çinko-alüminyum esaslı yatak alaşımlarını üretmeye ve geliştirmeye devam ettiler. 1960'lı yıllarda, ILZRO (International Lead-Zinc Research Organization) tarafından desteklenen ve New Jersey Çinko Şirketi tarafından yürütülen bir araştırma sonucunda; %12 oranında alüminyum içeren ve ilk adı ILZRO-12 olan ve daha sonra ZA-12 olarak gösterilen bir alaşım geliştirildi [11, 12]. Daha sonraki yıllarda, Noranda Araştırma Merkezi tarafından çinko-alüminyum esaslı alaşımlar üzerine yapılan araştırma çalışmaları sonucunda, sırasıyla ZA-8 ve ZA-27 olarak adlandırılan alaşımlar geliştirildi [13, 14, 15]. Söz konusu alaşımların gösteriminde kullanılan ZA işareti; çinko ve alüminyumun İngilizce adlarının baş harflerini, bunun önündeki sayılar ise yüzde alüminyum oranını göstermektedir. Aynı yıllarda, Vöest-Alpine of Linz adlı Avusturya firması tarafından, Alzen alaşımları olarak adlandırılan, %27-70 Al ve %0-5 Cu içeren çinko-alüminyum alaşımları geliştirildi [16, 17]. Geliştirilen bu alaşımlardan, Alzen-305 ($ZnAl_{35}Cu_5$) olarak bilinen alaşım halen İngiltere'de yatak malzemesi olarak üretilmektedir [18, 19, 20].

Yatak malzemesi olarak kullanılan çinko-alüminyum esaslı alaşımların geliştirilmesine yönelik çalışmalar bugün de büyük bir hızla sürdürülmektedir [21, 22]. Son zamanlarda, kullanımı gittikçe yaygınlaşan çinko-alüminyum esaslı yatak alaşımlarının geleneksel yatak malzemelerine göre pek çok üstünlüklere sahip oldukları bilinmektedir.

Bu üstünlüklerin başında, çinko-alüminyum esaslı alaşımların yüksek aşınma dayanımına sahip olmaları, özgül mukavemetlerinin (mukavemet/yoğunluk) yüksek olması, üretimlerinin kolay ve ekonomik olması, sert parçacıkları yutma özelliğine sahip olmaları ve aşırı yüklenme, yetersiz yağlama ve yüksek hızlı çalışma koşullarında bile ideal tribolojik davranış sergilemeleri gelmektedir [23, 24, 25]. Söz konusu alaşımların bütün bu üstünlüklerinin yanında, bazı dezavantajlarının da olduğu bilinmektedir. Bu dezavantajların başında, özellikle bakır içeren alaşımlarda, faz dönüşümleri sonucunda meydana gelen boyut değişimleri gelmektedir [15, 26]. Bu sorun, alaşımlara ısıl işlem uygulamak veya uygun alaşım elementi katmak suretiyle giderilmeye çalışılmaktadır [1, 27, 28]. Bu amaçla geliştirilen çinko-alüminyum-silisyum alaşımlarının üstün aşınma direncine sahip olmalarına karşın, mukavemet değerlerinin bakır içeren üçlü alaşımlardan daha düşük olduğu görülmüştür [1, 2, 3, 26, 29]. Bu olumsuzluğu gidermek için son yıllarda, dördü çinko-alüminyum-bakır-silisyum esaslı yatak alaşımları geliştirilmeye çalışılmaktadır [26, 30].

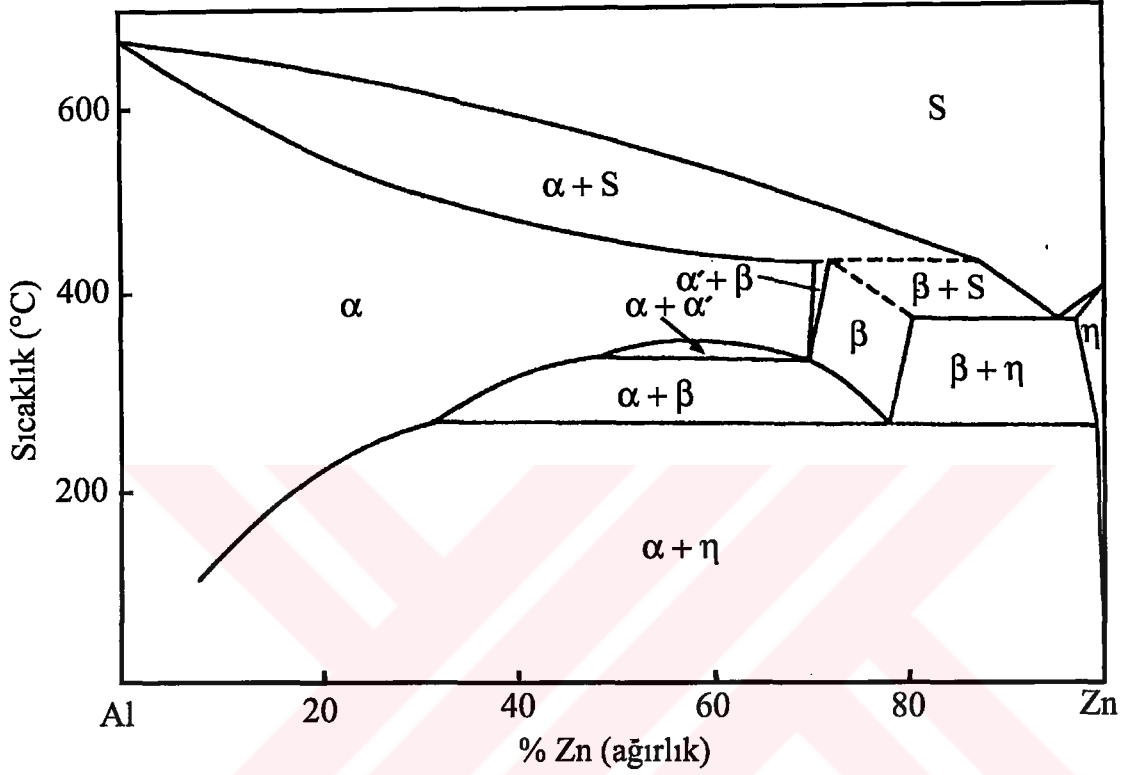
Geliştirilen çinko-alüminyum esaslı alaşımlar, yatak üretiminde gittikçe artan oranda kullanılmaktadır [10, 24, 31]. Söz konusu alaşımlardan üretilen yataklar, daha çok düşük hız ve aşırı yüklemenin söz konusu olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir [20, 23, 32]. Nitekim, kablolu kren ve taş kırma makinası gibi pek çok iş makinasında, maden işletme araçlarında, vites kutusu ve torna tezgahı gibi yerlerde çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklar kullanılmaktadır [23, 25, 33]. Bu alaşımlar, kaymalı yatak üretiminden başka mühendislik amaçlı bazı parçaların üretiminde de gittikçe artan oranda kullanılmaktadırlar [26, 29]. Örneğin; otomobillerde kullanılan karbüratör parçaları, silindir kapağı, dişli kutusu kapakları, motor ayakları, biyel kolu ve jant gibi parçalar bu alaşımlardan üretilmektedir [15, 29, 34].

Günümüzde çinko-alüminyum esaslı alaşımların geliştirilmesi için yürütülen çalışmalar, bu alaşımların kullanımlarını kısıtlayan etkenlerin ortadan kaldırılması ve bu alaşımlardan üretilen yatakların tasarımına yönelik yeni verilerin elde edilmesi konularına yoğunlaştırılmıştır.

1.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Faz Diyagramları

İkili çinko-alüminyum faz diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Bu diyagramda yer alan α alüminyumca zengin faz bölgesini, η ise çinkoca zengin faz bölgesini göstermektedir

[35]. Bu faz diyagramından görüldüğü gibi; çinko alüminyum içerisinde %83 oranına kadar çözünerek YMK yapıya sahip α , α' ve β olarak adlandırılan değişik faz bölgeleri oluşturmaktadır. Bu fazlar, yavaş soğutma sonucunda kararlı çinko ve alüminyum fazlarına dönüşmektedir.



Şekil 1. İkili çinko-alüminyum faz diyagramı [36].

Söz konusu faz diyagramında, % 95 Zn oranında ve 382°C sıcaklıkta meydana gelen ötektik dönüşüm sonucunda yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip β ile sıkı düzenli hegzagonal (SDH) yapıya sahip η fazlarını içeren bir iç yapı oluşmaktadır [37]. Alüminyumun η fazı içerisindeki katı çözünürlüğü, azalan sıcaklıkla azalmakta ve 20°C sıcaklıkta %0,05Al oranına kadar düşmektedir. β fazı 276°C sıcaklıkta ve %78 Zn oranında ötektoid reaksiyonla α ve η fazlarına dönüşmektedir [38, 39, 40]. İkili çinko-alüminyum alaşım sisteminde meydana gelen faz dönüşümleri ile ilgili veriler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 2. Çinko-alüminyum-bakır alaşım sisteminde meydana gelen katı hal dönüşümleri [43, 44, 45].

Dönüşüm	Sıcaklık (°C)
$T' + \beta \rightleftharpoons \alpha + \varepsilon$	288
$\beta \rightleftharpoons \alpha + \eta$	275
$\beta + \varepsilon \rightleftharpoons \alpha + \eta$	276
$\alpha + \varepsilon \rightleftharpoons T' + \eta$	268

Çinko-alüminyum-silisyum faz diyagramı da henüz tam olarak belirlenmemiş olmakla birlikte, bu sistemin faz dönüşümleri çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir [26, 41, 45, 46, 47]. Bu araştırmacılardan Zhu ve arkadaşları [47] tarafından yapılan incelemeler sonucunda, silisyumun yapı içerisindeki katı çözünürlüğünün çok az olması nedeniyle faz dönüşümlerini pek etkilemediği görülmüştür. Dörtlü çinko-alüminyum-bakır-silisyum alaşım sistemine ait faz diyagramı henüz belirlenmemiş bulunmaktadır [43, 45].

1.3. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Özellikleri

1.3.1. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Fiziksel Özellikleri

İkili çinko-alüminyum denge diyagramından da görüldüğü gibi, alaşımların ergime noktası ve katılaşma aralığı alüminyum oranına bağlı olarak değişmektedir. Alüminyum oranı arttıkça, alaşımların ergime noktası yükselmekte, katılaşma aralığı ise daralmaktadır [48, 49]. Çinko-alüminyum esaslı alaşımların, geleneksel döküm alaşımlarının çoğundan daha düşük ergime sıcaklığına sahip olması, döküm için enerji sarfiyatını azaltmakta ve döküm gereçlerinin ömrünü artırmaktadır [49]. Tablo 3'de çinko-alüminyum esaslı bazı alaşımlar ile geleneksel yatak alaşımlarının fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların ısı iletkenlik, ısı genleşme ve elektriksel iletkenlik katsayıları alüminyum alaşımları dışındaki geleneksel yatak alaşımlarının söz konusu katsayılarından daha yüksek olup, bu değerler artan alüminyum oranı ile artmaktadır. Diğer taraftan, çinko-alüminyum esaslı alaşımların yoğunlukları bronz, pirinç

ve dökme demir gibi geleneksel yatak alaşımlarının yoğunluklarından daha düşüktür [48, 50]. Ayrıca, çinko-alüminyum esaslı alaşımların yoğunlukları alüminyum oranı arttıkça azalmakta, bu da söz konusu alaşımların birim maliyetini düşürmektedir. Üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarında katılaşma sırasında oluşan yarı kararlı veya metastabil fazların, yaşlandırma sırasında kararlı fazlara dönüşmesi sonucunda önemli ölçüde hacimsel büyüme meydana gelmektedir [51]. Bu nedenle, söz konusu alaşımlardan üretilen parçaların toleranslarının belirlenmesinde bu durumun göz önüne alınması gerekir [12].

Tablo 3. Çinko-alüminyum esaslı bazı alaşımlar ile geleneksel yatak alaşımlarının fiziksel özellikleri [25, 34].

Fiziksel özellikler	Alaşımlar					
	ZA-8	ZA-12	ZA-27	SAE-40 pirinci	SAE-660 bronz	Kır dökme demir
Yoğunluk (kg/cm ³)	6,30	6,03	5,00	8,50	8,83	6,94
Katılaşma büzülmesi (%)	1,0	1,2	1,3	----	----	1,0
Katılaşma sıcaklık aralığı (°C)	404-375	430-80	490-380	1010-855	975-855	1232
Isıl genleşme katsayısı (µm/m°K)	23,2	24,1	26,0	18	18	11,9
Isıl iletkenlik katsayısı (W/m°K)	115	116	126	72	59	45
Elektriksel iletkenlik katsayısı (%IACS)	28	28	30	15	12	6

Not: Alaşımların hepsi dökülmüş durumda bulunmaktadır.

1.3.2. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Mekanik Özellikleri

İkili çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik ve mukavemet değerlerinin pek çok uygulama için yeterli olmadığı bilinmektedir [34, 48]. Düşük oranlardaki bakır, magnezyum ve silisyum gibi element katkılarının söz konusu alaşımların mekanik

özelliklerini iyileştirildiği belirlenmiştir [52, 53]. Özellikle %2 oranına kadar varan bakır katkılarının, ikili alaşımların sertlik, mukavemet, korozyon ve aşınma dayanımlarını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür [49, 54].

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardaki iç yapı-mekanik özellik ilişkileri pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir [49, 55]. Bu incelemeler sonucunda, dökülmüş durumdaki alaşımların yapısındaki dendrit kol aralığı küçüldükçe, çekme mukavemetinin de arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, B, Ti, Zr, La ve Ce gibi element katkılarının da çinko-alüminyum alaşımlarının tane boyutunu küçülterek, mukavemet değerlerini artırdığı görülmüştür [56, 57]. Diğer taraftan, kararlı iç yapılar elde etmek amacıyla uygulanan stabilizasyon işleminin, bu alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerini azaltıp, kopma uzaması değerlerini artırdığı görülmüştür [26, 48, 58].

Çinko-alüminyum esaslı bazı alaşımlar ile geleneksel yatak alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 4'de verilmiştir. Bu tablodan, çinko-alüminyum alaşımlarının geleneksel yatak alaşımlarından daha yüksek mukavemet değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların ergime sıcaklıklarının düşük olması, ekonomiklik açısından bir avantaj oluşturmakla birlikte, söz konusu alaşımları sıcaklığa karşı duyarlı bir hale getirmektedir [48]. Sıcaklık arttıkça, çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik ve mukavemet değerleri önemli ölçüde düşerken, süneklik değerleri artmaktadır [59, 60]. Bu yüzden ZA-27 alaşımının 120°C'nin, ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarının da 90°C'nin altındaki sıcaklıklarda kullanılması önerilmektedir [48].

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar mühendislik uygulamalarında kullanılan diğer malzemelerden daha düşük kırılma tokluğuna sahiptir, ancak çinko-alüminyum esaslı alaşımların kırılma tokluğu artan alüminyum oranı ile artmaktadır [8, 48]. Nitekim, ticari ZA alaşımları içerisinde alüminyum oranı en yüksek olan ZA-27 alaşımı en yüksek darbe dayanımına sahiptir [36].

İkili çinko-alüminyum ve üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının sürünme davranışları Savaşkan ve Murphy [61] tarafından incelenmiş ve bakır katkılarının çinko-alüminyum alaşımlarının sürünme dayanımını önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma özellikleri ise yeterince incelenmemiştir. Ancak, Aydın ve Savaşkan [62] tarafından yapılan bir çalışmada, çinko-alüminyum esaslı alaşımların yorulma ömrü ve yorulma dayanımlarının artan alüminyum oranı ile arttığı

belirlenmiştir. Ayrıca, söz konusu alaşımların sertlik ve mukavemet değerleri arttıkça yorulma dayanımlarının da arttığı gözlenmiştir [36, 48].

Tablo 4. Çinko-alüminyum esaslı bazı alaşımlar ile geleneksel yatak alaşımlarının mekanik özellikleri [25, 34, 36, 48].

Mekanik özellikler	Alaşımlar					
	ZA-8	ZA-12	ZA-27	SAE-40 pirinci	SAE-660 bronz	Kır dökme demir
Çekme dayanımı (MPa)	221-255	310-345	414-441	255	240	214
Akma dayanımı (MPa)	200-210	207-268	372-393	114	124	124
Kopma uzaması (%)	1-2	1,5-2,5	2-3	30	20	-
Brinell sertlik değeri (BSD)	85-90	85-95	110-120	60	65	210
Darbe dayanımı (J)	13-18	17-22	25-40	15	8	-
Yorulma dayanımı (MPa)	103	103	172	-	-	-
Kayma mukavemeti (MPa)	241	255	270	-	-	-
Poisson oranı	0,296	0,302	0,323	-	-	-
Elastiklik modülü (GPa)	85.5	83	-	83	100	90-113

Not: Alaşımların hepsi dökülmüş durumda bulunmaktadır

1.3.3. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ve Bu Alaşımlardan Üretilen Yatakların Tribolojik Özellikleri

Yapılan araştırma çalışmaları sonucunda, çinko-alüminyum esaslı alaşımların üstün tribolojik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir [1, 21, 25, 63]. Bu durum, söz konusu

alaşımların çok fazlı bir yapıya sahip olmalarının yanında, aşınma yüzeylerinde oluşan çinko ve alüminyum oksit tabakalarına da dayandırılarak açıklanmaktadır [63]. Alaşımların iç yapılarında bulunan alüminyumca zengin α fazı ile bakır ve silisyumca zengin fazlar yük taşıma görevi yaparken, çinkoca zengin η fazı kaymayı kolaylaştırmaktadır [9, 25, 64]. Ayrıca, yüzeyde oluşan sert alüminyum oksit tabakasının yük taşıma görevi yaparak aşınma direncini artırdığı, çinko oksit tabakasının ise özellikle sınır ve karışık sürtünme durumlarında yağlayıcı gibi davranarak kaymayı kolaylaştırdığı ileri sürülmektedir [63].

Murphy ve Savaşkan [31] tarafından yapılan bir çalışmada, ötektoid bileşime sahip çinko-alüminyum esaslı alaşımların rodaj döneminde çok hızlı bir aşınma sergiledikleri ancak, aşınma hızının alınan yol ile azaldığı ve 10.000 km'lik yoldan sonra tekrar arttığı gözlemlendi. Bu çalışmada ayrıca, silisyum içeren çinko-alüminyum alaşımlarının aşınma direnci bakımından dökme demirden daha üstün, ancak fosfor bronzu ile hemen hemen aynı ayarda olduğu görüldü. Ayrıca, düşük oranlarda bakır içeren monotektoid esaslı alaşımların, ötektoid esaslı alaşımlardan daha üstün aşınma dayanımına sahip oldukları belirlendi. Başka bir araştırmada [65] ise, bakır içeren çinko-alüminyum alaşımlarının aşınma dirençlerinin, söz konusu alaşımların sertlik ve mukavemetinden başka, bakırca zengin T' (Al_4Cu_3Zn) ve ϵ ($CuZn_4$) fazlarının oranlarına ve yapı içerisindeki dağılımlarına da bağlı olduğu görüldü.

Döküm yönteminin, çinko-alüminyum esaslı alaşımların yapı ve mekanik özelliklerinden başka, sürtünme ve aşınma özelliklerini de önemli ölçüde etkilediği gözlemlendi [65]. Bu konuda yapılan bir çalışmada [65], en yüksek aşınma direncinin kum döküm yöntemiyle üretilen alaşımlardan elde edildiği görüldü. Bu durum; düşük oranlardaki gözeneklerin söz konusu alaşımların aşınma direncini olumlu yönde etkilemesine dayandırılarak açıklandı. Kum döküm yöntemiyle üretilen alaşımları sırasıyla savurmalı (santrifüj) döküm, basınçlı döküm, kokil döküm ve sürekli döküm yöntemleriyle üretilen çinko-alüminyum esaslı alaşımların izlediği görüldü [65, 32]

Bazı çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların Stribeck diyagramları çeşitli araştırmacılar tarafından belirlendi [65, 66]. Savaşkan ve arkadaşları [67] tarafından yapılan bir çalışmada, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların sınır sürtünme devresi olarak adlandırılan dönemde, sürtünme katsayısının artan yatak parametresi ile ters orantılı olarak azalıp, minimum bir değere ulaştığı ve bu değerden sonra yavaş yavaş yükseldiği görüldü. Aynı çalışmada, basınç arttıkça yatakların sürtünme

katsayılarının genelde düştüğü ve ayrıca yatak boşluğunun sınır ve karışık yağlama koşullarında çalışan yatakların sürtünme davranışı üzerinde daha etkili olduğu gözlemlendi.

Diğer taraftan; milin sertliği ile yüzey pürüzlülüğünün de çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların aşınma dayanımını önemli ölçüde etkilediği görüldü [65, 68]. Örneğin; ZA-27 alaşımından üretilen yatakta en yüksek aşınma direnci mil sertliğinin 40-50 RSD-C olması durumunda elde edildi ve milin yüzey pürüzlülüğü azaldıkça yatağın aşınma direncinin arttığı belirlendi [65, 68].

Kaymalı yatak uygulamalarında, çinko-alüminyum-bakır alaşımları yerine çinko-alüminyum-silisyum alaşımlarının kullanılması, hem bakırın neden olduğu boyutsal kararsızlık problemini önlemekte, hem de aşınma direncinin daha yüksek olmasını sağlamaktadır [69]. Çinko-alüminyum-silisyum alaşımlarından üretilen yatakların üstün tribolojik özelliklere sahip olması, iç yapıda yük taşıma görevi yapan sert silisyum parçacıklarına dayandırılarak açıklanmaktadır [6, 26]. Silisyum içeren çinko alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların aşınma davranışlarının, silisyum oranından başka, silisyum fazının yapı içerisindeki dağılımına da bağlı olduğu görülmüştür [17]. Silisyumun yapıdaki dağılımının ise alaşımdaki silisyum oranına bağlı olduğu ve homojen bir dağılımın elde edilebilmesi için bu oranın belirli bir değerin (%1Si) altında tutulması gerektiği belirlenmiştir [17]. Ayrıca, silisyum içeren alaşımlara %0,05 gibi düşük oranlardaki stronsiyum katkısının da, silisyum segregasyonunu önleyerek daha homojen bir dağılım sağladığı gözlenmiştir [68]. Lee ve arkadaşları [70] tarafından yapılan bir çalışma sonucunda; çinko-alüminyum-silisyum alaşımlarının hem Alzen 305, hem de SAE 660 fosfor bronzundan daha üstün aşınma direncine sahip oldukları belirlendi. Bu nedenle, söz konusu alaşımların aşırı yük altında, düşük sıcaklık ve düşük hızlarda çalışan yatakların üretimi için bronzun yerine kullanılabileceği belirlendi [9, 38, 70, 71]. Ancak, çinko-alüminyum-silisyum alaşımlarının mukavemet değerlerinin pek çok uygulama için yetersiz olması, son yıllarda hem bakır, hem de silisyum içeren çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların geliştirilmesine yönelik çalışmalara hız vermiştir. Pürçek ve Savaşkan [30] tarafından statik yük altında yapılan bir çalışmada, çinko-alüminyum-bakır-silisyum alaşımlarından üretilen yatakların aşınma direnci bakımından, hem çinko-alüminyum-bakır alaşımlarından, hem de CuSn12 bronzundan üretilen yataklardan daha üstün oldukları belirlendi.

Literatür araştırması sonucunda; çinko-alüminyum esaslı döküm alaşımlarından üretilen yatakların statik yük altındaki tribolojik özelliklerinin bazı araştırmacı tarafından incelenmesine karşın, bu yatakların dinamik yük altındaki tribolojik davranışlarının hiç incelenmediği gibi ısı işleminin de bu davranışlara etkileri araştırılmamıştır.

1.4. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Geleneksel yatak malzemelerinin genelde kısıtlı miktarlarda üretilmeleri ve pahalı olmaları, araştırmacıları daha ucuz ve tedariki kolay olan yatak malzemeleri geliştirmeye yöneltmiştir. Bu amaçla geliştirilen çinko-alüminyum esaslı alaşımlar, bronz, pirinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerinin yerini almaktadır.

İkili çinko-alüminyum alaşımlarının özelliklerinin bakır ve silisyum katkılarıyla iyileştirildiği görülmüştür. Yüksek aşınma direncine sahip olan üçlü çinko-alüminyum-silisyum alaşımlarının mukavemet değerlerinin bakır içeren üçlü alaşımların mukavemet değerlerinden daha düşük olması; hem bakır, hem de silisyum içeren dördü çinko-alüminyum-bakır-silisyum alaşımlarının geliştirilmesine ilişkin çalışmaların başlamasına neden olmuştur.

Düşük hız ve aşırı yüklemenin söz konusu olduğu yatak uygulamalarında çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların geleneksel yatak malzemelerinden üretilen yataklardan daha üstün performans sergiledikleri belirlenmiştir. Ancak, bu alaşımların kullanım sırasında boyut değişimine maruz kaldıkları ve mekanik özelliklerinin de sıcaklığa oldukça duyarlı olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle bu alaşımlar üzerinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, söz konusu alaşımların kullanımlarını kısıtlayan etkenlerin ortadan kaldırılması ve kullanım alanlarının daha da genişletilmesi noktaları üzerine yoğunlaştırılmıştır.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların tribolojik özelliklerinin incelenmesinde daha çok bu alaşımlardan alınan sürtünme veya aşınma örnekleri kullanılmış, ancak bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların değişik yükleme ve çalışma koşullarındaki tribolojik özellikleri yeterince incelenmemiştir. Diğer taraftan, söz konusu alaşımların tribolojik özellikleri ile bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların tribolojik özellikleri karşılaştırılarak, yatak tasarımına yönelik değerlendirme yapılmamıştır. Ayrıca, bu alaşımlardan üretilen yatakların dinamik yük altındaki tribolojik davranışlarının incelenmediği görülmüştür. Bu nedenle bu tezin amacı; çinko-alüminyum esaslı

alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların hem statik, hem de dinamik yük altındaki tribolojik özelliklerini incelemek ve bulunan sonuçları değerlendirerek gerek alaşımların, gerekse bu alaşımlardan üretilen yatakların tasarımına yönelik bilgiler elde etmektir.



2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Alaşımın Üretimi ve Isıl İşlemi

Bu çalışmada; bir adet ikili çinko-alüminyum (Zn-Al), altı adet üçlü çinko-alüminyum-bakır (Zn-Al-Cu) ve iki adet dördü çinko-alüminyum-bakır-silisyum (Zn-Al-Cu-Si) alaşımı kokil döküm yöntemi ile üretildi. Alaşımın üretiminde yüksek saflıkta (%99,99) çinko, ticari saflıkta (%99,70) alüminyum ve elektrolitik bakır (% 99,99) kullanıldı. Silisyum içeren alaşımın üretiminde Etial-140 (AlSi12) alaşımı, bakır içeren alaşımın üretiminde de alüminyum-bakır (AlCu50) alaşımı kullanıldı. Ergitme işlemi, elektrikli bir pota fırınında gerçekleştirildi. Ergitilen alaşım, kimyasal bileşimlerine göre belirlenen ve 600 ile 700°C arasında yer alan uygun bir döküm sıcaklığından, 150°C sıcaklığa kadar ısıtılan bir çelik kalıba dökülerek katılaştırıldı. Üretilen alaşımlara ait külçelerin bir kısmı dökülmüş, bir kısmı da stabilize edilmiş durumda kullanıldı. Stabilizasyon işlemi, alaşımın 150°C sıcaklıkta 10 gün yaşlandırılması ile gerçekleştirildi. Alaşımın kimyasal bileşimleri atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) yardımıyla belirlendi.

2.2. Alaşımın Yapısal, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Alaşımardan talaşlı işlemle hazırlanan silindirik şeklindeki örneklerin boyutları $\pm 0,001$ mm hassasiyetindeki bir mikrometre yardımıyla ölçülerek hacimleri belirlendi. Söz konusu örneklerin kütleleri ise $\pm 0,01$ mg'lık hassasiyete sahip bir terazide ölçüldü. Ölçülen kütle değerlerinin hacim değerlerine bölünmesi sonucunda alaşımın yoğunlukları hesaplandı.

Dökülmüş ve ısıl işlem görmüş durumdaki alaşımlardan standart metalografi yöntemiyle hazırlanan örnekler, %15'lik Nital (%85 etil alkol + %15 nitrik asit) içerisinde dağlandıktan sonra iç yapıları hem ışık mikroskobu, hem de taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelendi.

Alaşımardan talaşlı imalatla, 8X40 TS 138A standardına uygun olarak hazırlanan örnekler çekme deneyine tabi tutuldu. Çekme deneyi sonucunda, alaşımların çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri belirlendi. Alaşımın sertlikleri ise, Brinell sertlik ölçme yöntemi ile 62,5 kg yük altında 2,5 mm çapında uç kullanılarak ölçüldü. Her bir örnek üzerinde beş sertlik ölçümü yapılarak elde edilen değerlerin ortalaması alındı.

2.3. Alaşımın ve Bu Alaşımardan Üretilen Yatakların Sürtünme ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

2.3.1. Alaşımın Sürtünme ve Aşınma Deneyleri

Bu çalışma için üretilen alaşımların sürtünme ve aşınma özellikleri, çubuk-disk (pin-on-disc) esaslı bir deney düzeneği yardımı ile incelendi. Şematik resmi Şekil 3'de verilen deney düzeneği; 3 kW gücünde bir elektrik motoru, 12 kW gücünde bir hız kontrol ünitesi, mil, disk, örnek tutucusu, yükleme kolu, yağlama sistemi ve sürtünme kuvveti ölçüm devresinden oluşmaktadır. Düzenekte kullanılan disk, bir kaymalı yatak ünitesindeki mili, örnek ise yatağı temsil etmektedir. Yükleme işlemi, örnek tutucusunun bağlı olduğu yükleme kolunun ucuna ağırlık asmak suretiyle gerçekleştirildi. Motorun devir sayısı (milin dönme hızı) elektrik devresine monte edilen bir hız kontrol ünitesi yardımıyla kontrol edildi. Yağlama, yüksek bir yere yerleştirilen depodan ince bir hortum yardımıyla alına yağın, bir debi ayarlayıcısından geçirildikten sonra disk üzerine damlatılarak gerçekleştirildi.

Sürtünme kuvvetini ölçmek için, örnek tutucusu ile sabit mesnet arasına 25 kg kapasiteye sahip R-25 tipi bir yük hücresi yerleştirilmiştir. Sürtünme sırasında yük hücresinden alınan gerilim, bir yükselticide (strain indicator) kuvvetlendirildikten sonra bir yazıcıya aktarılarak, sürtünme kuvvetine ait gerilimin çalışma zamanına göre değişimi sürekli olarak kayıt edildi.

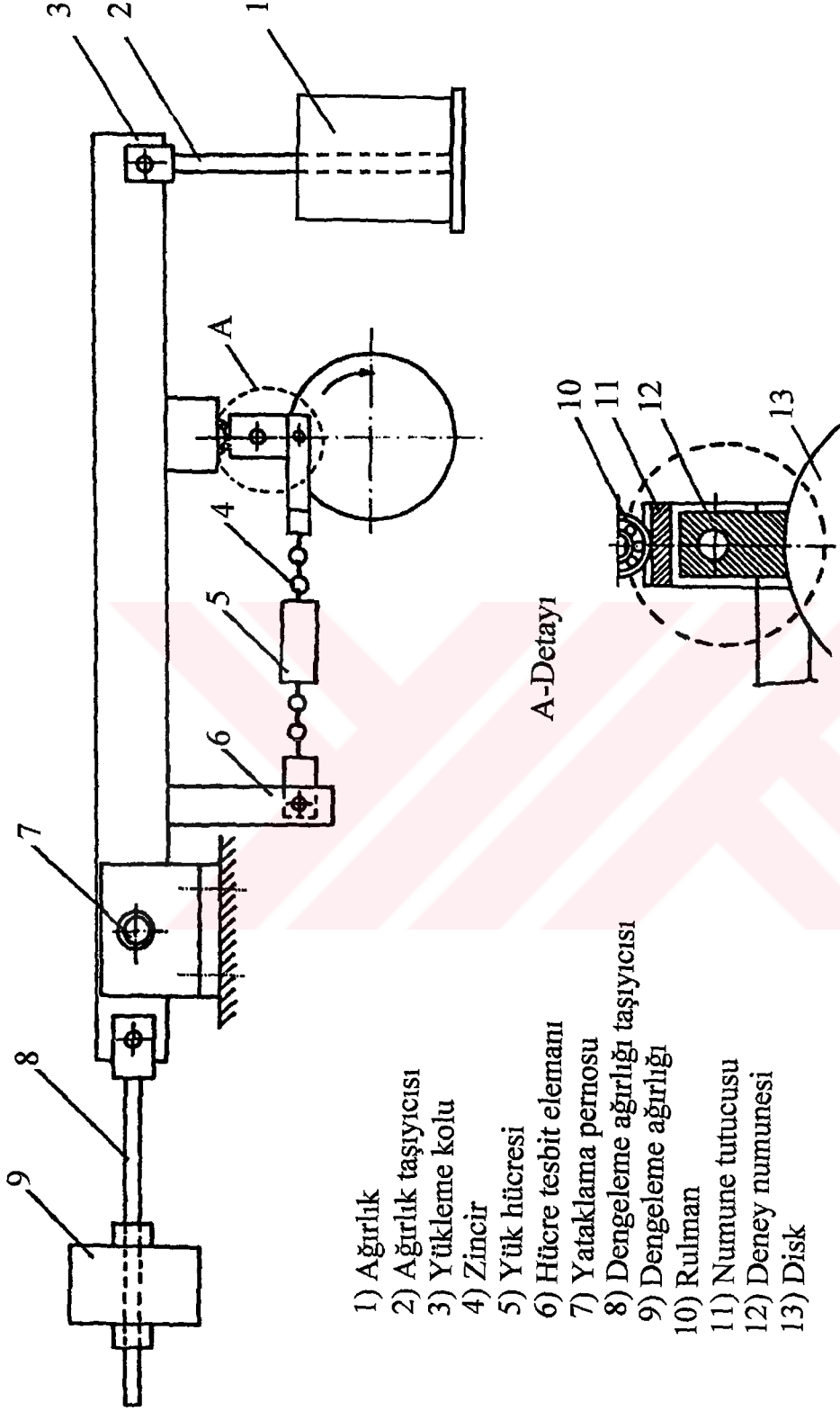
Düzeneğe ait disk 150 mm çapında olup, bu disk SAE 4140 çeliğinden imal edildi ve ısıl işlemlerle 55 RSD-C değerine kadar sertleştirildi. Sertleştirilen diskin yüzeyi $\pm 3\mu\text{m}$ 'lik bir hassasiyetle taşlandı. Disk-çubuk esaslı deney düzeneği Şekil 4'deki fotoğrafta görülmektedir. Şekil 5'deki fotoğraf ise disk, aşınma örneği ve yük hücresinin yakından görünümünü sergilemektedir.

Sürtünme ve aşınma deneylerinde kullanılmak üzere çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile DIN-1705 normuna uygun CuSn12 bronzundan talaşlı işleme örnekler hazırlandı. Hazırlanan örneklerin uçları, iç çapı $149,6 \pm 0,05$ mm olan bir kalıpta işlendi. Söz konusu deney örneklerinin teknik resmi Şekil 6'da, fotoğrafları ise Şekil 7'de verilmiştir.

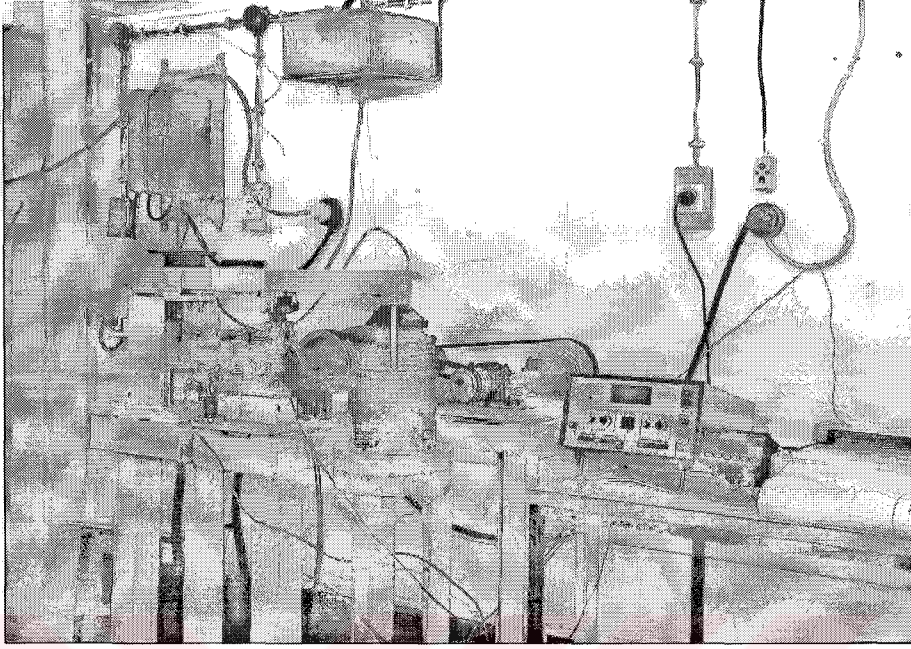
Sürtünme kuvvetini ölçmek için kullanılan yük hücresi, ucuna belirli ağırlıklar asılarak elde edilen verilerin değerlendirilmesi suretiyle kalibre edildi. Yük hücresinden alınan gerilim bir yükselticide güçlendirildikten sonra yazıcıya aktarıldı. Söz konusu gerilimin uygulanan yüke göre değişimini gösteren kalibrasyon doğrusu Şekil 8'de verilmiştir.

Söz konusu alaşımların, sürtünme katsayılarını belirlemek için hazırlanan örneklerin herbiri, aşınma deney düzeneğinde yaklaşık 20 saatlik bir süre sürtünme deneyine tabi tutuldu. Sürtünme kuvvetinin yük hücresinde oluşturduğu gerilim değeri bir yükselticiden geçirildikten sonra, bir yazıcı ile sürekli olarak kaydedildi ve söz konusu değer kalibrasyon eğrisi yardımıyla sürtünme kuvvetine çevrildi. Daha sonra bu değer normal yüke bölünerek sürtünme katsayısı bulundu. Deney örneğinin sıcaklığı, temas yüzeyinin 1,5 mm yukarısında açılan bir deliğe yerleştirilen bir bakır-nikel termoeleman çifti yardımıyla ölçüldü ve bunun zamana göre değişimi bir yazıcı ile çizdirildi. Alaşımların sürtünme deneyleri; 2 m/s'lik kayma hızı, 5,2 MPa'lık yüzey basıncı ve 1,5 cm³/saat'lik sabit yağ akış debisinde gerçekleştirildi.

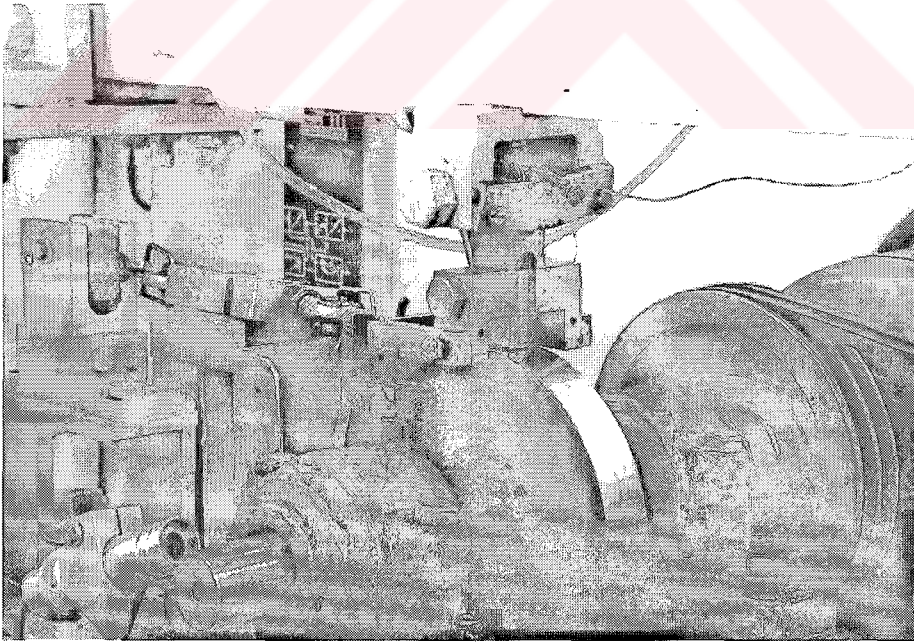
Aşınma deneylerine başlamadan önce, kimyasal çözücüler içerisinde ultrasonik temizleyici yardımı ile temizlenen örneklerin kütleleri, 0,01 mg'lık hassasiyete sahip bir terazi ile ölçüldü. 108 km'lik yola karşılık gelen her 20 saatlik çalışma süresi sonunda sökülerek kimyasal çözücüler içerisinde temizlenen deney örnekleri tartılarak, aşınma ile meydana gelen kütle kayıpları belirlendi. Deneyler 864 km'lik yola karşılık gelen 160 saat süre sonunda tamamlandı. Yataklardaki aşınma miktarı genelde hacim kaybı olarak gösterildiğinden, ölçülen kütle kayıpları alaşımların yoğunluklarına bölünerek hacim kaybı değerleri belirlendi. Aşınma deneyleri; 6,5 MPa'lık basınç, 1,5 m/s'lik kayma hızı ve 2,5 cm³/saat'lik sabit yağ akış hızında gerçekleştirildi. Hem sürtünme, hem de aşınma deneylerinde SAE 20W/50 normuna uygun motor yağı kullanıldı.



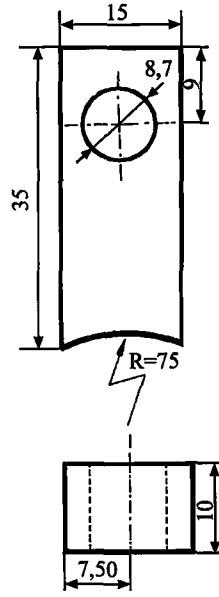
Şekil 3. Çubuk-disk esaslı aşınma deney düzeninin şematik resmi



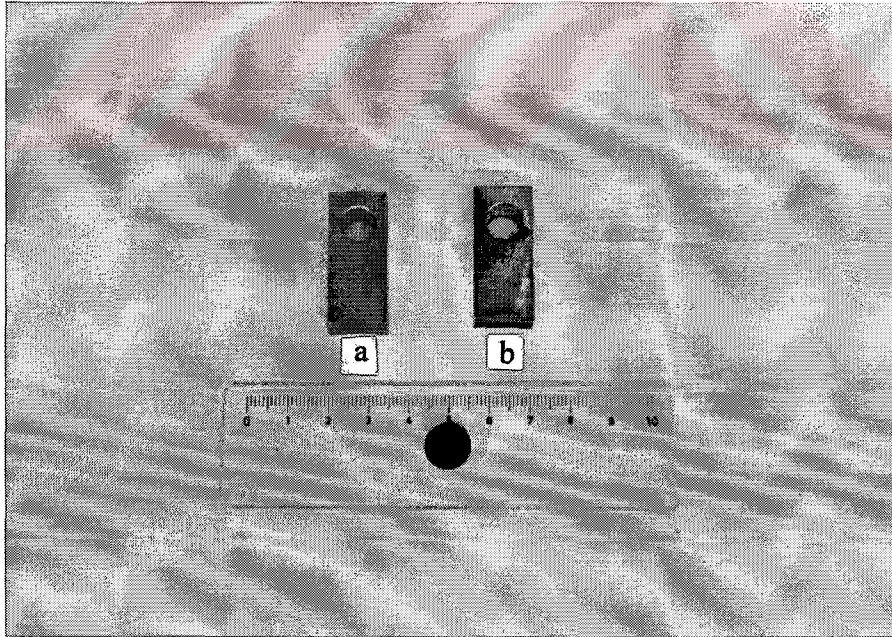
Şekil 4. Çubuk-disk esaslı aşınma deney düzeneğinin genel görünümü



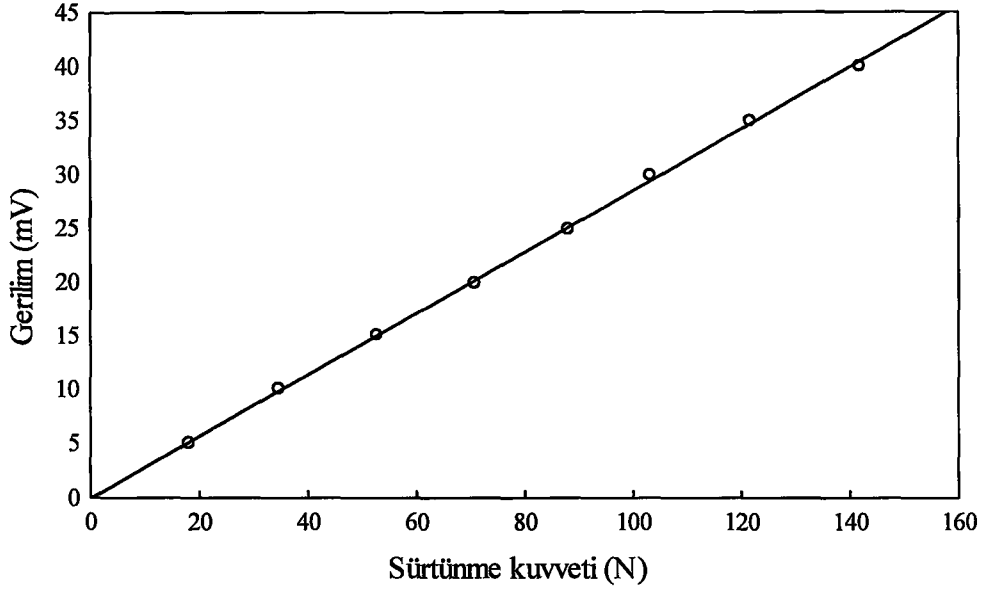
Şekil 5. Çubuk-disk esaslı aşınma deney düzeneğinde örnek, disk ve yük hücresinin yakından görünümü



Şekil 6. Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan örneğin teknik resmi



Şekil 7. Sürtünme ve aşınma deneylerinde kullanılan a) Zn-Al esaslı alaşıma, b) CuSn12 bronzuna ait örneklerin resmi



Şekil 8. Sürtünme kuvveti ölçümünde kullanılan yük hücresi için kalibrasyon doğrusu

2.3.2. Yatakların Aşınma Deneyleri

İncelenen alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların hem statik, hem de dinamik yük altındaki aşınma özellikleri, mil eksenine paralel ve dik kesitlerinin resimleri Şekil 9 ve 10'da verilen bir deney düzeneği yardımıyla incelendi. Bu deney düzeneği; 3 kW gücündeki bir elektrik motoru, bir adet deney yatağı ve yatak gövdesi, muylu çapı 44,48 mm olan ve deney yatağı ile eş çalışan bir adet ana mil, ana mili yataklayan iki adet rulman, statik ve dinamik yük uygulayabilen bir hidrolik yükleme ünitesi, bir tahrik mili, bir kayış-kasnak sistemi, bir hız kontrol ünitesi, yağ pompaları içeren bir yağlama sisteminden oluşmaktadır. Düzenek, yüzeyi taşlanmış bir çelik tabla üzerine monte edilmiştir.

Düzeneğe ait ana mil Fe 42 çeliğinden imal edilmiş olup, yüzeyi sementasyon işlemi ile 55 RSD-C değerine kadar sertleştirilmiştir. Yüzeyi sertleştirildikten sonra, $\pm 3 \mu\text{m}$ 'lik bir hassasiyetle taşlanan ana mil, her iki taraftan oynak makaralı rulmanlar ile yataklanmıştır. Kaymalı yatakların kolayca sökülüp takılabilmeleri için yatak gövdesi iki parçalı olarak imal edilmiştir. Yatak gövdesine takılan deney yatağının aksenal ve radyal yöndeki hareketleri bir pim vasıtasıyla önlenmektedir. Söz konusu deney düzeneğinin ana hatlarını

gösteren fotoğraf Şekil 11'de, örneği yataklayan gövdeyi, deney milini ve yataklama rulmanlarını gösteren fotoğraf ise Şekil 12'de verilmiştir.

Düzenekte meydana gelen titreşimlerin ve eksenel sapmaların deney yatağına iletilmesinin önlenmesi için ana mil tahrik miline bir elastik kavrama ile bağlanmıştır. Tahrik mili, bir kayış-kasnak sistemi aracılığı ile gücü 3 kW olan bir alternatif akım (AC) motoru tarafından tahrik edilmektedir. Ana milin devir sayısı, söz konusu motora bağlanan 12 kW'lık güce sahip bir hız kontrol ünitesi yardımıyla kontrol edilmektedir.

Deney yatağının gerek statik, gerekse dinamik olarak yüklenmesinde prensip şeması Şekil 13'de verilen bir hidrolik devre kullanılmaktadır. Söz konusu hidrolik devre; 1,5 kW gücündeki bir elektrik motoru ile tahrik edilen bir dişli pompa, bir yağ deposu, bir basınç sınır vanası, bir yön kontrol vanası, bir küresel vana, bir hidrolik akümülatör, bir oransal vana ve elektronik regülatör, bir basınç algılayıcısı, manometre ve çift tesirli bir hidrolik silindir gibi elemanlardan oluşmaktadır. Bu hidrolik devreye ilave edilen osiloskop, yükleme kartı ve gerekli programla donatılmış bir bilgisayar ve doğru akım güç kaynağı gibi elemanlar sayesinde uygulanan yükün kumandası ve kontrolü sağlanmaktadır. Yükün kumanda ve kontrolünü sağlayan sistemin şematik resmi Şekil 14'de verilmiştir. Kontrolü söz konusu sistemle sağlanan ve hidrolik devre ile tahrik edilen piston kolunun uyguladığı kuvvet bir bilya vasıtasıyla doğrudan yatak gövdesine iletilmekte ve böylece radyal ve eksenel sapmalar önlenerek, yükün yatak ve mil eksenine dik yönde iletilmesi sağlanmaktadır. Hidrolik silindirde oluşan basınç, bir yağ manometresi ile 0,05 MPa'lık bir duyarlılıkla ölçülmektedir. Hidrolik yükleme ünitesine ait yağ deposunun içerisine su sirkülasyonu bir soğutucu yerleştirilerek devredeki yağın aşırı ısınması önlenmiştir.

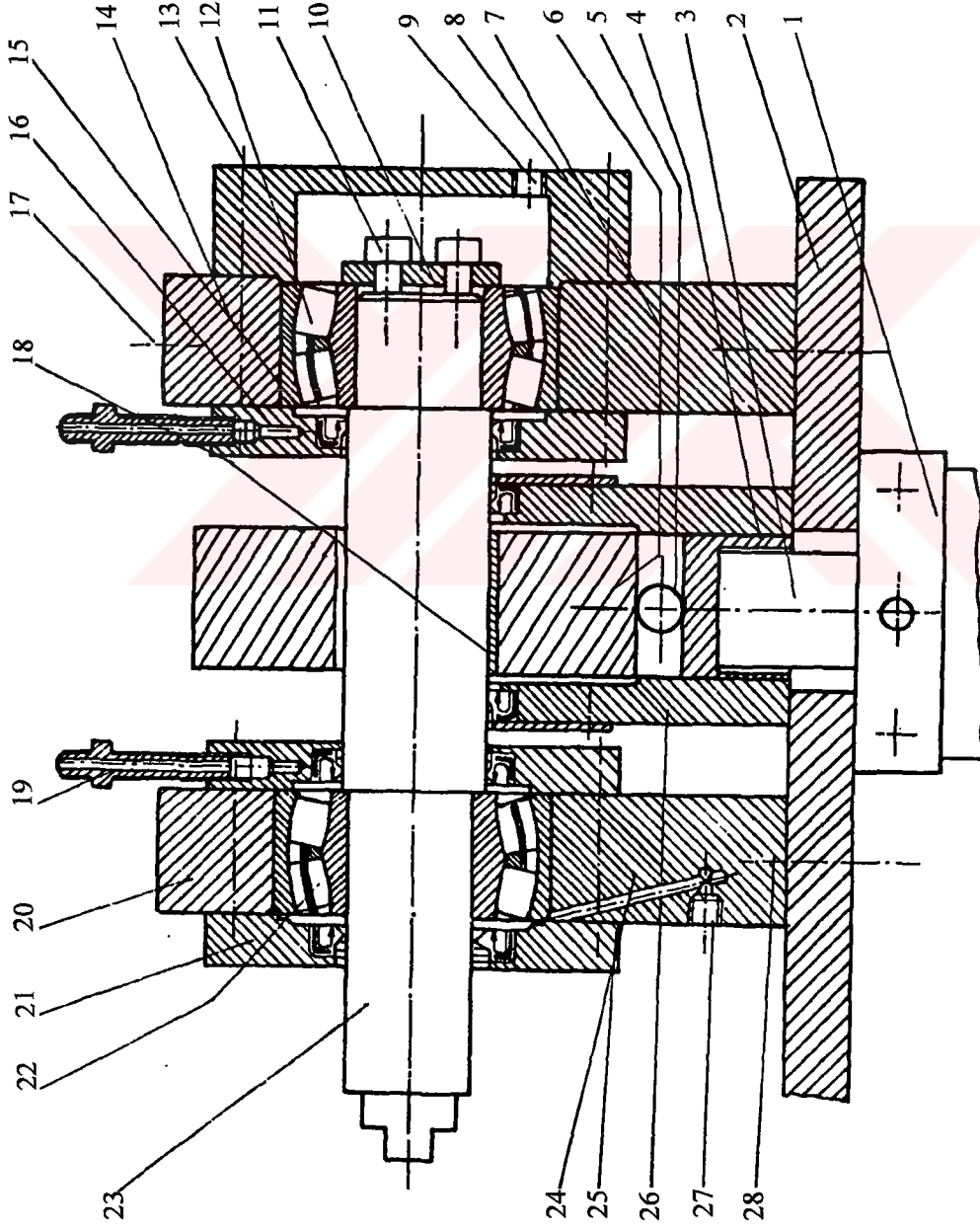
Hidrolik yükleme ünitesi yardımıyla dinamik yük elde etmek için, bir oransal vana ile bir elektronik regülatör kullanılmaktadır. Ayrıca, sistemde oluşacak basınç kayıplarını en aza indirmek için yön kontrol vanası devreden çıkarılmıştır. Yatağa uygulanan dinamik yükün frekansı bir elektronik kart ve bilgisayar programı ile ayarlanmaktadır. Dinamik yükün frekansını ayarlamak için söz konusu kontrol kartı ve bilgisayar programı ile düzeneğe ait vananın açılıp kapanması kontrol edilmektedir. Ayrıca, uygulanan yükün en yüksek ve en düşük değerleri, toplam çevrim sayısı ve çalışma zamanı bilgisayar yardımıyla ayarlanabilmektedir. Hidrolik yükleme ünitesinin yatağa uyguladığı basıncın değişimi, hidrolik yükleme devresi üzerine yerleştirilen bir basınç algılayıcısı ile algılandıktan sonra bir osiloskopa aktarılıp, bu osiloskobun ekranında izlendi ve yatağa

Her devre için üç ayrı yağ deposu kullanılmaktadır. Her sirkülasyon devresi farklı bir yağ deposu ile beslenmektedir. Devredeki yağın temizlenmesi için, pompa çıkışlarına yağ filtreleri monte edilmiştir. Filtrasyon işleminden sonra basınç ve debisi ayarlanan yağ, hem deney yatağına hem de diğer yataklama rulmanlarına gönderilmektedir.

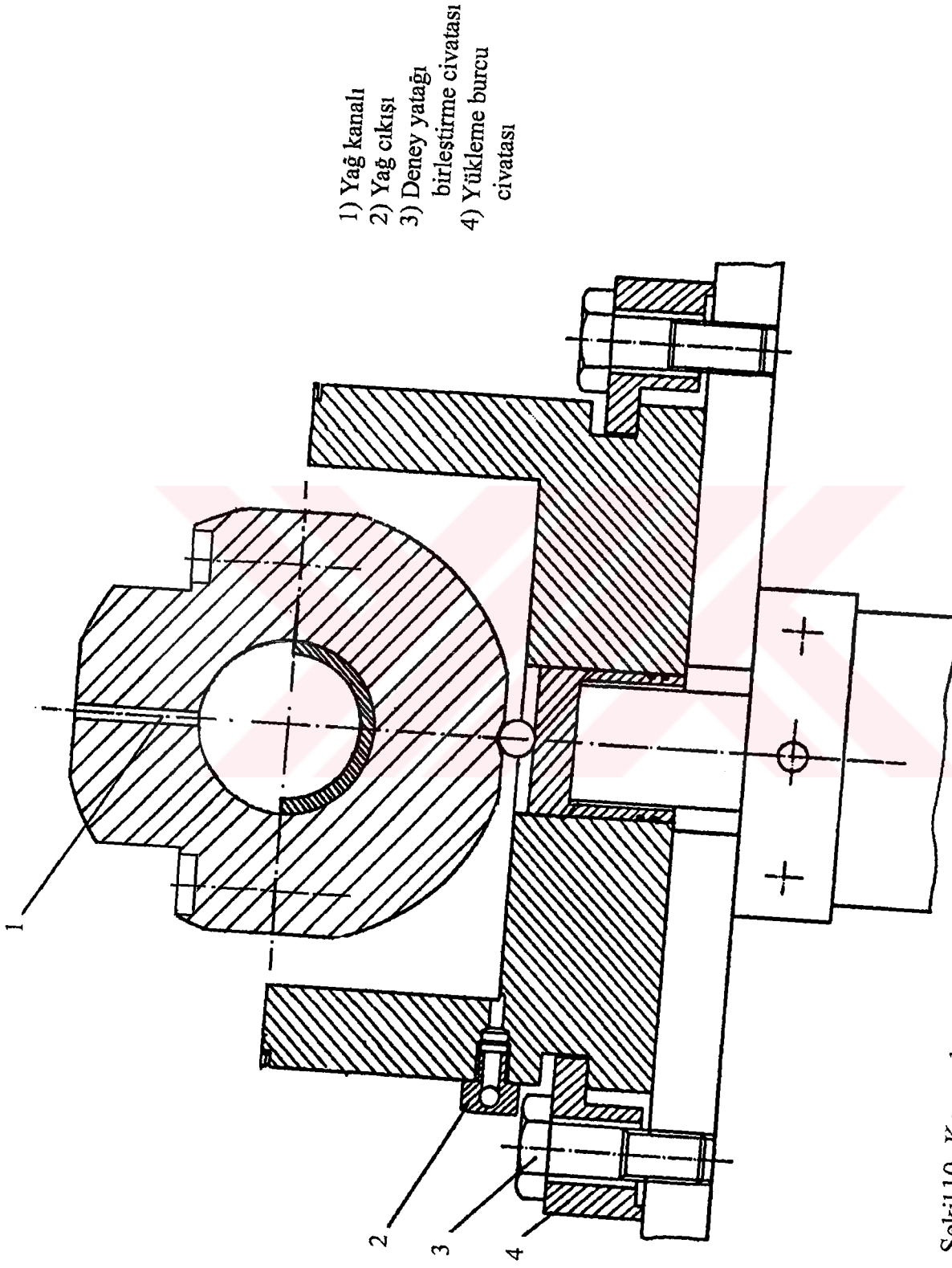
Literatürde [22] belirtilen yatak boşluğunu elde etmek için, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan ve CuSn12 bronzundan çapı 44,60 mm, boyu 45 mm ve et kalınlığı 3 mm olan yataklar talaşlı işlemle imal edildi. Yarım yatak şeklinde üretilen bu yatakların teknik resmi Şekil 16'da, fotoğrafları ise Şekil 17'de görülmektedir.

Deney yatağının yüklenmesinde kullanılan hidrolik yükleme ünitesinin kalibrasyonu için ana mil, deney yatağı ve yatak gövdesi ile destekleme rulmanlarının üst parçaları çıkartıldı. Kalibrasyon işleminden önce hidrolik yükleme sistemi bir saatlik bir süre çalıştırılarak dengeye gelmesi sağlandı. Pistonun yatağa uyguladığı basma kuvvetini ölçmek için, sabit bir destek ile yükleme pistonu arasına 10 ton kapasiteli bir kalibrasyon cihazı yerleştirildi. Kalibrasyon işlemi için; kalibrasyon cihazına ait hidrolik silindir yükleme pistonu ile yavaş yavaş yüklenerek, uygulanan basıncın kalibrasyon cihazında oluşturduğu kuvvet değerleri ölçüldü. Kalibrasyon cihazında ölçülen kuvvetin, uygulanan basınca göre değişimini gösteren kalibrasyon eğrisi Şekil 18'de verilmiştir.

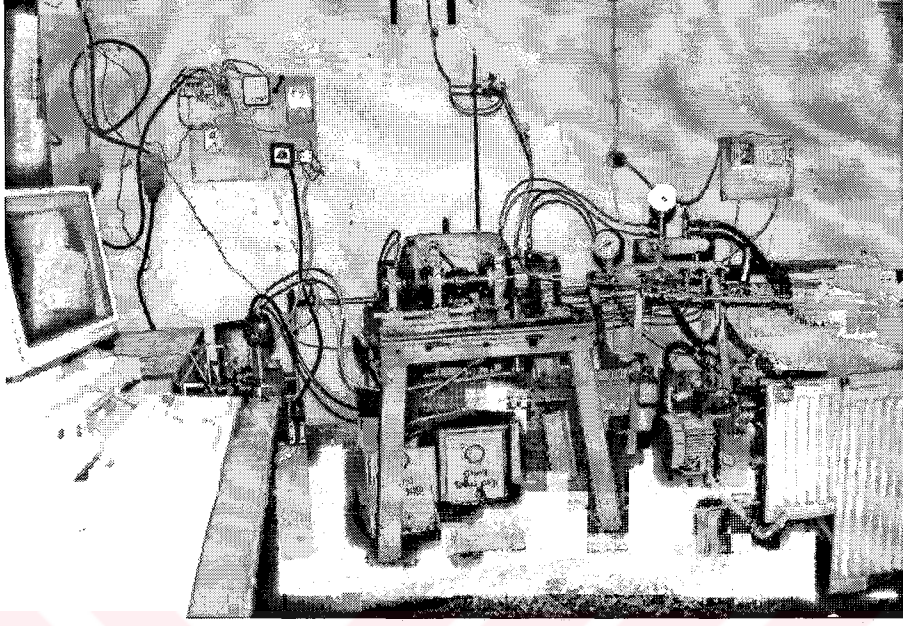
- 1) Hidrolik silindir
- 2) Ana montaj tablası
- 3) Piston kolu
- 4) Yükleme pistonu
- 5) Merkezleme bilyası
- 6) Yatak gövdesi
- 7) Sabit rulman yuvası
- 8) Kapak
- 9) Yağ çıkışı
- 10) Rulman sabitleme pulu
- 11) Sabitleme civatası
- 12) Sabit rulman
- 13) Montaj civatası
- 14) Üst rulman yuvası
- 15) Yağ keçesi
- 16) Yatak yuvası kapağı
- 17) Birleştirme civatası
- 18) Yatak burcu
- 19) Yağ girişi
- 20) Rulman üst parçası
- 21) Yatak yuvası kapağı
- 22) Serbest rulman
- 23) Mil
- 24) Alt rulman yuvası
- 25) Rulman yuvası kapağı
- 26) Destekleme burcu
- 27) Yağ çıkışı
- 28) Yatak montaj civatası



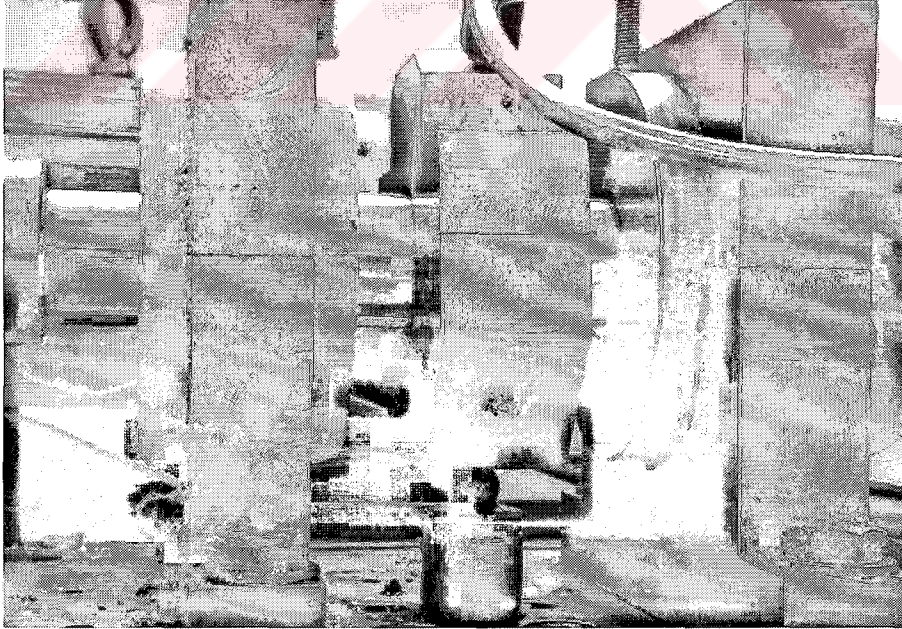
Şekil 9 . Kaymalı yatak deney düzeneğinin mil eksenine paralel kesitinin resmi



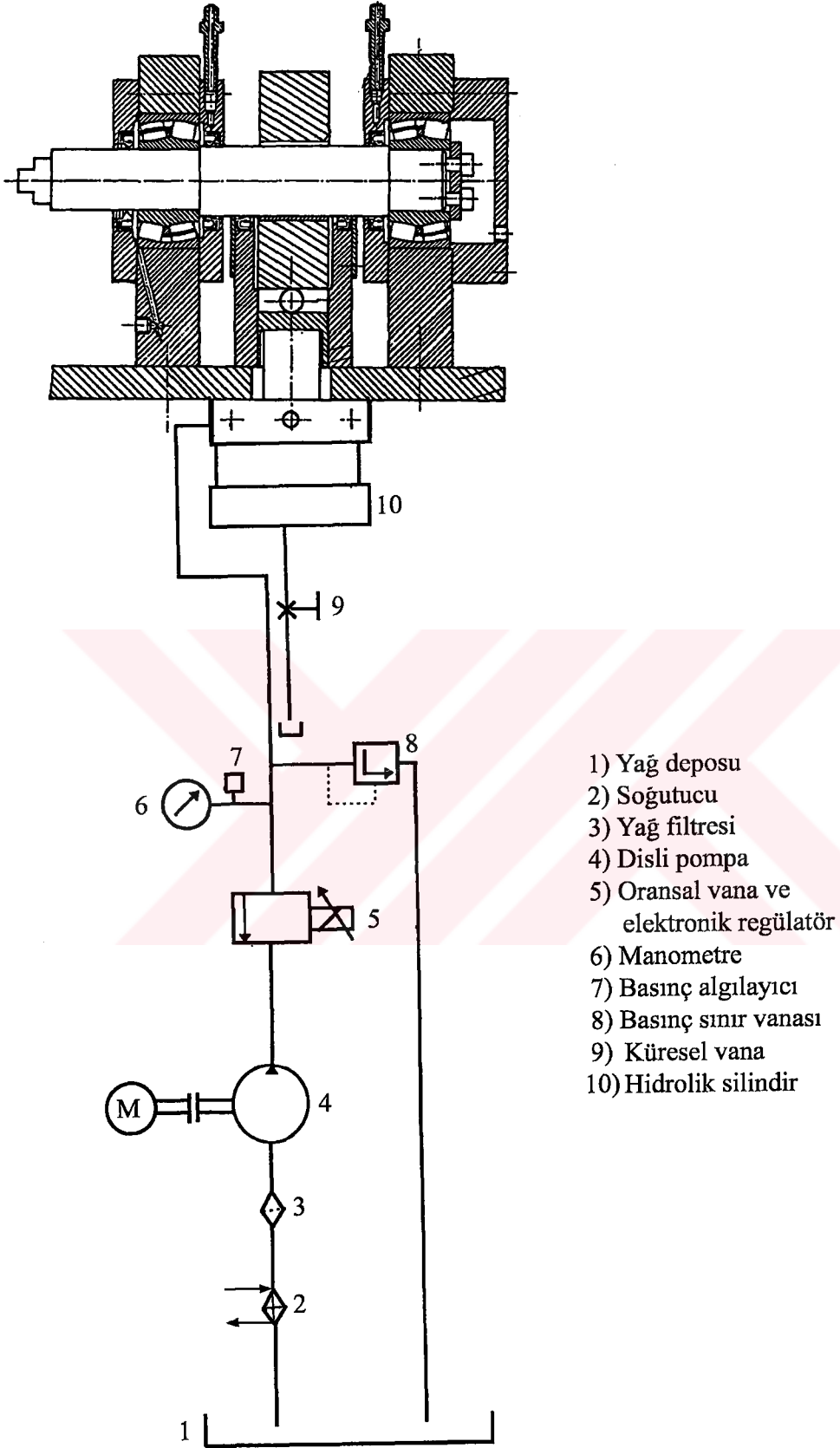
Şekil 10 . Kaymalı yatak deneş düzeneginin mil eksenine dik kesitinin resmi



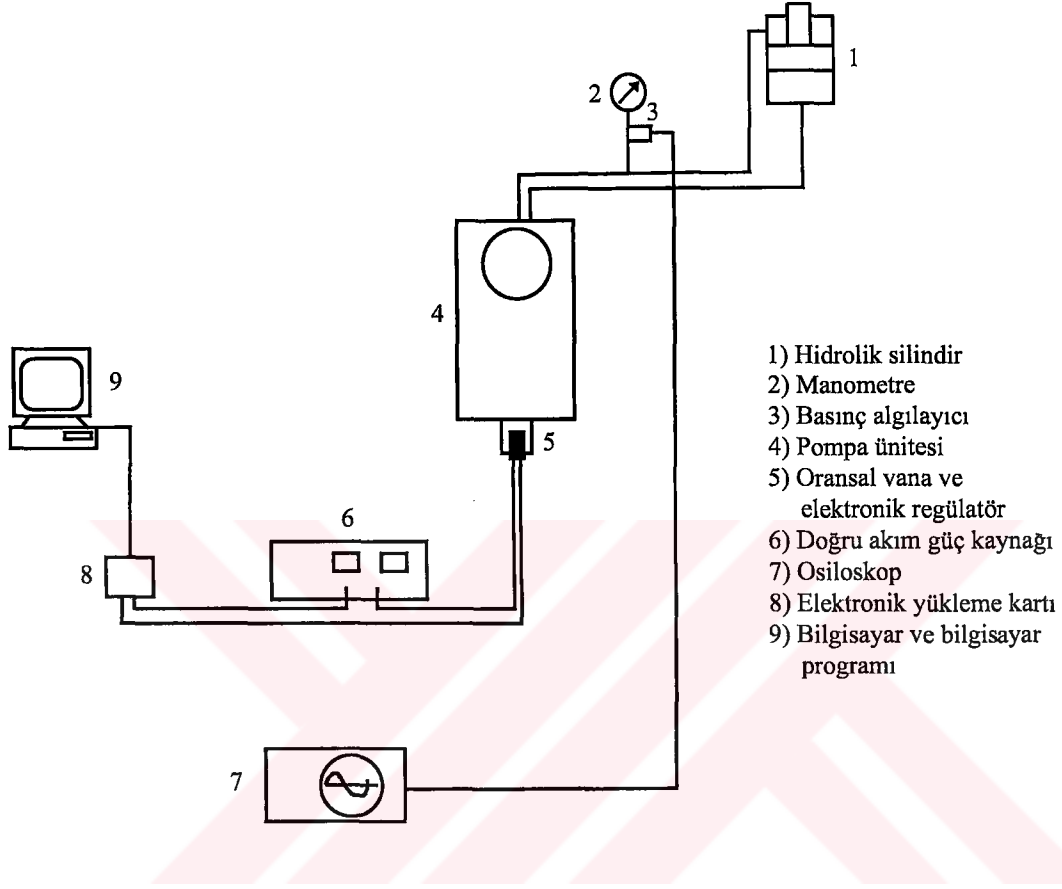
Şekil 11. Kaymalı yatak deney düzeneğinin genel görünümü



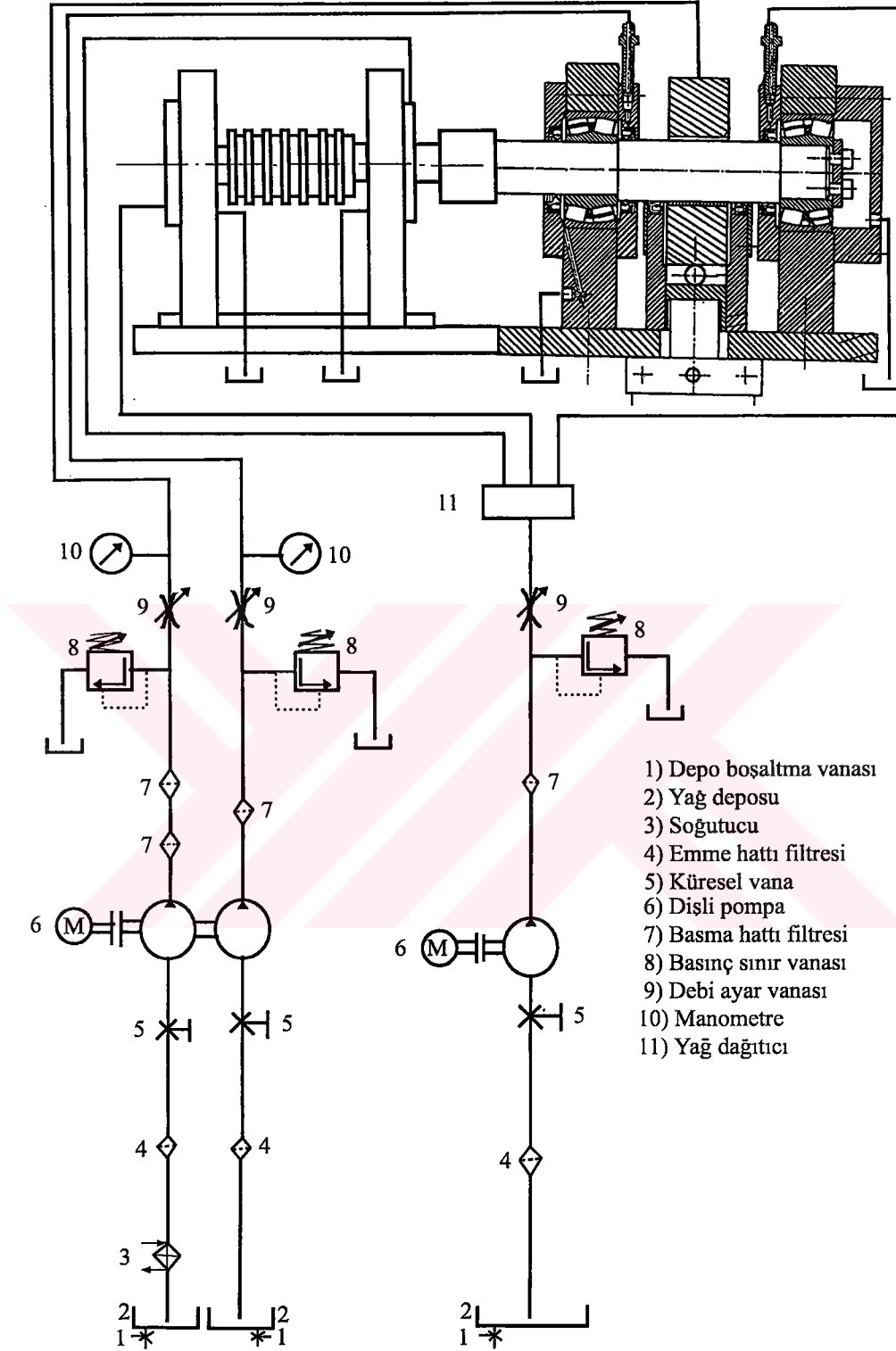
Şekil 12. Kaymalı yatak deney düzeneğinin yakından görünümü



Şekil 13. Yatak gövdesine hem statik, hem de dinamik yük uygulayan hidrolik yükleme devresi



Şekil 14. Hidrolik yükleme ünitesinde yükün kumanda ve kontrolünü sağlayan sistemin şematik resmi

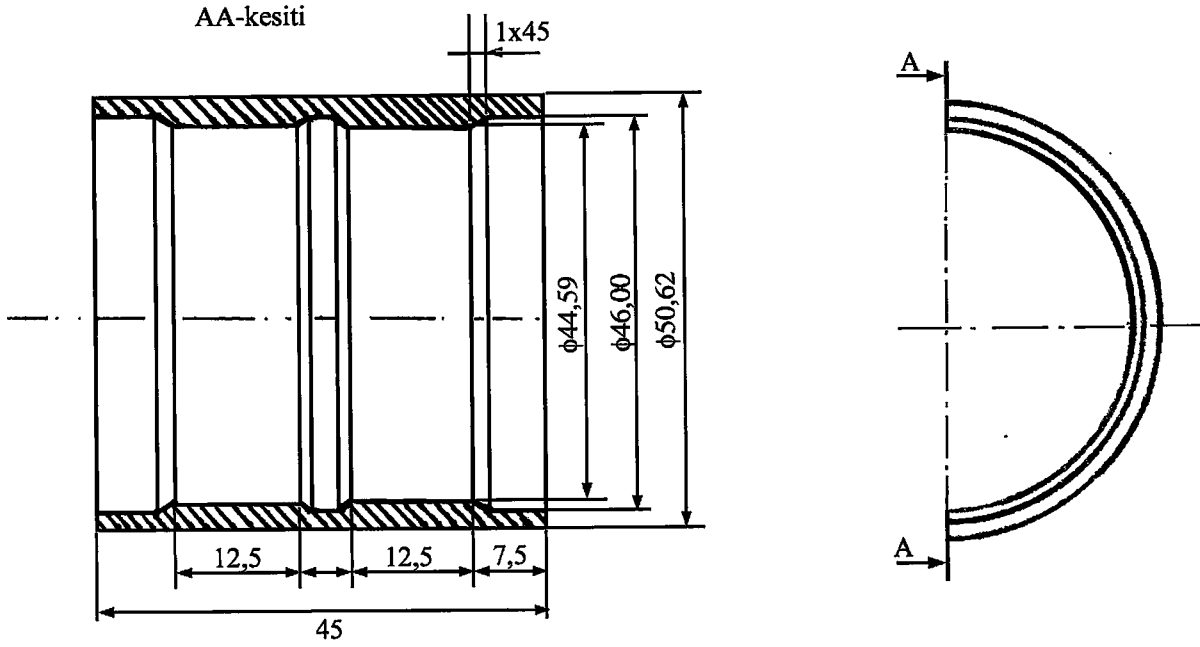


Şekil 15. Deney yatağı ve yataklama rulmanlarına ait yağlama devresi

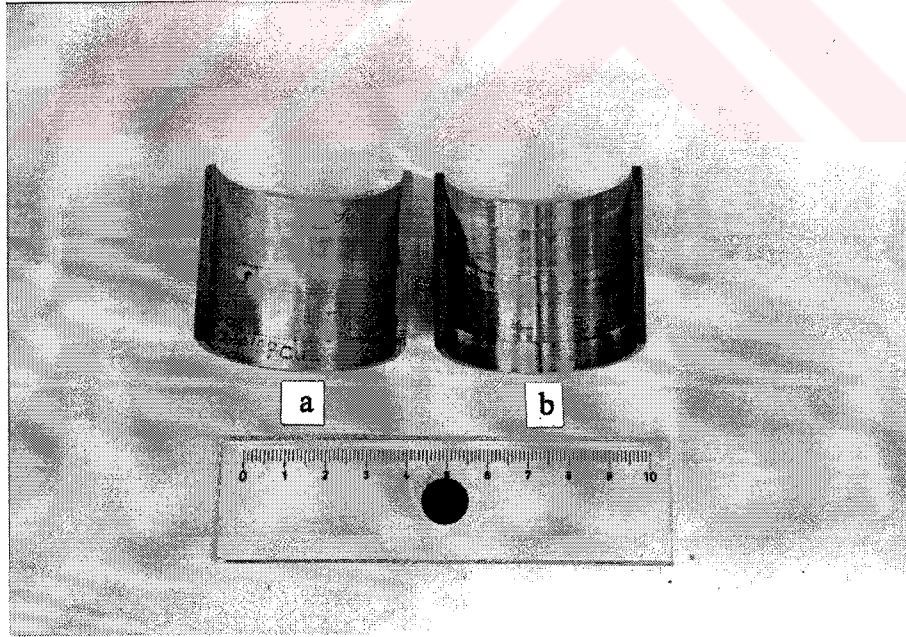
Üretilen yataklar, aşınma deneylerine başlamadan önce kimyasal çözücüler içerisinde temizlenip, 0,01 mg hassasiyetindeki bir terazi ile tartıldıktan sonra düzenekteki yuvaya yerleştirildi. Yataklar her yirmi saatlik çalışma süresi sonunda temizlenip, tartıldıktan sonra aşınmadan dolayı meydana gelen kütle kayıpları belirlendi. Bulunan kütle kayıpları alaşımların yoğunluklarına bölünerek, aşınma nedeniyle yataklarda meydana gelen hacim kayıpları hesaplandı. Yatakların sıcaklıkları aşınma yüzeyinin 1,5 mm altına yerleştirilen bir bakır-nikel termoeleman çifti yardımıyla ölçüldü ve sıcaklıkların değişimini gösteren bir yazıcı ile çizdirildi. Deneylerin her biri, 850 km'lik yola karşılık gelen 160 saatlik bir sürede tamamlandı. Statik yük altında yapılan deneyler; 20 MPa'lık basınç, 1,3 m/s'lik kayma hızı ve 240 cm³/saat'lik sabit yağ akış hızında gerçekleştirildi. Dinamik yük altında yapılan deneyler ise; 1,3 m/s'lik kayma hızı, 240 cm³/saat'lik sabit yağ akış hızı, 15-20 MPa basınç değerleri arasında ve 10 Hz'lik yükleme frekansında yapıldı. Statik ve dinamik yük altında yapılan aşınma deneyleri, Stribeck diyagramında sınır veya karışık sürtünme bölgesinesine karşılık gelecek şekilde seçildi. Bunun için, bu yataklarla ilgili daha önce belirlenen Stribeck diyagramlarından yararlandı. Dinamik yük altında yapılan deneyler için seçilen yük ve yükleme frekansı değerleri, ağır yük taşıtlarının krank miline ait yataklara uygulanan yük ve yükleme frekansı değerleri esas alınarak belirlendi. Gerek statik, gerekse dinamik yükleme koşullarında yapılan yatak deneylerinde, aşınma örnekleri ile yapılan deneylerde olduğu gibi SAE 20W/50 normuna uygun yağ kullanıldı.

Yatak basıncının aşınma hızına ve yatak sıcaklığına etkisini belirlemek için, 3,5 MPa ile 22 MPa arasındaki değişik basınçlarda, 20 km'lik yola karşılık gelen sürelerde aşınma deneyleri yapıldı. Sözü edilen deneyler, 1,3 m/s'lik kayma hızı ve 30 cm³/saat'lik yağ akış hızında gerçekleştirildi. Kayma hızının yatak sıcaklığı ve aşınma hızına etkisini belirlemek için de, 0,46-2,6 m/s arasındaki değişik hızlarda 20 km'lik yola karşılık gelen sürelerde yapıldı. Bu deneyler ise, 18 MPa'lık basınç ve 30 cm³/saat'lik yağ akış hızında gerçekleştirildi.

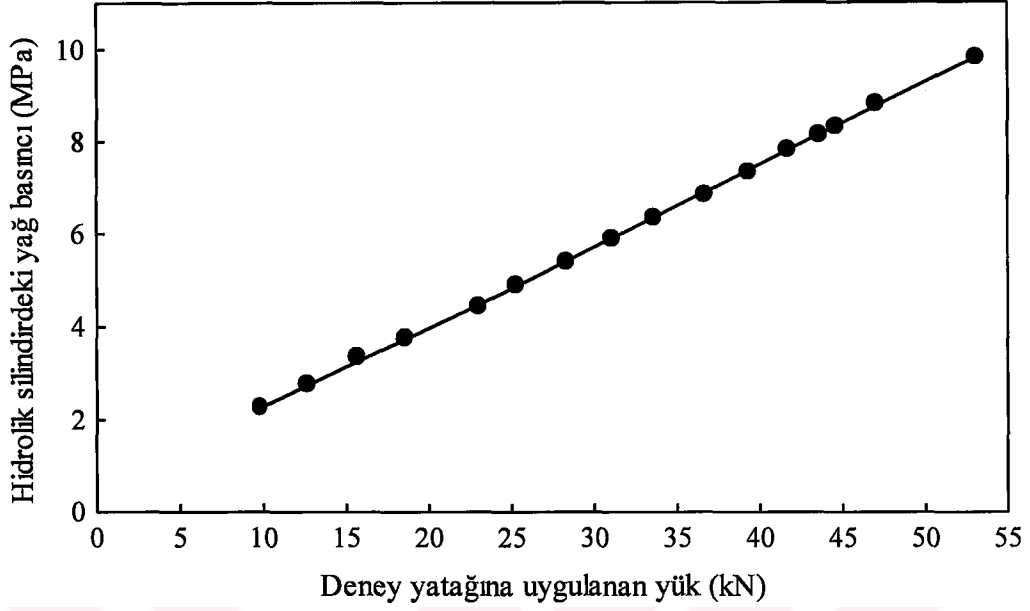
Ayrıca bakır oranının, monotektoid bileşime sahip çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların aşınma davranışına etkilerini belirlemek için de 800 km'lik yola karşılık gelen 180 saat süreli deneyler yapıldı.



Şekil 16. Aşınma deneylerinde kullanılan yatakların teknik resmi



Şekil 17. Aşınma deneylerinde kullanılan yarım yatakların fotoğrafı: a) Zn-Al esaslı alaşımdan üretilen yatak, b) CuSn12 bronzundan üretilen yatak



Şekil 18. Deney yatağına uygulanan yükün belirlenmesinde kullanılan kalibrasyon doğrusu

2.3.3. Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi

İncelenen bütün alaşımlar ile bu alaşımlardan üretilen yataklardaki aşınma mekanizmalarını belirlemek amacıyla, deneye tabi tutulan bütün örneklerin ve yatakların yüzeyleri taramalı elektron mikroskobunda (SEM) ikincil elektron görüntü yöntemi ve enerji dispersif analiz yöntemi uygulanarak incelendi.

3. BULGULAR

3.1. Alaşımların Kimyasal Bileşimleri ve Yapısal İncelemelerden Elde Edilen Bulgular

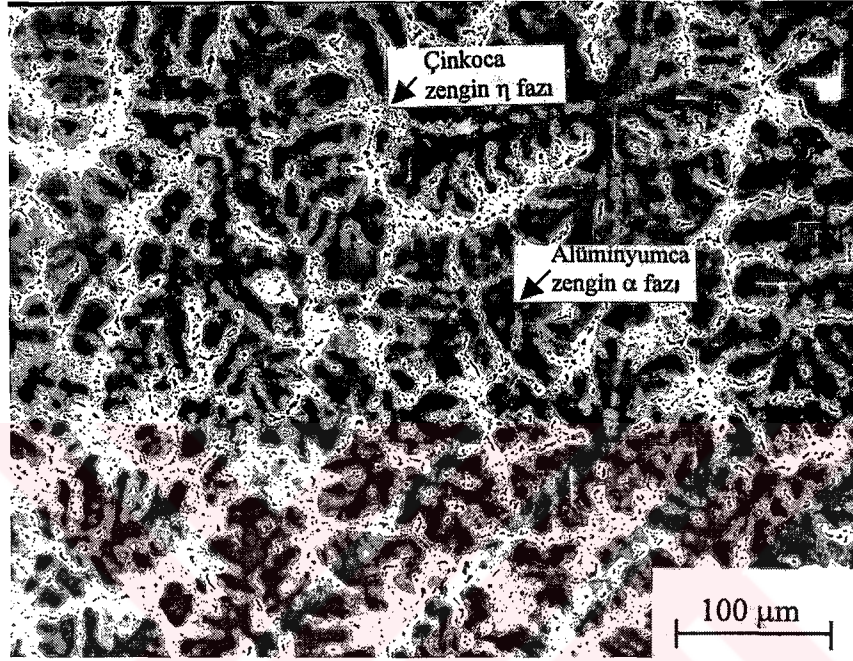
Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Alaşımların kimyasal bileşimleri

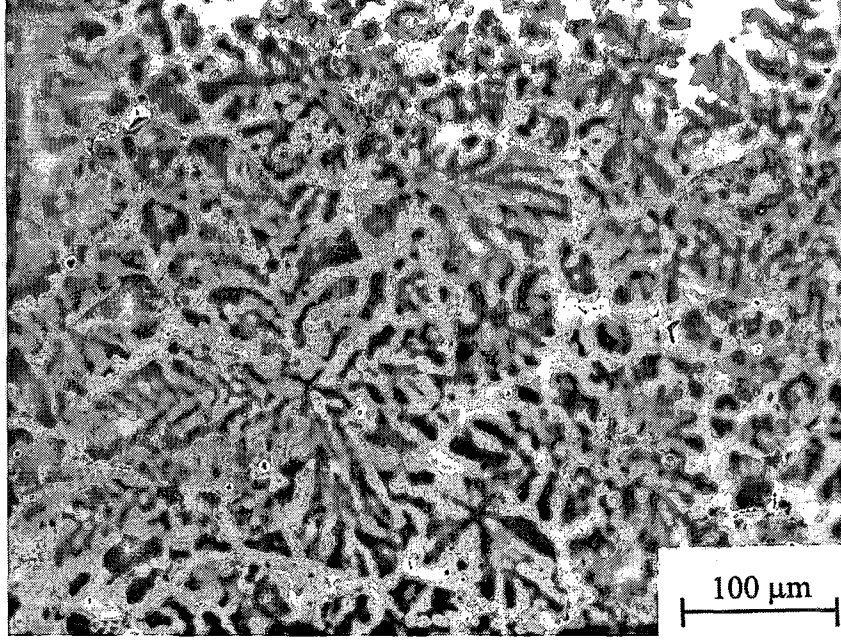
Gösterim	Kimyasal bileşim (%)			
	Zn	Al	Cu	Si
ZnAl27Cu2	71,2	26,6	2,2	--
ZnAl27Cu2Si1	69,4	27,3	2,2	1,1
ZnAl40	61,5	38,5	--	--
ZnAl40Cu0,5	60,2	39,3	0,5	
ZnAl40Cu1	61,2	37,8	1,0	--
ZnAl40Cu2	57,6	40,3	2,1	--
ZnAl40Cu3	59,7	37,4	2,9	--
ZnAl40Cu4	58,8	37,1	4,1	--
ZnAl40Cu2Si1	57,1	39,9	2,1	0,9

Işık ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan incelemeler sonucunda, dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımların, genelde göbekli dendritik yapılaraya sahip oldukları görüldü. ZnAl27Cu2 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarının alüminyumca zengin α -dendritleri ile bunları çevreleyen çinkoca zengin η ve bakırca zengin ϵ fazlarından oluşan iç yapıları sırasıyla, Şekil19 ve 20’de verilmiştir. Dörtlü ZnAl27Cu2Si1 ve ZnAl40Cu2Si1 alaşımlarının dökülmüş durumdaki iç yapılarının ise, aynı durumdaki ZnAl27Cu2 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarının iç yapılarına benzemekle birlikte, silisyum parçacıkları içerdikleri görüldü. Bu alaşımların iç yapıları ise Şekil 21 ve 22’de verilmiştir.

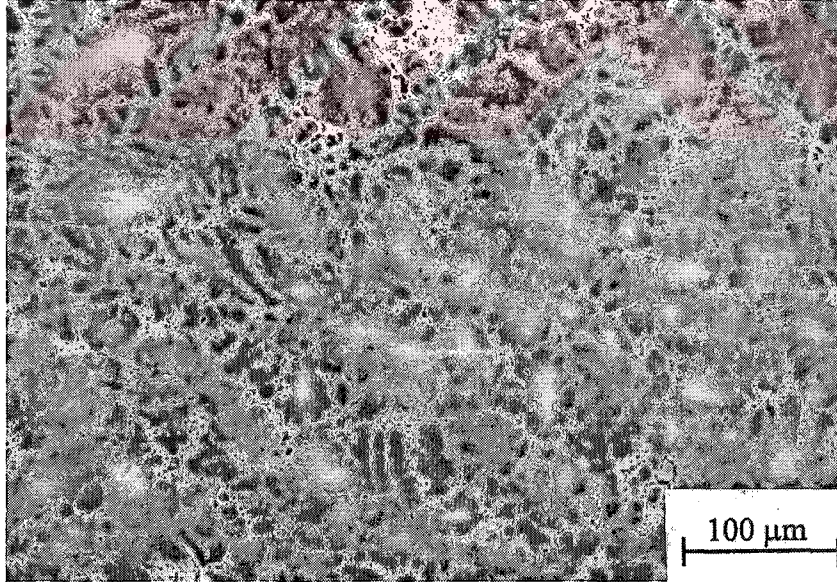
Alaşımlara uygulanan stabilizasyon işlemi sonucunda, dendritik yapının fazla bozulmadığı ve dendritlerarası bölgelerde yer alan kalıntı β fazının, çinko ve alüminyumca zengin α ve η fazlarına dönüştüğü görüldü. Ayrıca stabilizasyon işlemi sonucunda, kararlı T' ve η fazlarının oluştukları gözlemlendi. Söz konusu alaşımların stabilize edilmiş durumdaki iç yapıları Şekil 23, 24, 25 ve 26'da verilmiştir.



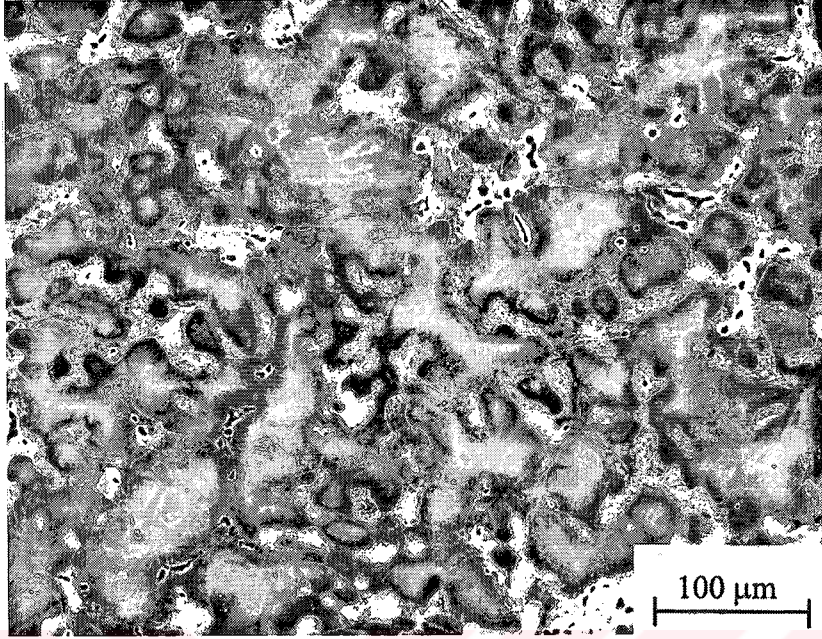
Şekil 19. ZnAl₂₇Cu₂ alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



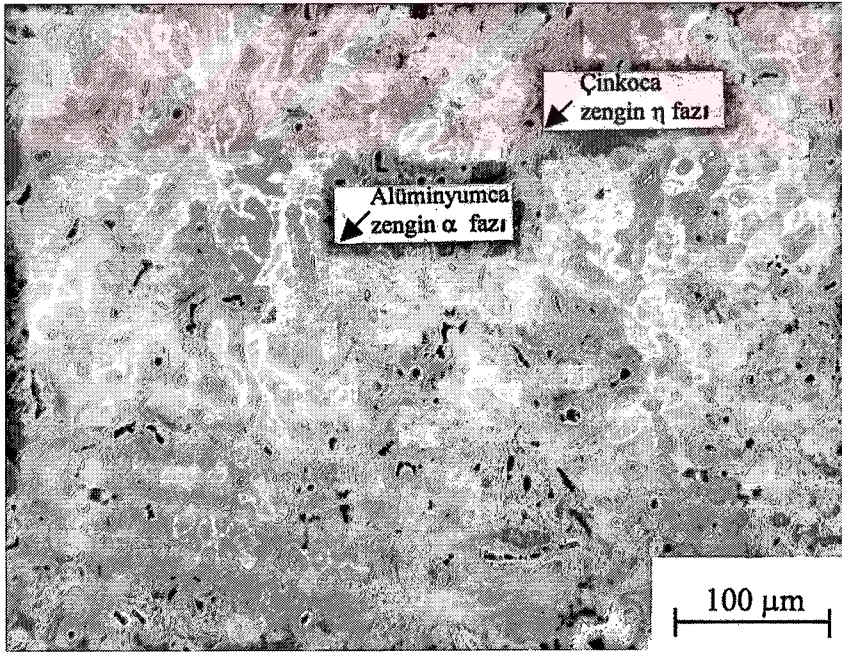
Şekil 20. ZnAl40Cu2 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



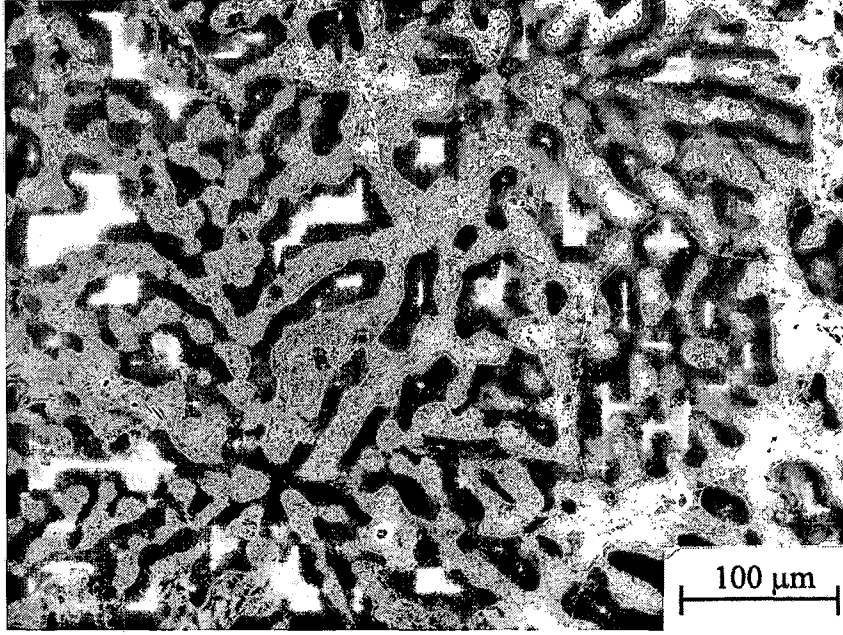
Şekil 21. ZnAl27Cu2Si1 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



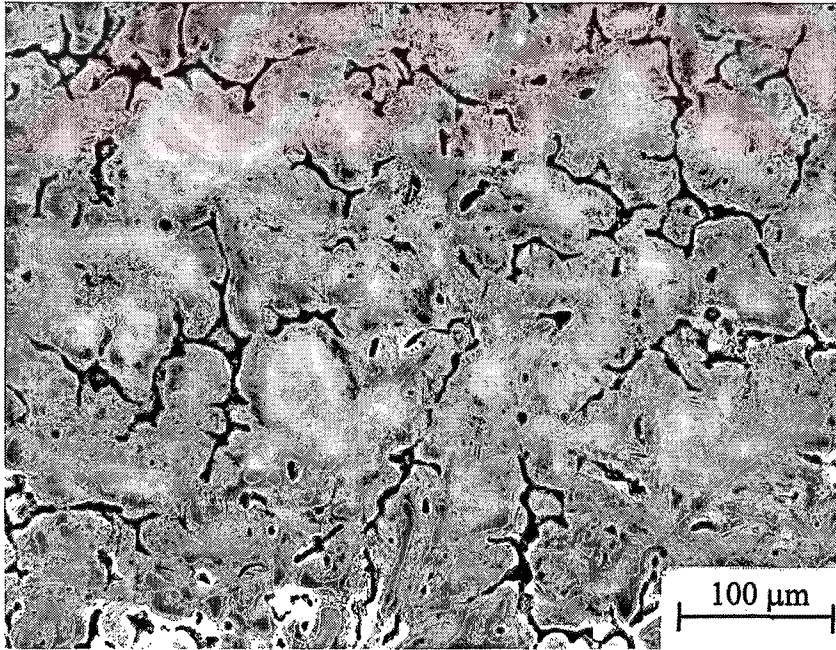
Şekil 22. ZnAl40Cu2Si1 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



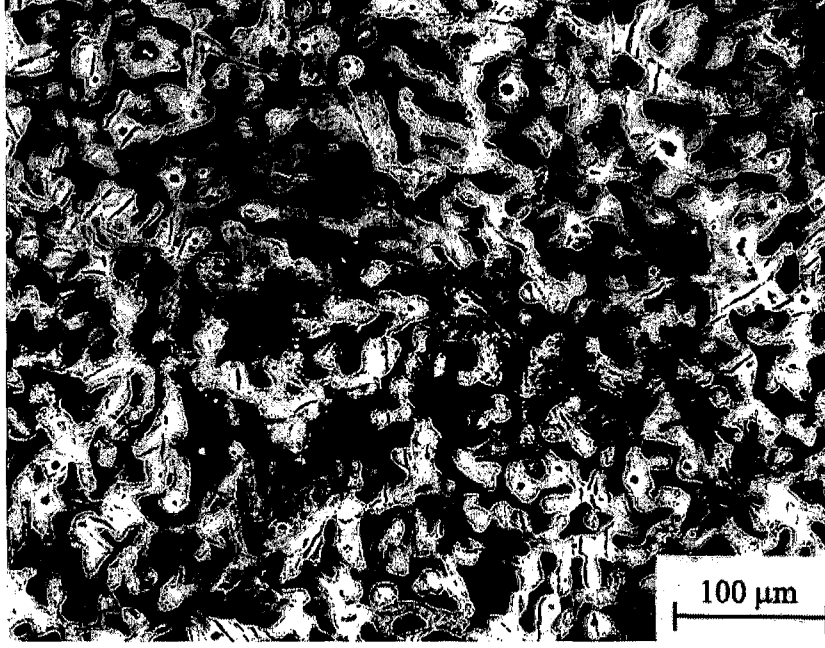
Şekil 23. ZnAl27Cu2 alaşımının stabilize edilmiş durumdaki iç yapısı



Şekil 24. ZnAl40Cu2 alaşımının stabilize edilmiş durumdaki iç yapısı



Şekil 25. ZnAl27Cu2Si1 alaşımının stabilize edilmiş durumdaki iç yapısı



Şekil 26. ZnAl40Cu2Si1 alaşımının stabilize edilmiş durumdaki iç yapısı

3.2. Fiziksel ve Mekanik Deneylerden Elde Edilen Bulgular

Alaşımlardan hem dökülmüş, hem de ısıl işlem görmüş durumlarda elde edilen yoğunluk, çekme dayanımı, kopma uzaması ve sertlik değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Bu tablodan; dökülmüş durumdaki alaşımlar içerisinde en yüksek sertlik ve mukavemet değerleri ZnAl40Cu2Si1 alaşımından, en düşük sertlik ve mukavemet değerleri ise ikili ZnAl40 alaşımından elde edildi. Dökülmüş durumdaki alaşımlar içerisinde en yüksek kopma uzaması yine ZnAl40 alaşımından, en düşük kopma uzaması ise ZnAl40Cu2Si1 alaşımından elde edildi. ZnAl27Cu2 ve ZnAl40Cu2 alaşımlarına %1 oranında silisyum katıldığında, söz konusu alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerinin arttığı görüldü. Nitekim, çekme dayanımı 306 MPa olan ZnAl27Cu2 alaşımı ile çekme dayanımı 316 MPa olan ZnAl40Cu2 alaşımına %1 oranında Si katıldığında bunların çekme dayanımlarının sırasıyla 337 MPa ve 339 MPa değerlerine yükseldiği görüldü. Uygulanan stabilizasyon işleminden sonra bütün alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerinin önemli ölçüde düştüğü, süneklik değerlerinin ise arttığı gözlemlendi. Şöyle ki; Dökülmüş durumda sertliği 117 BSD, çekme dayanımı 316 MPa ve kopma uzaması değeri %1,8 olan ZnAl40Cu2 alaşımının, stabilizasyon işleminden sonra sertliğinin 78 BSD'ye, çekme dayanımının 285 MPa'a düştüğü, kopma uzaması değerinin ise %4,2'ye yükseldiği belirlendi.

Düşük oranlardaki bakır katkılarının monotektoid bileşime sahip alaşımların çekme dayanımını ve sertliğini artırdığı görüldü. Ancak, bakır oranın belirli bir değerin (%2) üzerine çıkması durumunda, bu alaşımların çekme dayanımlarının azaldığı, sertliklerinin ise arttığı belirlendi.

Tablo 6. Alaşımların fiziksel ve mekanik özellikleri

Gösterim	Isıl işlem durumu	Yoğunluk (kg/m ³)	Sertlik (BSD)	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)
ZnAl27Cu2	A	4910	110	306	1,8
	B	4890	81	273	5,0
ZnAl27Cu2Si1	A	4850	120	337	2,0
	B	4830	87	250	3,0
ZnAl40	A	3980	103	260	4,5
	B	--	--	--	--
ZnAl40Cu0,5	A	4210	107	270	3,9
	B	--	--	--	--
ZnAl40Cu1	A	4230	110	294	1,9
	B	--	--	--	--
ZnAl40Cu2	A	4280	117	316	1,8
	B	4250	85	285	4,2
ZnAl40Cu3	A	4295	120	314	2,0
	B	--	--	--	--
ZnAl40Cu4	A	4355	125	303	1,2
	B	--	--	--	--
ZnAl40Cu2Si1	A	4270	122	339	1,5
	B	4255	89	255	3,1

Not: Buradaki A ve B harfleri alaşımların ısı işlem durumunu göstermektedir.

A: Dökülmüş durumda

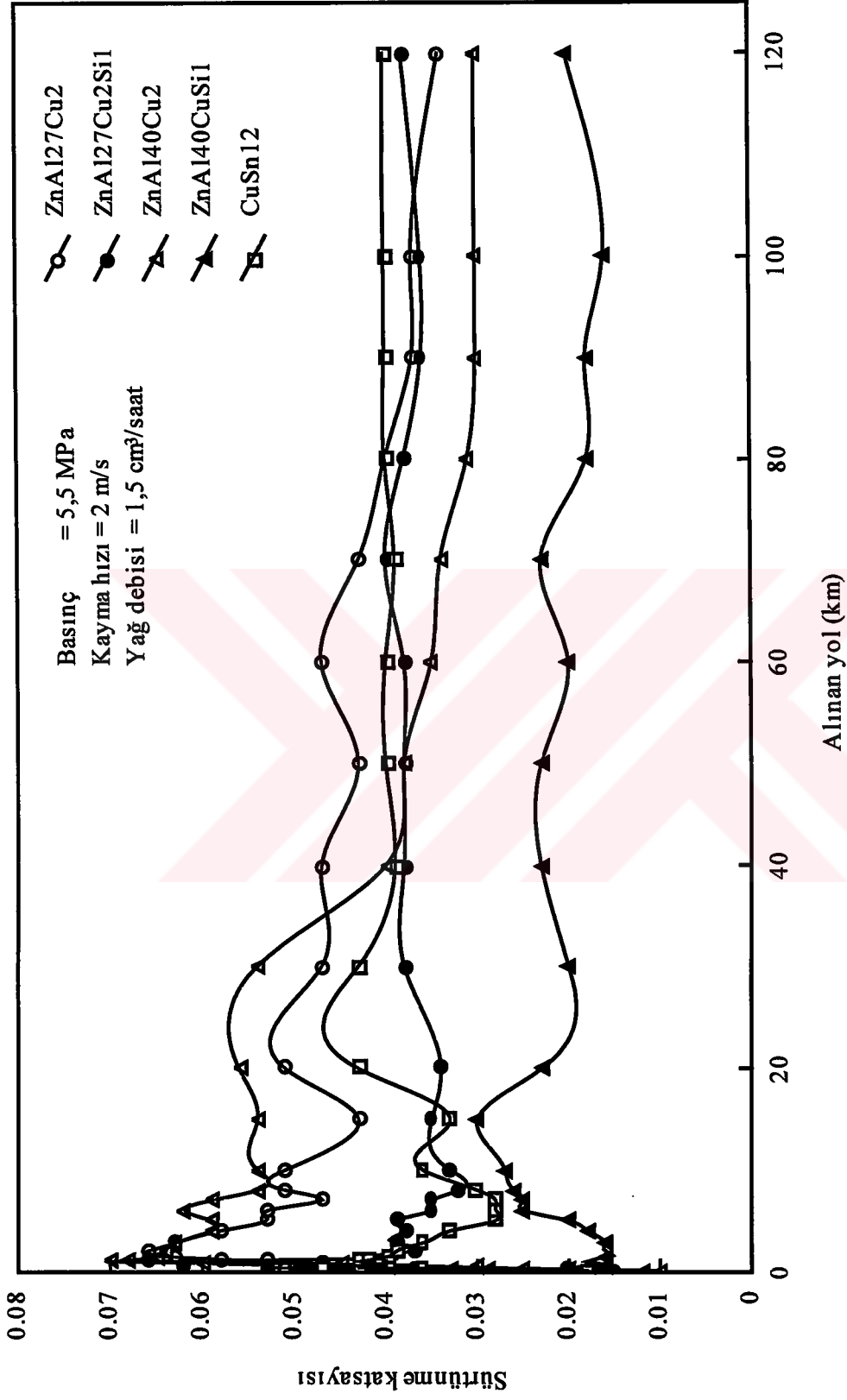
B: 150°C sıcaklıkta 10 gün stabilize edilmiş durumda

3.3. Sürtünme ve Aşınma Deneylerinden Elde Edilen Bulgular

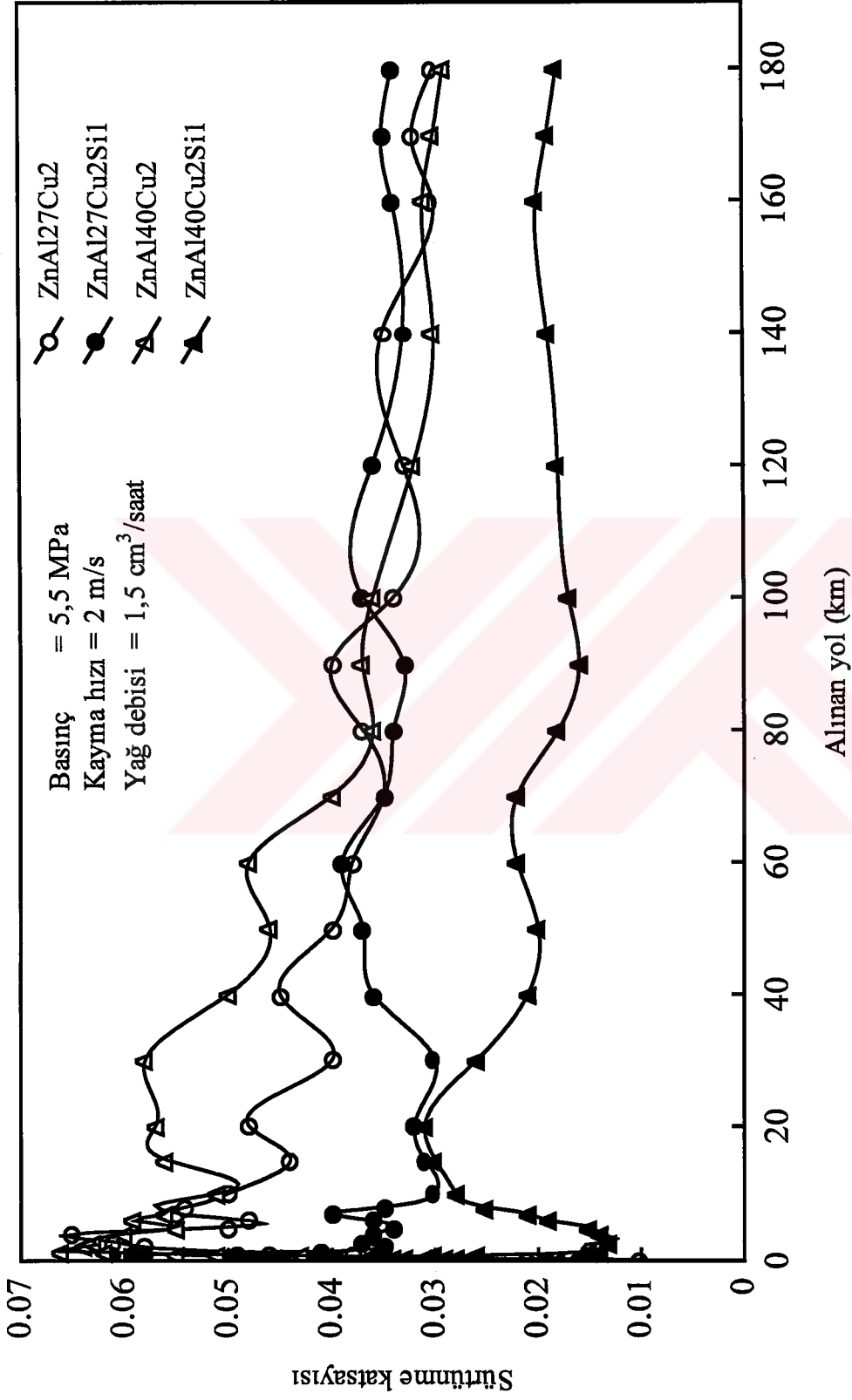
3.3.1. Çubuk-Disk Esaslı Aşınma Deney Düzenğinde Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular

Dökülmüş durumdaki alaşımların sürtünme katsayılarının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler Şekil 27'de, stabilize edilmiş durumdaki alaşımların sürtünme katsayılarının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler de Şekil 28'de verilmiştir. Bu şekillerdeki eğrilerden görüldüğü gibi; çalışmanın başlangıç döneminde sürtünme katsayıları genelde aniden yükselerek en yüksek düzeye erişmekte ve daha sonra hızlı bir şekilde azalarak kararlı değerlere ulaşmaktadır. Kararlı çalışma devresi dikkate alındığında, dökülmüş durumdaki alaşımlar içerisinde en düşük sürtünme katsayısı dörtdü ZnAl40Cu2Si1 alaşımından, en yüksek sürtünme katsayısı ise CuSn12 bronzundan elde edildi. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlar içerisinde ise en yüksek sürtünme katsayısı ZnAl27Cu2Si1 alaşımından elde edildi. Uygulanan stabilizasyon işleminin söz konusu alaşımların sürtünme katsayılarını az da olsa düşürdüğü gözlemlendi. Stabilize edilmiş durumdaki alaşımlar içerisinde en düşük sürtünme katsayısı, dökülmüş durumdaki alaşımlarda olduğu gibi ZnAl40Cu2Si1 alaşımından, en yüksek sürtünme katsayısı ise ZnAl27Cu2Si1 alaşımından elde edildi.

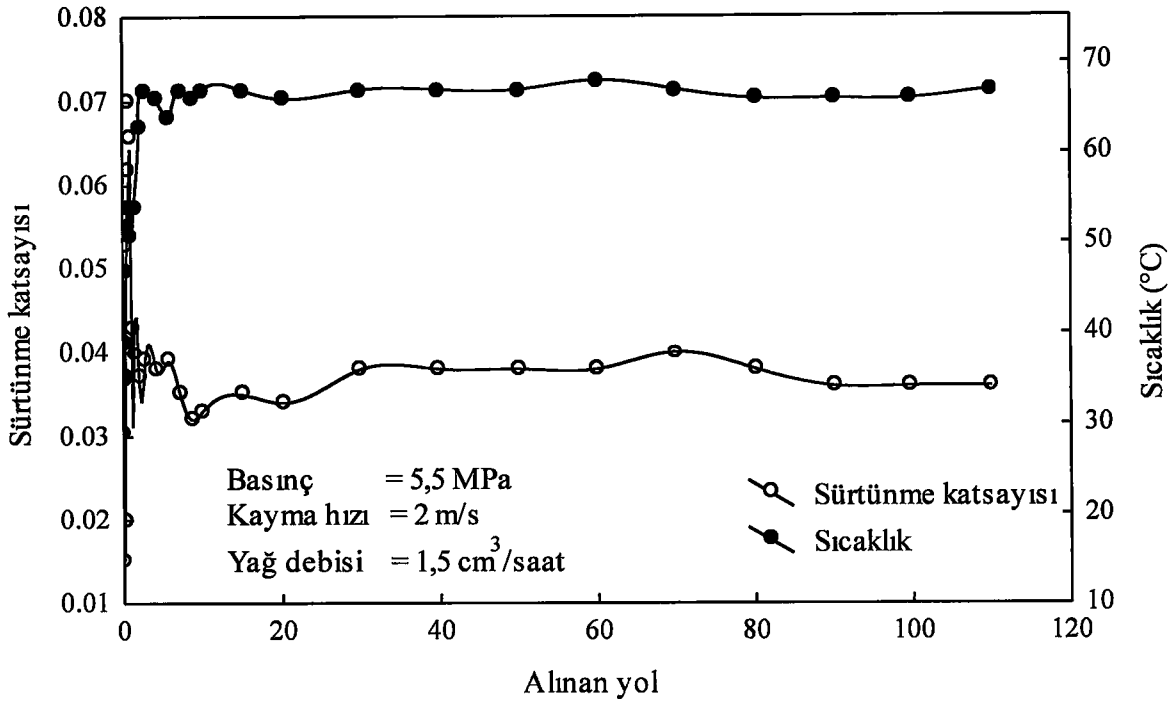
Söz konusu alaşımlardan hem dökülmüş hem de stabilize edilmiş durumlarda bulunan ZnAl27Cu2Si1 alaşımı ile dökülmüş durumdaki CuSn12 alaşımının sürtünme katsayıları ile çalışma sıcaklıklarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler, sırasıyla Şekil 29 ve 30 ve 31'de verilmiştir. Bu şekillerden; sıcaklık ve sürtünme katsayılarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğrilerin birbirine benzedikleri görülmektedir. Şöyle ki; alaşımların sürtünme katsayıları arttıkça çalışma sıcaklıkları artmakta, sürtünme katsayıları azaldıkça çalışma sıcaklıkları da düşmektedir. ZnAl27Cu2Si1 alaşımı için verilen durumun çinko-alüminyum esaslı diğer alaşımlar için de geçerli olduğu görüldü.



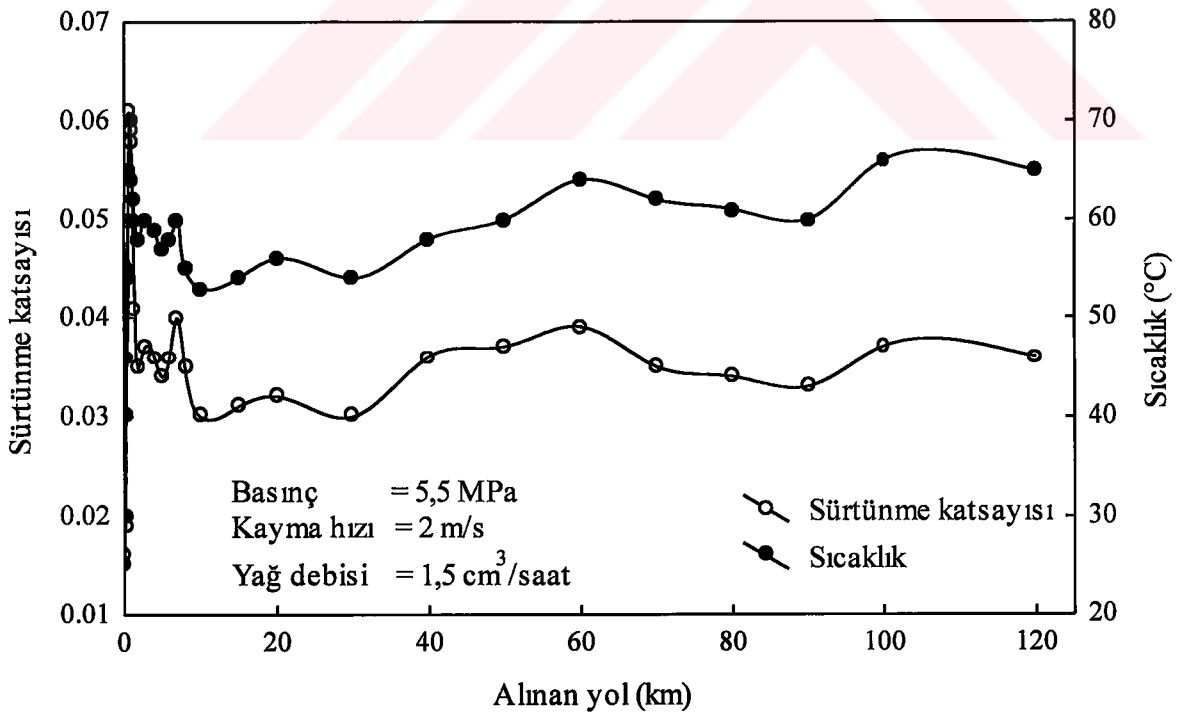
Şekil 27. Dökülmüş durumdaki alaşımların sürtünme katsayılarının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler



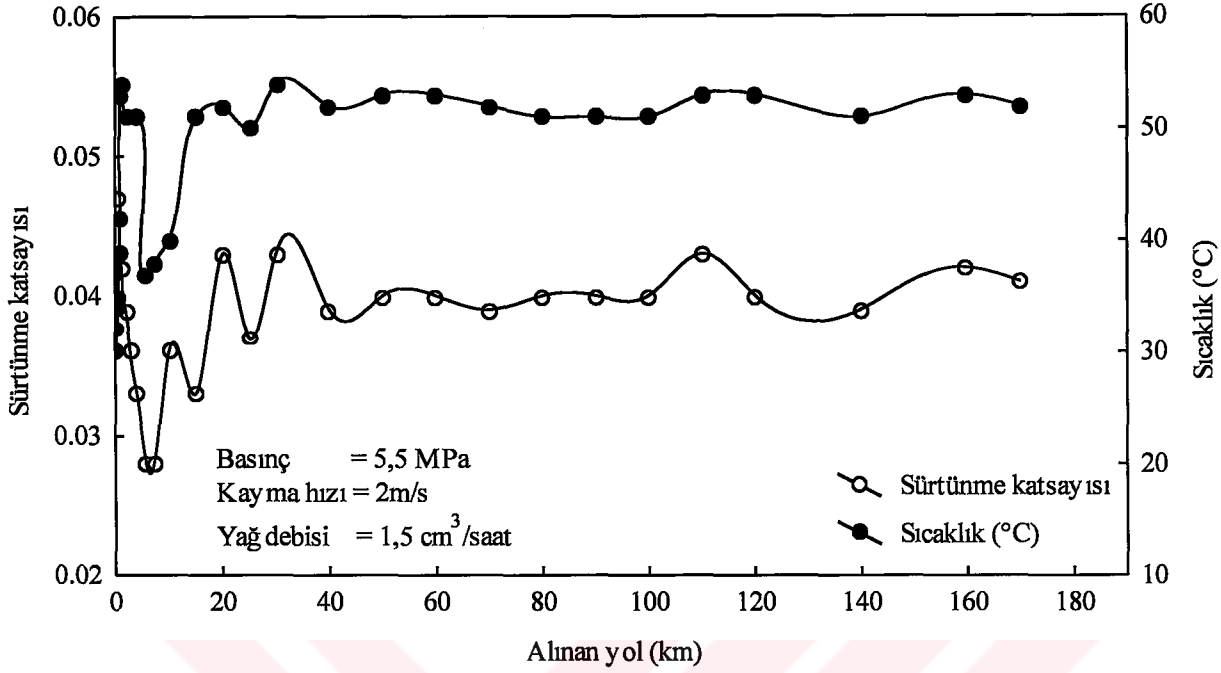
Şekil 28. Stabilize edilmiş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımların sürtünme katsayılarının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler



Şekil 29. Dökülmüş durumdaki ZnAl₂₇Cu₂Si₁ alaşımının sürtünme katsayısı ve sıcaklığının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler



Şekil 30. Stabilize edilmiş durumdaki ZnAl₂₇Cu₂Si₁ alaşımının sürtünme katsayısı ve sıcaklığının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler



Şekil 31. CuSn12 bronzunun sürtünme katsayısı ve sıcaklığının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler

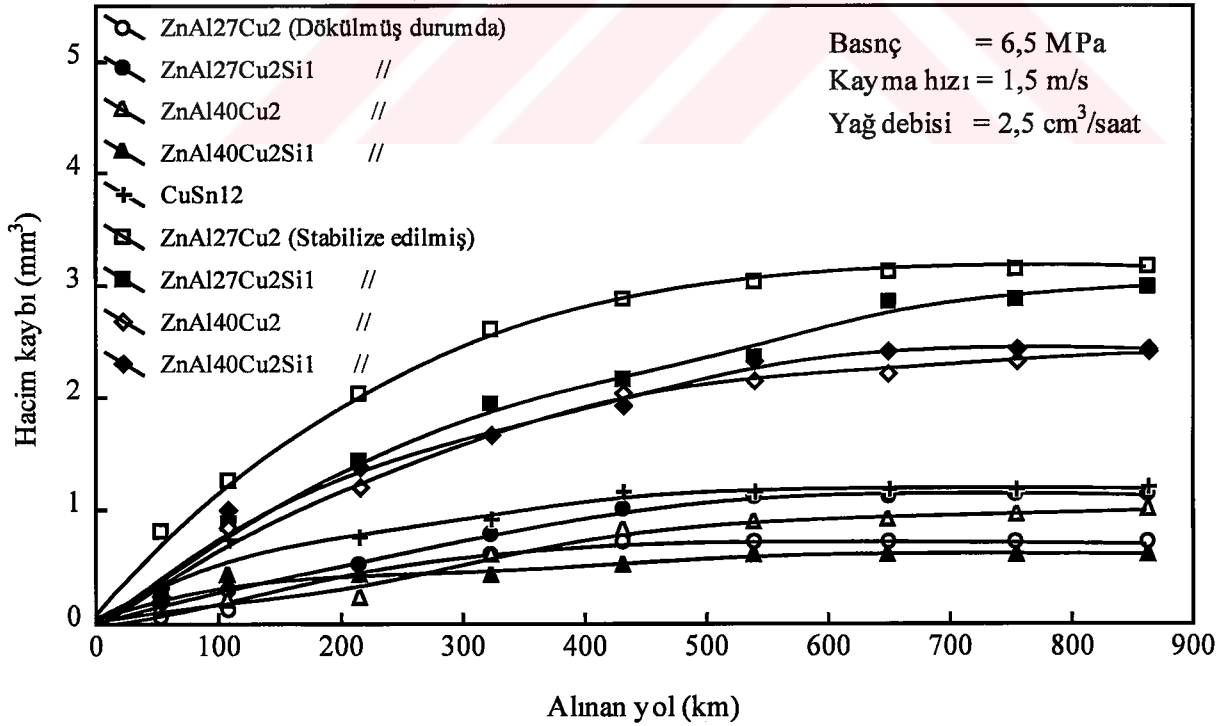
Dökülmüş ve stabilize edilmiş durumdaki alaşımlarda aşınma nedeniyle meydana gelen hacim kayıpları Tablo 7'de ve hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler de Şekil 32'de verilmiştir. Bu eğrilerden; çalışmanın alıştırma veya rodaj olarak bilinen başlangıç devresinde yüksek olan aşınma hızlarının, artan çalışma süresi veya yol ile azalarak, genelde sabit değerlere ulaştığı görülmektedir. Aynı koşullarda deneye tabi tutulan dökülmüş durumdaki alaşımlar içerisinde en az ZnAl40Cu2Si1 alaşımının, en çok da CuSn12 bronzunun aşındığı görüldü. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlar içerisinde ise en çok ZnAl27Cu2Si1 alaşımının aşındığı belirlendi. Ayrıca, dökülmüş durumdaki alaşımlar içerisinde en az aşınmanın sürtünme katsayısı en düşük olan ZnAl40Cu2Si1 alaşımında, en fazla aşınmanın da sürtünme katsayısı en yüksek olan CuSn12 alaşımında meydana geldiği görüldü. Bu durum; aşınma miktarının sürtünme katsayısına bağlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, dökülmüş durumdaki alaşımların ısıl işlem görmüş durumdaki alaşımlardan daha üstün aşınma direncine sahip oldukları görülmektedir. Uygulanan stabilizasyon işleminin en fazla ZnAl27Cu2 alaşımının, en az da ZnAl40Cu2 alaşımının aşınma direncini azalttığı belirlendi.

Tablo 7. Alaşımların aşınma deneyinden elde edilen sonuçlar

Alaşım	Isıl işlem durumu	Alınan yol (km)								
		54	110	215	325	430	540	650	755	865
		Hacim kaybı (mm ³)								
ZnAl27Cu2	A	0,05	0,11	0,51	0,60	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	B	0,81	1,25	2,02	2,61	2,88	3,04	3,12	3,15	3,18
ZnAl27Cu2Si1	A	0,17	0,30	0,51	0,77	0,99	0,12	0,12	0,13	0,13
	B	0,26	0,87	1,42	1,94	2,15	2,38	2,86	2,89	3,00
ZnAl40Cu2	A	0,14	0,20	0,22	0,59	0,83	0,89	0,92	0,95	1,00
	B	0,20	0,85	1,19	1,66	2,05	2,16	2,21	2,33	2,41
ZnAl40Cu2Si1	A	0,22	0,43	0,43	0,43	0,52	0,61	0,61	0,61	0,61
	B	0,25	0,99	1,38	1,67	1,92	2,33	2,41	2,43	2,44
CuSn12	A	0,31	0,73	0,75	0,92	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19

A: Dökülmüş durumda

B: 15°C'de 10 gün stabilize edilmiş

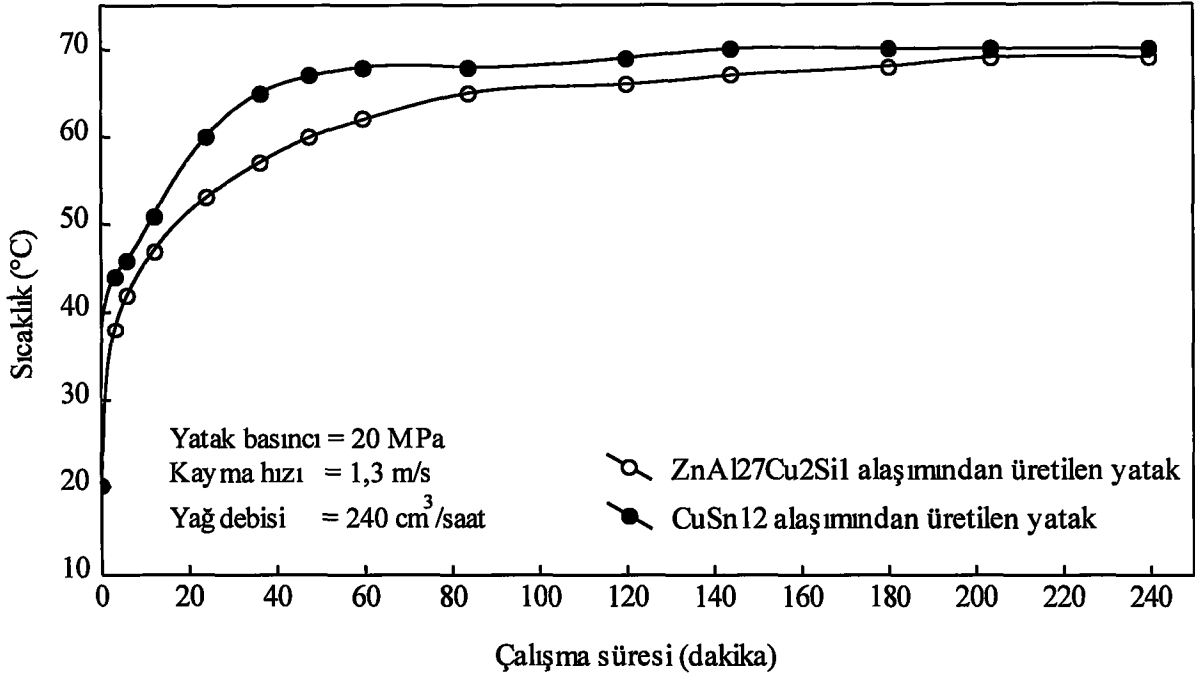


Şekil 32. Alaşımlarda meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler

3.3.2. Yatak Deney Düzenğinde Statik Yük Altında Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile CuSn12 bronzundan üretilen yatakların sıcaklıklarının artan çalışma süresiyle artarak 70°C civarında rejime ulaştıkları görüldü. Ancak CuSn12 bronzundan üretilen yatağın sıcaklığının, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların sıcaklıklarından daha hızlı artarak nispeten daha kısa sürede 70°C civarındaki rejim sıcaklığına ulaştığı belirlendi. ZnAl27Cu2Si1 ve CuSn12 bronzundan üretilen yatakların sıcaklıklarının çalışma süresine göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 33'de verilmiştir. ZnAl27Cu2Si1 alaşımından üretilen yatağa ait sıcaklık eğrisi, gerek dökülmüş ve gerekse stabilize edilmiş durumlardaki çinko-alüminyum esaslı diğer alaşımlardan üretilen yataklarda meydana gelen sıcaklık değişimlerini de yansıtmaktadır.

Gerek dökülmüş, gerekse stabilize edilmiş durumdaki alaşımlardan üretilen yataklarda aşınma deneyi sırasında meydana gelen hacim kayıpları Tablo 8'de, bu hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler de Şekil 34'de verilmiştir. Bu eğrilerden, alıştırma devresi olarak adlandırılan başlangıç döneminde yüksek olan aşınma hızlarının zamanla azalarak nispeten kararlı bir duruma ulaştıkları görülmektedir. Bu durum, alaşımların gösterdiği değişik aşınma devrelerinin bu alaşımlardan üretilen yataklar için de geçerli olduğunu göstermektedir. Bu eğrilerden ayrıca, dökülmüş durumdaki alaşımlardan üretilen yatakların, ısı işlem görmüş durumdaki alaşımlardan üretilen yataklardan daha üstün aşınma direncine sahip oldukları da görülmektedir. İncelenen yataklar içerisinde en çok CuSn12 bronzundan üretilen yatağın, en az da dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu2Si1 alaşımından üretilen yatağın aşındığı görüldü. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklar içerisinde ise en çok ZnAl27Cu2Si1 alaşımından üretilen yatağın aşındığı gözlemlendi. Isıl işlem görmüş alaşımlardan üretilen yataklar içerisinde ise en az dörütlü ZnAl40Cu2Si1 alaşımından üretilen yatağın, en çok da üçlü ZnAl27Cu2 alaşımından üretilen yatağın aşındığı belirlendi. Ayrıca, stabilizasyon işleminin en çok ZnAl27Cu2 alaşımından üretilen yatağın, en az da ZnAl40Cu2 alaşımından üretilen yatağın aşınma direncini düşürdüğü gözlemlendi.



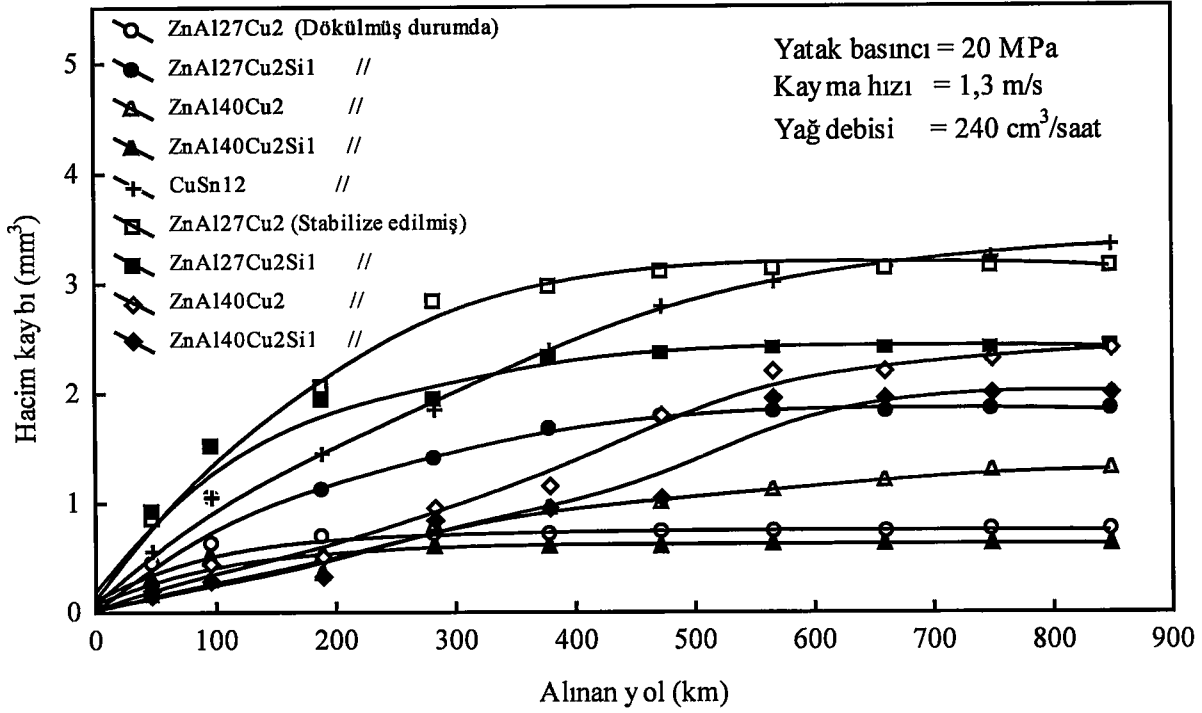
Şekil 33. Statik yük uygulanan yataklarda yatak sıcaklığının çalışma süresine göre değişimi

Tablo 8. Statik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yataklarda meydana gelen hacim kaybı değerleri

Alaşım	Isıl işlem durumu	Alınan yol (km)									
		45	95	190	280	375	470	565	660	750	850
		Hacim kaybı (mm ³)									
ZnAl27Cu2	A	0,45	0,63	0,68	0,70	0,72	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75
	B	0,85	2,33	2,50	2,83	2,97	3,11	3,13	3,13	3,15	3,16
ZnAl27Cu2Si1	A	0,24	1,05	1,11	1,40	1,67	1,77	1,83	1,83	1,84	1,85
	B	1,66	1,84	1,94	1,94	2,31	2,35	2,39	2,39	2,40	2,42
ZnAl40Cu2	A	0,16	0,30	0,35	0,80	0,95	1,00	1,10	1,20	1,28	1,30
	B	0,20	0,45	0,50	0,95	1,15	1,90	2,20	2,20	2,30	2,40
ZnAl40Cu2Si1	A	0,32	0,52	0,53	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62	0,62	0,63
	B	0,15	0,29	0,34	0,85	0,95	1,04	1,95	1,95	2,00	2,00
CuSn12	A	0,55	1,05	1,45	1,85	2,40	2,80	3,01	3,15	3,24	3,35

A: Dökülmüş durumda

B: 150°C sıcaklıkta 10 gün stabilize edilmiş durumda



Şekil 34. Statik yük uygulanan kaymalı yataklarda meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler

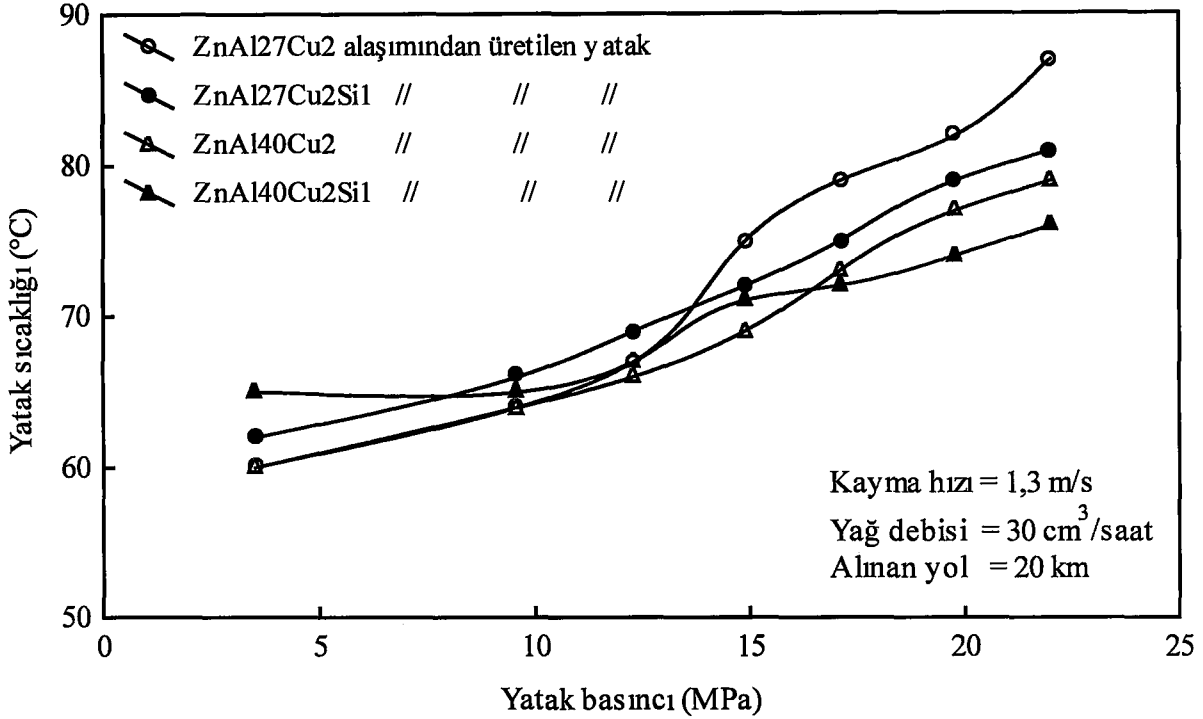
Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların değişik basınç altındaki kararlı çalışma sıcaklıkları Tablo 9'da, bu basınçlarda çalışan yataklarda meydana gelen hacim kayıpları da Tablo 10'da verilmiştir. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların çalışma sıcaklıklarının yatak basıncına göre değişimini gösteren eğriler Şekil 35'de verilmiştir. Bu eğrilerden görüldüğü gibi; yatak basıncı arttıkça yatakların sıcaklıkları da artmaktadır. Söz konusu artış, yaklaşık 14 MPa'lık basınç değerine kadar yavaş olurken, bu değerden sonra gittikçe hızlanmaktadır. Yatak basıncının, yataklarda meydana gelen hacim kaybına etkisi ise Şekil 36'daki eğrilerden görülmektedir. Bu eğriler, yatak basıncının yatak sıcaklığına etkisini gösteren eğrilere benzemektedir. Nitekim, yatak sıcaklığının yatak basıncına göre değişimini gösteren eğrilerden de görüldüğü gibi; yaklaşık 14 MPa'lık basınca kadar, basınçla yavaş artan aşınma hızı bu değerden sonra nispeten daha hızlı artmaktadır. Ayrıca bu eğrilerden; yatak basıncının en az sertlik ve mukavemeti en yüksek (122 BSD ve 339 MPa) olan ZnAl40Cu2Si1 alaşımından üretilen yatağın, en fazla da sertlik ve mukavemeti en düşük (110 BSD ve 306 MPa) olan ZnAl27Cu2 alaşımından üretilen yatağın aşınma davranışını olumsuz yönde etkilediği görülmektedir.

Tablo 9. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların değişik basınç değerleri altındaki kararlı çalışma sıcaklıkları

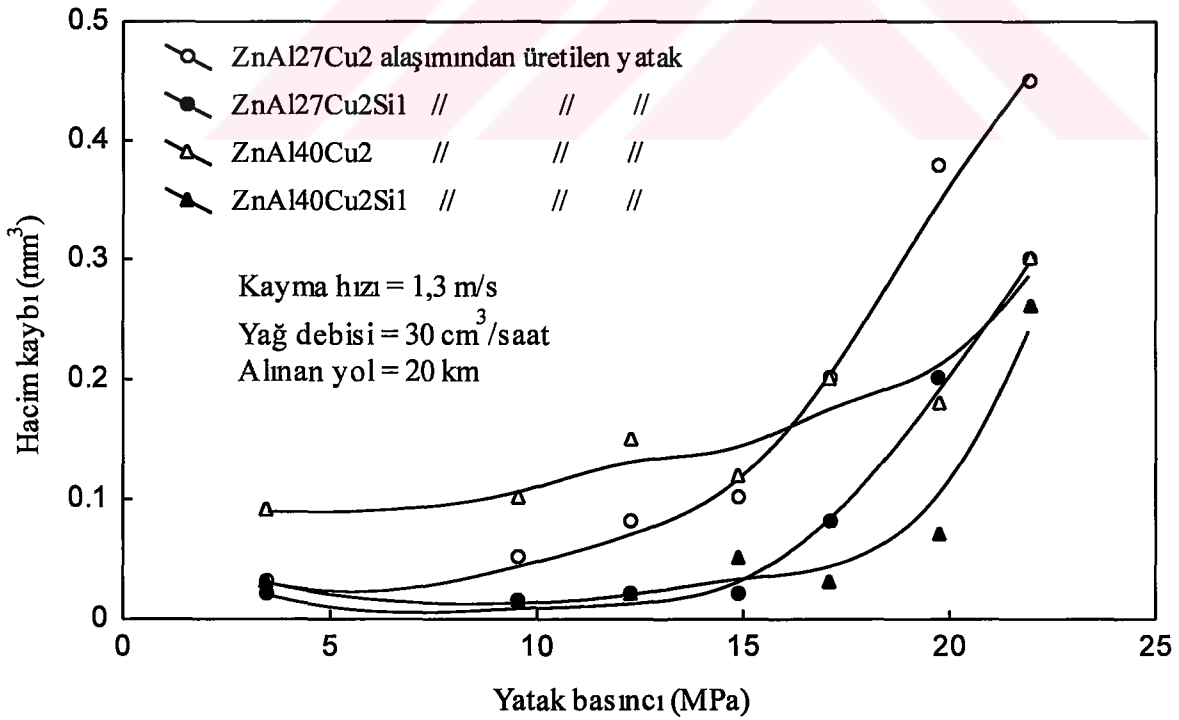
Alaşım	Yatak basıncı (MPa)						
	3,5	9,6	12,3	14,9	17,1	19,8	22,0
	Yatak sıcaklığı (°C)						
ZnAl27Cu2	65	65	67	71	72	74	76
ZnAl27Cu2Si1	60	64	67	75	79	82	87
ZnAl40Cu2	62	66	69	72	75	79	81
ZnAl40Cu2Si1	60	64	66	69	73	77	79

Tablo 10. Değişik basınçlarda çalışan yataklarda meydana gelen hacim kaybı değerleri

Alaşım	Yatak basıncı (MPa)						
	3,5	9,6	12,3	14,9	17,1	19,8	22,0
	Hacim kaybı (mm ³)						
ZnAl27Cu2	0,03	0,05	0,08	0,10	0,20	0,38	0,45
ZnAl27Cu2Si1	0,02	0,01	0,02	0,02	0,08	0,20	0,30
ZnAl40Cu2	0,09	0,10	0,15	0,12	0,20	0,18	0,30
ZnAl40Cu2Si1	0,03	0,01	0,02	0,05	0,03	0,07	0,26



Şekil 35. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların kararlı çalışma durumundaki sıcaklıklarının yatak basıncına göre değişimini gösteren eğriler



Şekil 36. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklarda çalışma sırasında meydana gelen hacim kaybının yatak basıncına göre değişimini gösteren eğriler

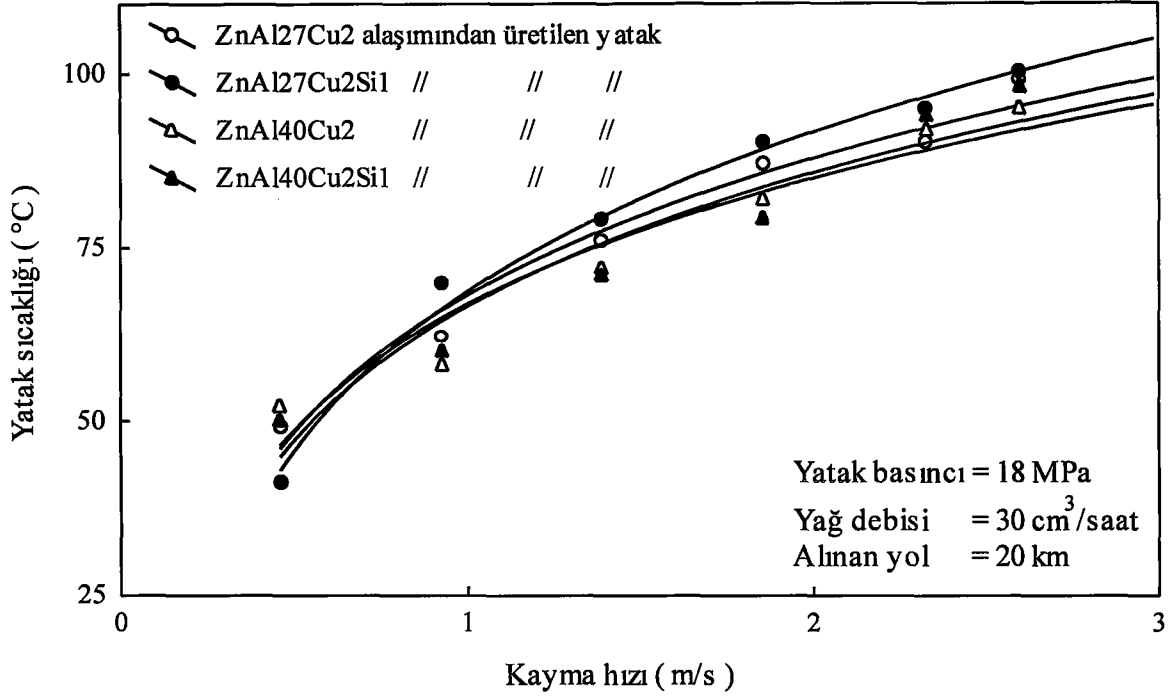
Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların değişik kayma hızlarındaki rejim sıcaklıkları Tablo 11’de, söz konusu yataklarda aşınma nedeniyle meydana gelen hacim kayıpları da Tablo 12’de verilmiştir. Yatak sıcaklığının kayma hızına göre değişimini gösteren eğriler Şekil 38’de verilmiştir. Bu eğriler; kayma hızı arttıkça yatak sıcaklıklarının da arttığını göstermektedir. Kayma hızının, yataklarda meydana gelen hacim kaybına etkisini gösteren eğriler ise Şekil 39’da verilmiştir. Bu eğrilerden, kayma hızının yatakların aşınma davranışı üzerinde pek etkisi olmadığı görülmektedir.

Tablo 11. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklardan kararlı çalışma durumunda ölçülen sıcaklık değerleri

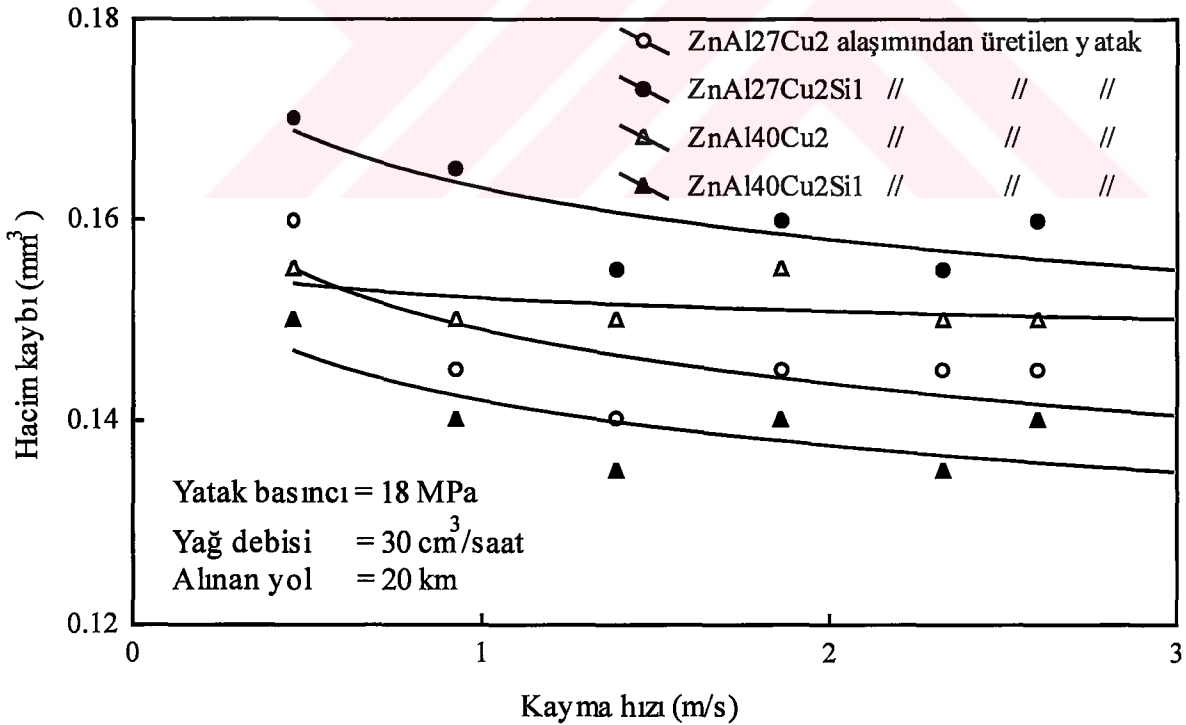
Alaşım	Kayma hızı (m/s)					
	0,46	0,93	1,39	1,86	2,33	2,60
	Yatak sıcaklığı (°C)					
ZnAl27Cu2	49	62	76	87	90	99
ZnAl27Cu2Si1	41	70	79	90	95	100
ZnAl40Cu2	52	58	72	82	92	95
ZnAl40Cu2Si1	50	60	71	79	94	98

Tablo 12. Dökülmüş durumdaki çinko alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklarda değişik kayma hızlarındaki çalışma sırasında meydana gelen hacim kayıpları

Alaşım	Kayma hızı (m/s)					
	0,46	0,93	1,39	1,86	2,33	2,60
	Hacim kaybı (mm ³)					
ZnAl27Cu2	0,160	0,145	0,140	0,145	0,145	0,145
ZnAl27Cu2Si1	0,170	0,165	0,155	0,160	0,155	0,160
ZnAl40Cu2	0,155	0,150	0,150	0,155	0,150	0,150
ZnAl40Cu2Si1	0,150	0,140	0,135	0,140	0,135	0,140



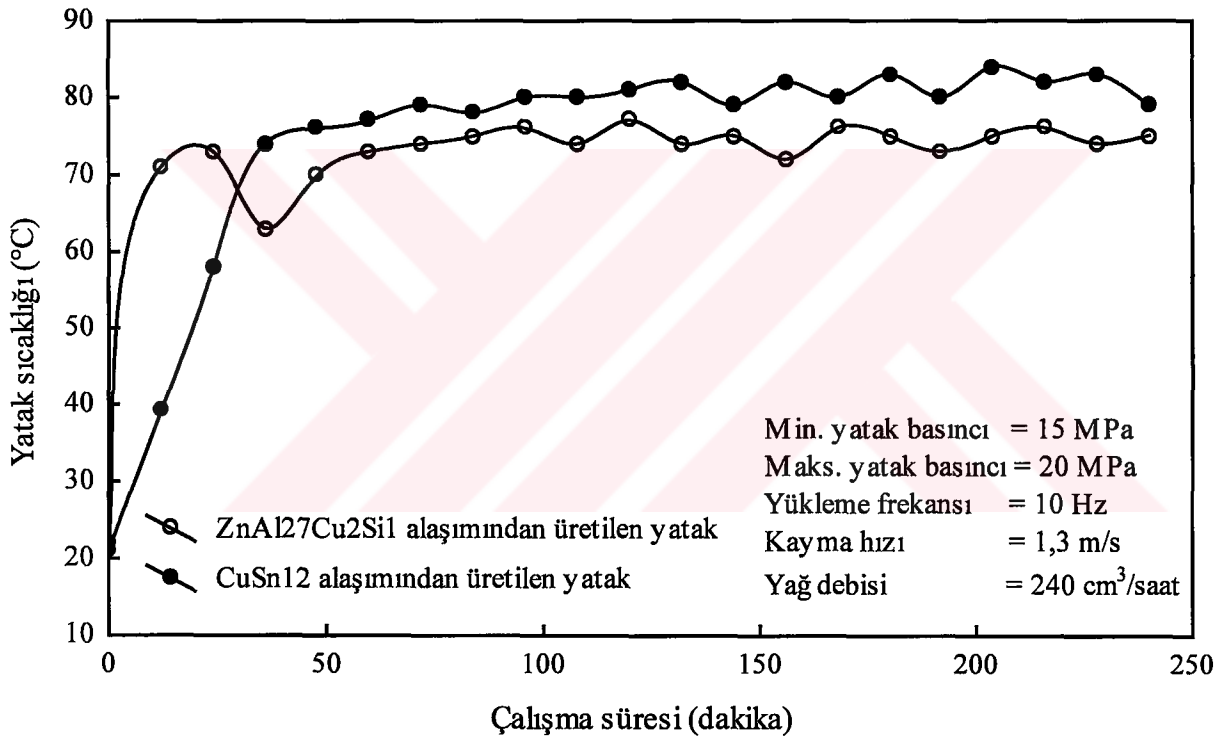
Şekil 37. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların çalışma sıcaklıklarının kayma hızına göre değişimi



Şekil 38. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklarda çalışma sırasında meydana gelen hacim kayıplarının kayma hızına göre değişimi

3.3.3. Yatak Deney Düzeninde Dinamik Yük Altında Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular

Dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatakların sıcaklıklarının, artan çalışma süresiyle artarak 75 ila 80 °C arasında rejime ulaştıkları görüldü. ZnAl27Cu2Si1 ve CuSn12 bronzundan üretilen yataklardan ölçülen sıcaklıkların çalışma süresine göre değişimini gösteren eğriler Şekil 39'da verilmiştir. ZnAl27Cu2Si1 alaşımından üretilen yatağa ait sıcaklık eğrisi, dökülmüş ve stabilize edilmiş durumdaki çinko-alüminyum esaslı diğer alaşımlardan üretilen yataklarda meydana gelen sıcaklık değişimini de yansıtmaktadır.



Şekil 39. Dinamik yük altında çalışan yataklardan ölçülen sıcaklıkların çalışma süresine göre değişimini gösteren eğriler

Aşınma deneyleri sırasında, dökülmüş ve stabilize edilmiş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile CuSn12 bronzundan üretilen yataklarda meydana gelen hacim kayıpları Tablo 11'de, hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler de Şekil 40'da verilmiştir. Bu eğrilerden; dinamik yük altında çalışan yatakların hepsinde sürekli bir aşınmanın meydana geldiği görülmektedir. İncelenen yataklar içerisinde, en çok CuSn12 bronzundan üretilen yatağın, en az da stabilize edilmiş durumdaki ZnAl40Cu2Si1

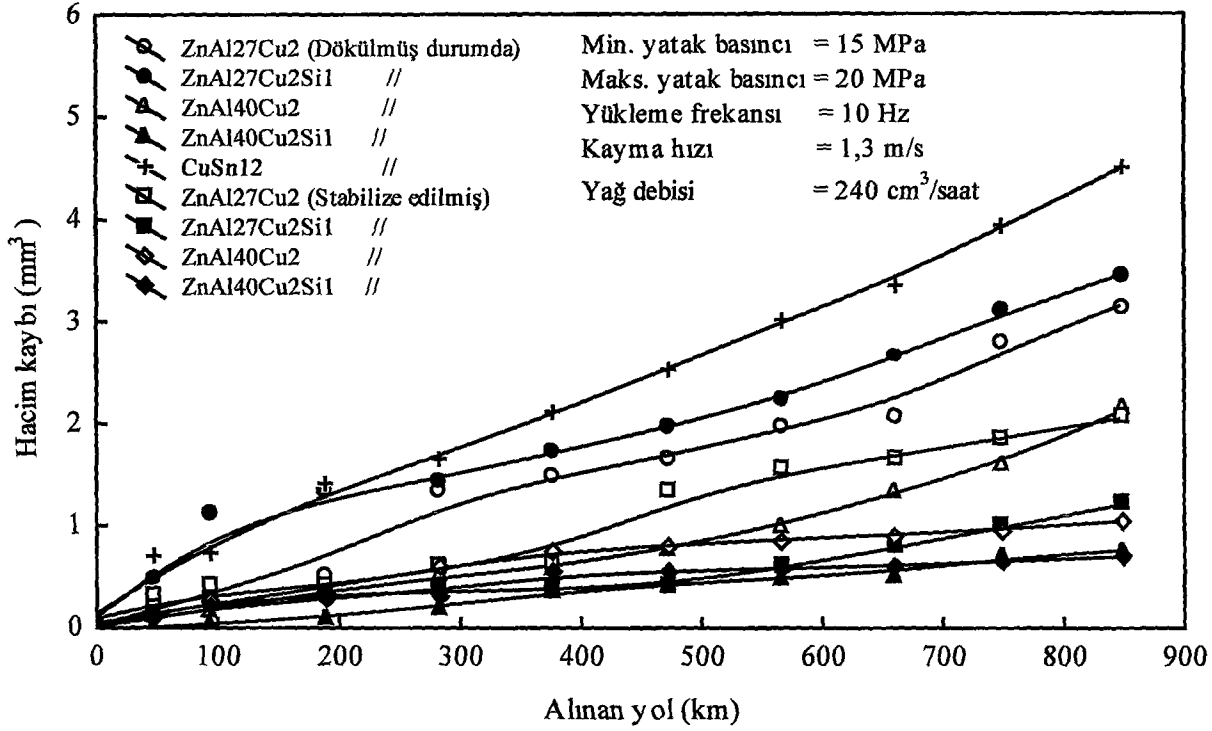
alaşımından üretilen yatağın aşındığı belirlendi. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklar içerisinde ise en fazla aşınmanın dökülmüş durumdaki ZnAl27Cu2Si1 alaşımından üretilen yatakta meydana geldiği görüldü. Dökülmüş durumdaki alaşımlardan üretilen yataklar içerisinde en az aşınmanın, statik yük altında yapılan deneylerde olduğu gibi yine ZnAl40Cu2Si1 alaşımından üretilen yatakta olduğu gözlemlendi. Statik yük altında yapılan aşınma deneylerinden elde edilen sonuçların aksine, stabilize edilmiş durumdaki alaşımlardan üretilen yatakların dinamik yükleme durumunda, dökülmüş durumdaki alaşımlardan üretilen yataklardan daha az aşındıkları görüldü.

Tablo 13. Dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yataklarda meydana gelen hacim kayıpları

Alaşım	Isıl işlem durumu	Alınan yol (km)									
		47	94	190	283	377	472	566	660	750	850
		Hacim kaybı (mm ³)									
ZnAl27Cu2	A	0,23	0,33	0,52	1,32	1,48	1,65	1,96	2,06	2,81	3,15
	B	0,31	0,40	0,40	0,60	0,62	1,32	1,55	1,65	1,85	2,05
ZnAl27Cu2Si1	A	0,49	1,12	1,32	1,43	1,72	1,95	2,22	2,65	3,12	3,45
	B	0,15	0,30	0,35	0,38	0,38	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
ZnAl40Cu2	A	0,12	0,16	0,40	0,53	0,59	0,78	1,00	1,34	1,59	2,15
	B	0,15	0,26	0,35	0,60	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,05
ZnAl40Cu2Si1	A	0,00	0,03	0,10	0,20	0,37	0,43	0,49	0,52	0,71	0,75
	B	0,1	0,22	0,30	0,32	0,55	0,55	0,57	0,60	0,65	0,70
CuSn12	A	0,71	0,73	1,40	1,65	2,10	2,52	3,03	3,36	3,95	4,50

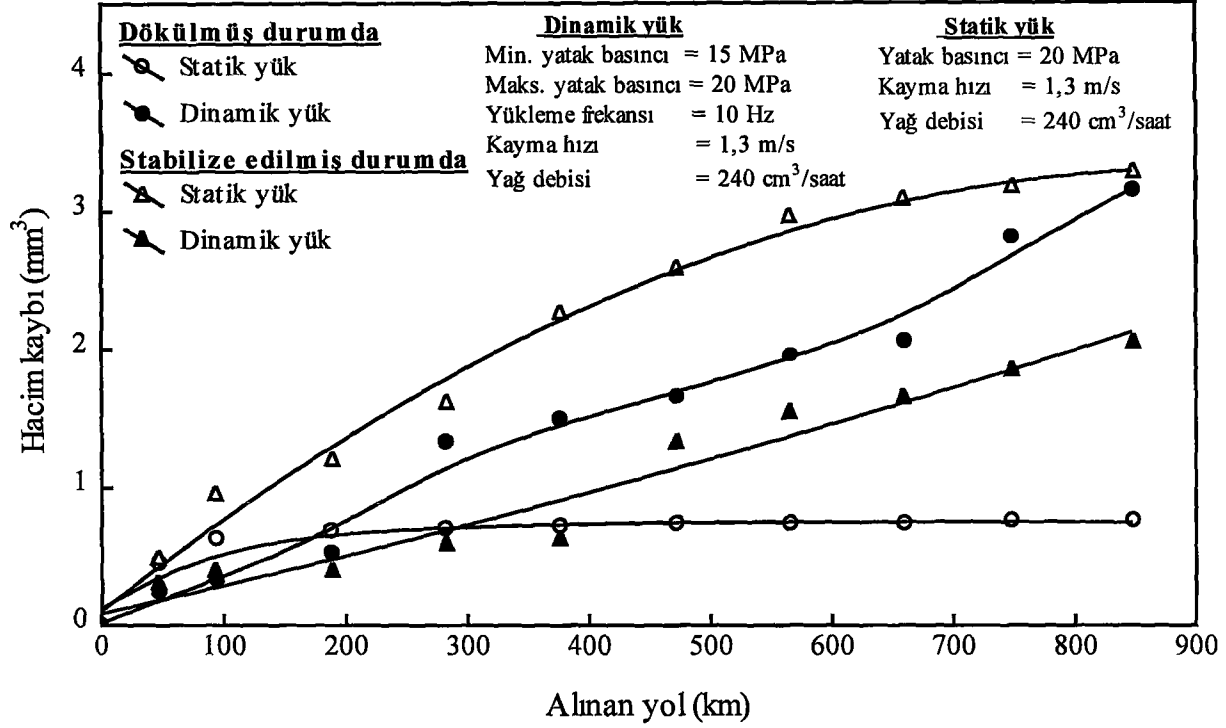
A: Dökülmüş durumda

B: 150 °C'de 10 gün stabilize edilmiş

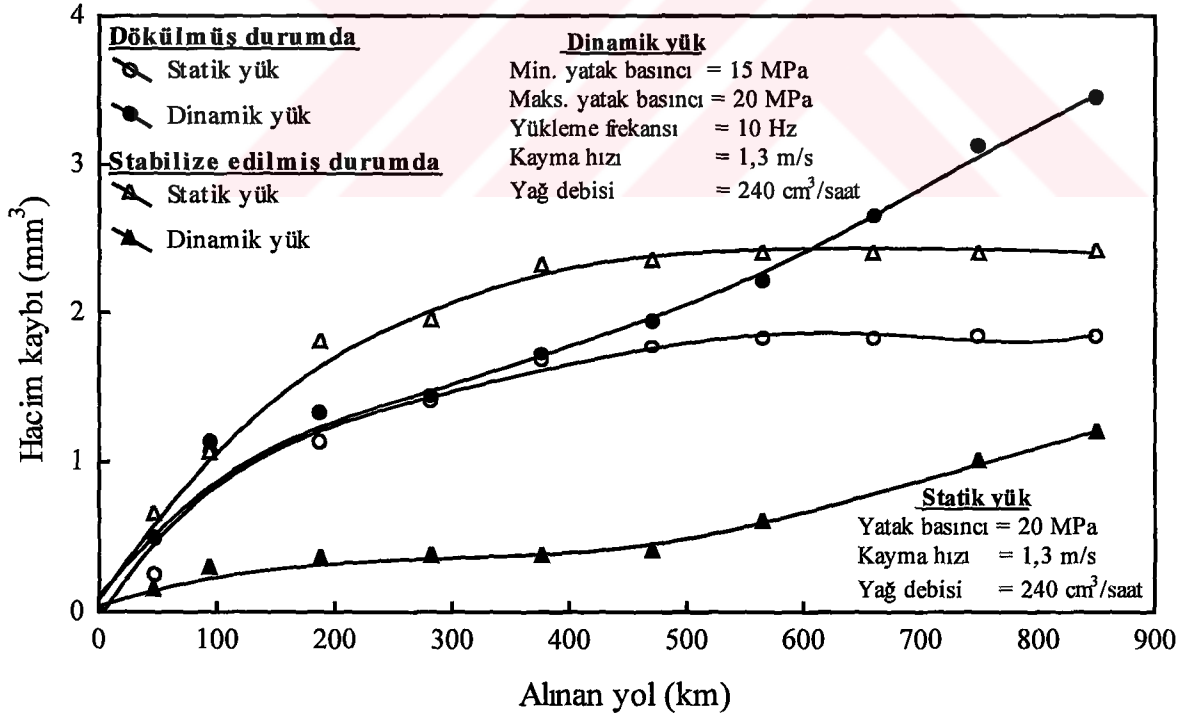


Şekil 40. Dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan kaymalı yataklarda meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler

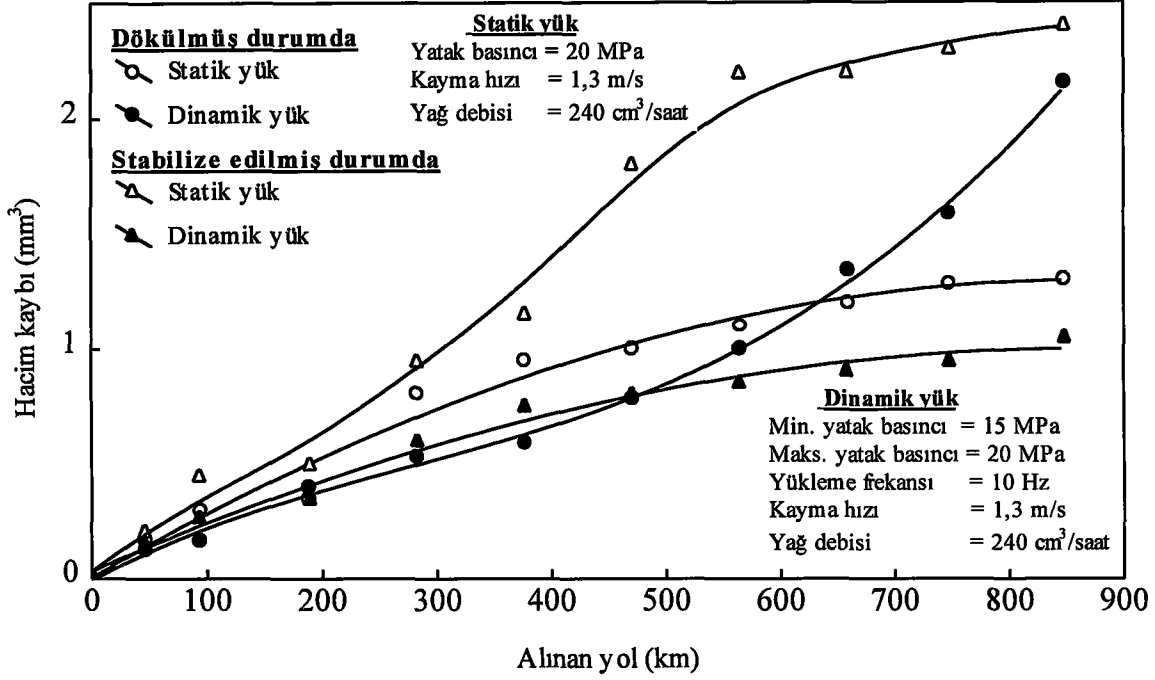
Dinamik ve statik yük altında çalışan yataklardaki aşınma davranışını karşılaştırmak amacıyla, ZnAl27Cu2, ZnAl27Cu2Si1, ZnAl40Cu2 ve ZnAl40Cu2Si1 alaşımlarından dökülmüş ve stabilize edilmiş durumlarda üretilen yataklarda meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler sırasıyla Şekil 41, 42, 43 ve 44'de verilmiştir. Bu eğriler; dökülmüş durumdaki alaşımlardan üretilen yataklarda dinamik yük altında meydana gelen aşınma hızının, statik yük altında meydana gelen aşınma hızından daha yüksek, stabilize edilmiş durumdaki alaşımlardan üretilen yataklarda ise dinamik yük altında meydana gelen aşınma hızının, statik yük altında meydana gelen aşınma hızından daha düşük olduğunu göstermektedir.



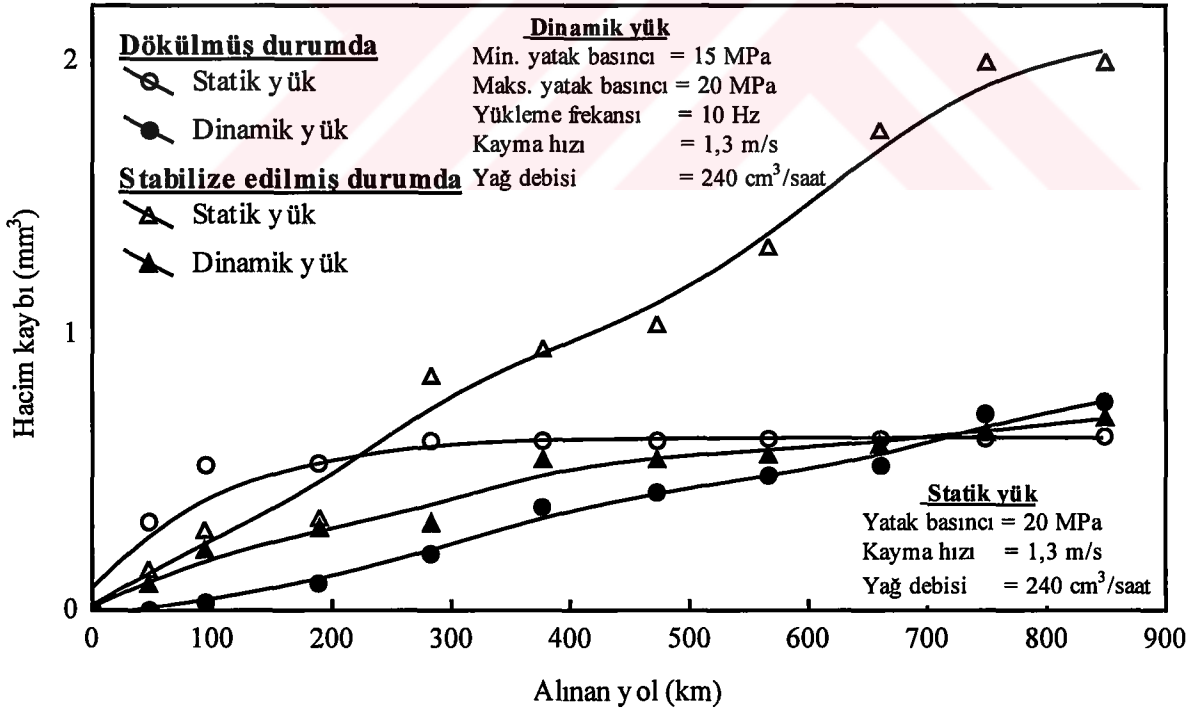
Şekil 41. ZnAl27Cu2 alaşımından dökülmüş ve stabilize edilmiş durumlarda üretilen yataklarda statik ve dinamik yüklemelerde meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



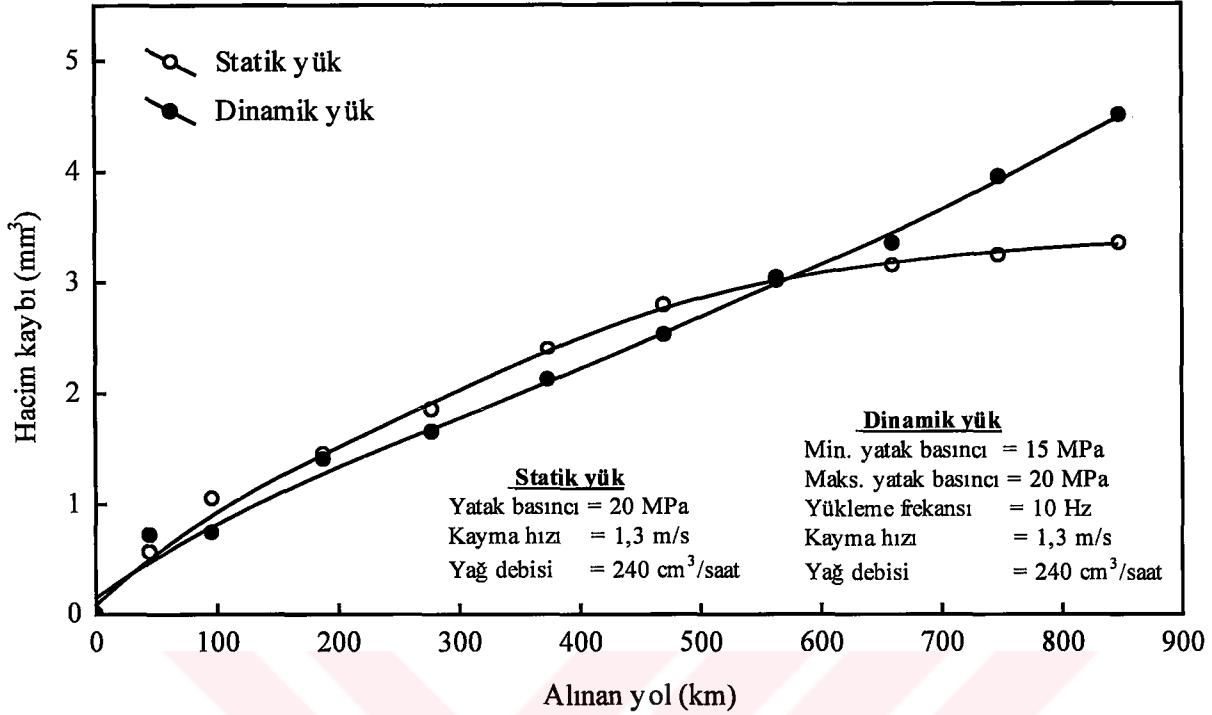
Şekil 42. ZnAl27Cu2Si1 alaşımından dökülmüş ve stabilize edilmiş durumlarda üretilen yataklarda statik ve dinamik yüklemelerde meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



Şekil 43. ZnAl40Cu2 alaşımından dökülmüş ve stabilize edilmiş durumlarda üretilen yataklarda statik ve dinamik yüklemelerde meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler

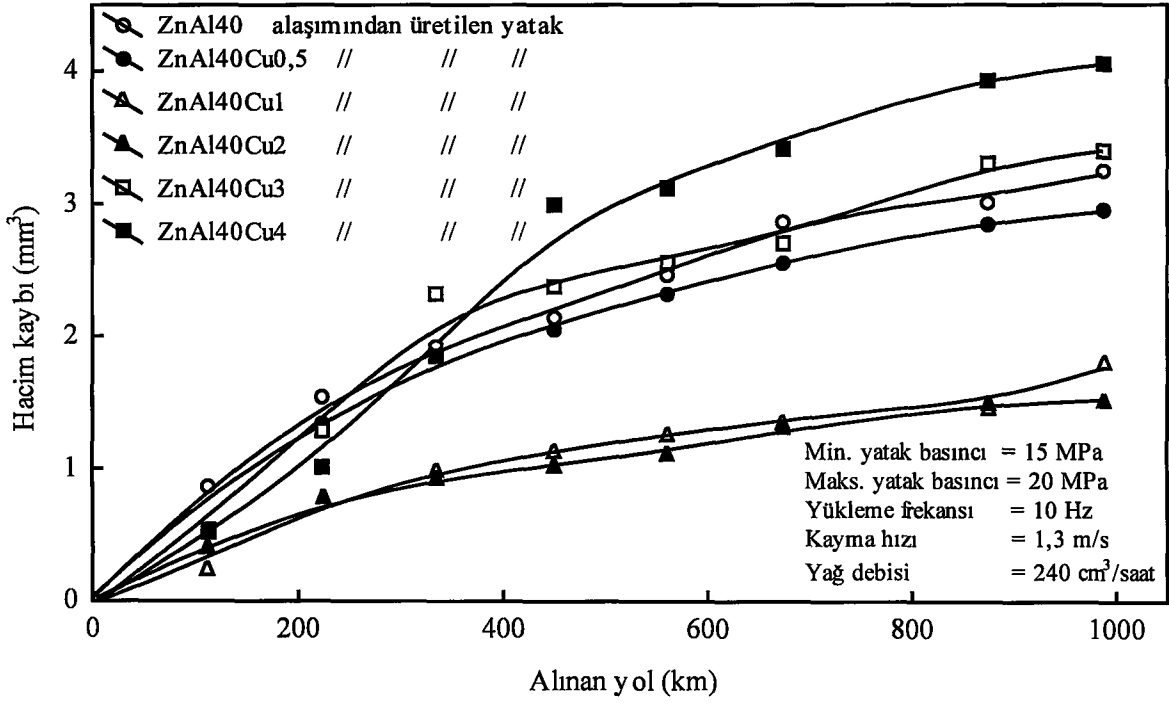


Şekil 44. ZnAl40Cu2Si1 alaşımından dökülmüş ve stabilize edilmiş durumlarda üretilen yataklarda statik ve dinamik yüklemelerde meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler

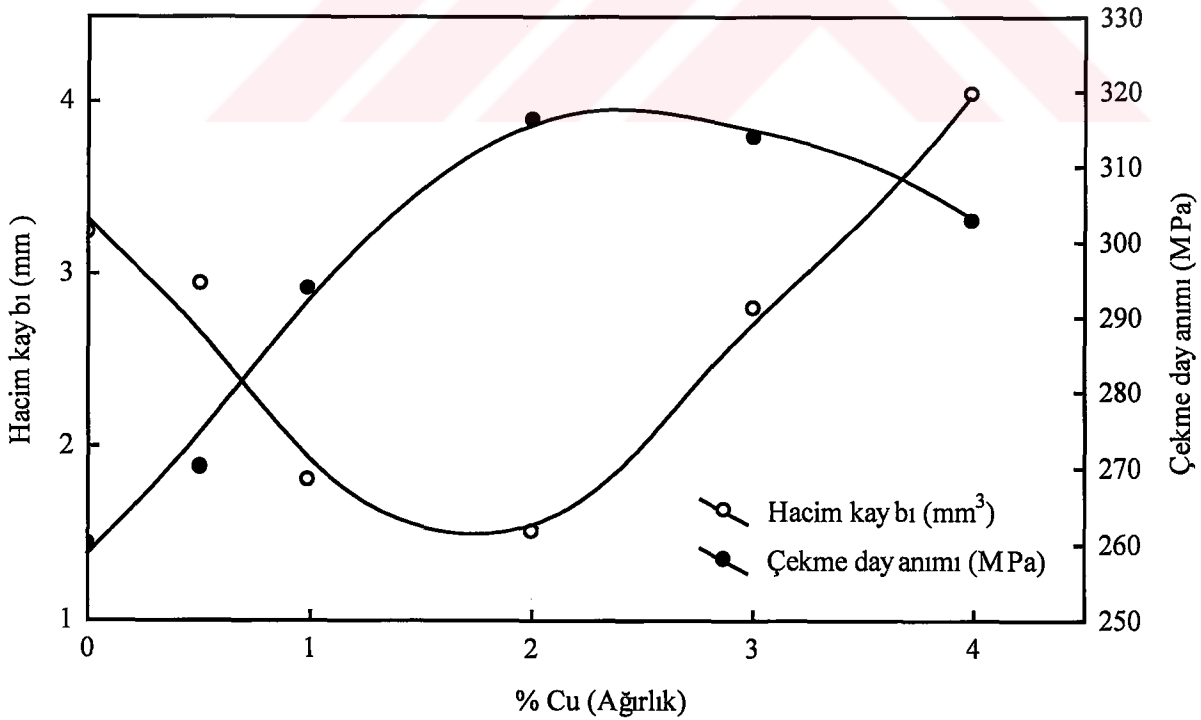


Şekil 45. CuSn12 bronzundan üretilen kaymalı yatakta statik ve dinamik yükleme durumunda meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler

Bu çalışmada ayrıca, bakır oranının dökülmüş durumdaki ZnAl40Cu esaslı üçlü alaşımlardan üretilen yatakların dinamik yük altındaki aşınma davranışlarına etkileri belirlendi. Söz konusu yataklarda meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 46'da verilmiştir. Söz konusu alaşımların çekme dayanımları ile dinamik yük altındaki aşınma sonucu meydana gelen hacim kaybı değerlerinin bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler de Şekil 47'de verilmiştir. Bu eğriler, bakır katkılarının belirli bir orana (%2) kadar söz konusu alaşımlardan üretilen yatakların aşınma direncini ve çekme dayanımını artırdığını, bu oranın üzerindeki bakır katkılarının ise aşınma direncini ve çekme dayanımını olumsuz etkilediğini göstermektedir. Nitekim, en düşük aşınma miktarı, çekme dayanımı en yüksek olan alaşımdan üretilen yatakta meydana gelmektedir.



Şekil 46. Değişik oranlarda bakır içeren ZnAl40 esaslı üçlü alaşımlardan dökülmüş durumda üretilen yataklarda dinamik yük altında meydana gelen hacim kayıplarının alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



Şekil 47. ZnAl40 esaslı üçlü alaşımların çekme dayanımları ile dinamik yük altındaki aşınma sonucu meydana gelen hacim kaybı değerlerinin bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler

3.4. Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular

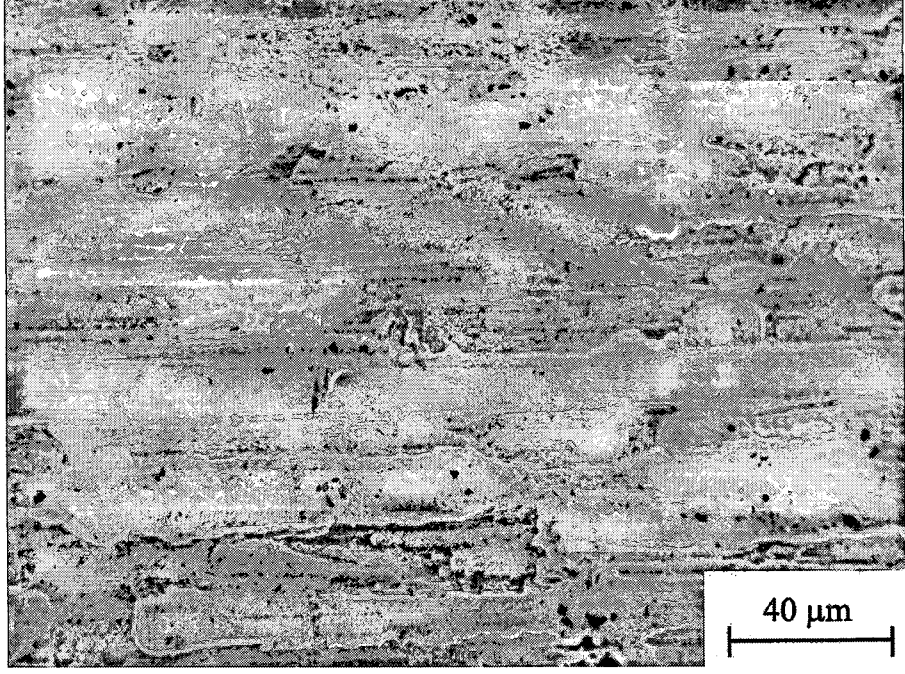
Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlara ait örneklerin aşınma yüzeylerinin birbirine çok benzedikleri görüldü. Bu nedenle burada, söz konusu alaşımlardan yalnız $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımına ait örneğin aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü verilmiştir, Şekil 48. Bu fotoğraf, söz konusu örneğin yüzeyine sıvanmış durumda bulunan sürtünme tabakaları ile hafif aşınma çiziklerini göstermektedir. Stabilize edilmiş durumdaki alaşımlara ait örneklerin aşınma yüzeylerinin de birbirine çok benzediği görüldü. Bu nedenle burada yalnız $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımına ait örneğin aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü verilmiştir, Şekil 49. Dökülmüş ve stabilize edilmiş durumdaki alaşımlara ait örneklerin aşınma yüzeyleri incelendiğinde, stabilize edilmiş alaşımlara ait örneklerin yüzeylerinde oluşan sürtünme tabakası ile aşınma izlerinin, dökülmüş durumdaki alaşımlara ait örneklerin yüzeylerinde oluşan sürtünme tabakaları ile aşınma izlerinden daha belirgin oldukları gözlemlendi. Aynı çalışma koşullarında deneye tabi tutulan $CuSn_{12}$ bronzunun aşınma yüzeyine ait SEM görüntüsü ise Şekil 50'de verilmiştir. Bu fotoğraf, bronz örneğinin aşınma yüzeyinde çok sayıda derin aşınma çizikleri ile çukurcukların oluştuğunu göstermektedir.

Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen ve statik yük altında aşınma deneylerine tabi tutulan yatakların aşınma yüzeylerinin de birbirine çok benzedikleri görüldü. Bu nedenle, söz konusu yatakların aşınma yüzeylerini temsil etmesi bakımından, burada yalnız $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımından üretilen yatağın aşınma yüzeyine ait SEM görüntüsü verilmiştir, Şekil 51. Bu fotoğraf, $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımından üretilen yatağın yüzeyinde, bu alaşıma ait aşınma örneğinin yüzeyinde gözlemlendiği gibi, hafif çizikler ile yüzeye sıvanmış durumda bulunan sürtünme tabakasının meydana geldiğini göstermektedir. Stabilize edilmiş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen ve statik yük altında aşınma deneylerine tabi tutulan yatakların aşınma yüzeylerinin de birbirine çok benzedikleri görüldü. Bu nedenle, yalnız stabilize edilmiş durumdaki $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımından üretilen yatağın aşınma yüzeyine ait SEM görüntüsü Şekil 52'de verilmiştir. Bu fotoğraftan da; stabilize edilmiş $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımından üretilen yatağın aşınma yüzeyinin, söz konusu alaşımdan dökülmüş durumda üretilen yatağın aşınma yüzeyinden daha derin ve geniş aşınma çizikleri ile çok daha fazla miktarda yüzeye sıvanmış durumda bulunan sürtünme tabakası içerdiği görülmektedir. Bronzdan üretilen yatağın aşınma yüzeyinde ise yine bu alaşıma ait aşınma örneğinin yüzeyinde

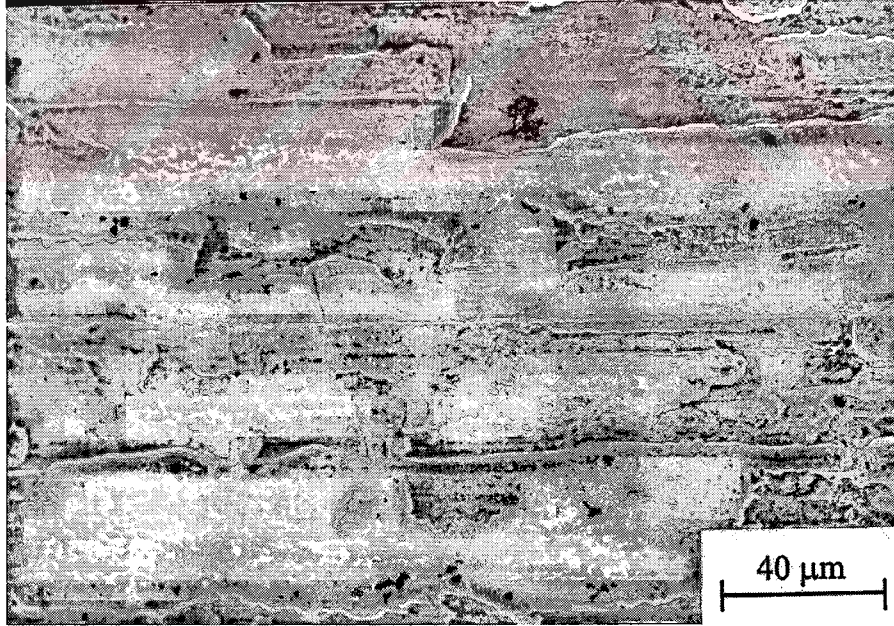
olduğu gibi, derin çizikler ile çukurcukların oluştuğu gözlendi, Şekil 53. Söz konusu fotoğraflar; 20 MPa'lık yatak basıncı, 240 cm³/saat'lik yağ debisi ve 1,3 m/s'lik kayma hızında toplam 180 saat (850 km) aşınma deneyine tabi tutulan söz konusu yatakların aşınma yüzeylerinden elde edilmiştir.

Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen ve dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatakların aşınma yüzeylerinde aşınma çizikleri ile ukurcuklara rastlandı. Ayrıca, aşınma ile yüzeyden kopan parçacıkların bir kısmının tekrar yüzeye yapıştığı görüldü. Burada, inko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklarda meydana gelen aşınma durumunu temsil etmesi bakımından, yalnız ZnAl₂₇Cu₂Si₁ alaşımından üretilen yatağın aşınma yüzeyine ait SEM görüntüsü verilmiştir, Şekil 54. Stabilize edilmiş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen ve dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatakların aşınma yüzeylerinde ise az sayıda aşınma çizikleri ve fazla miktarda sıvama veya yapışma tabakaları ile yüzeye gömülmüş parçacıklar görüldü. Stabilize edilmiş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların aşınma yüzeylerini temsil etmesi bakımından da bu tezde yalnız ZnAl₂₇Cu₂Si₁ alaşımından üretilen yatağın aşınma yüzeyi verilmiştir, Şekil 55. Dinamik yük altında denenen bronz yatağın aşınma yüzeyinde ise, aşınmanın daha çok çukurcuk oluşumu ile meydana geldiği gözlendi. Söz konusu yatağın aşınma yüzeyine ait SEM görüntüsü ise Şekil 56'da verilmiştir.

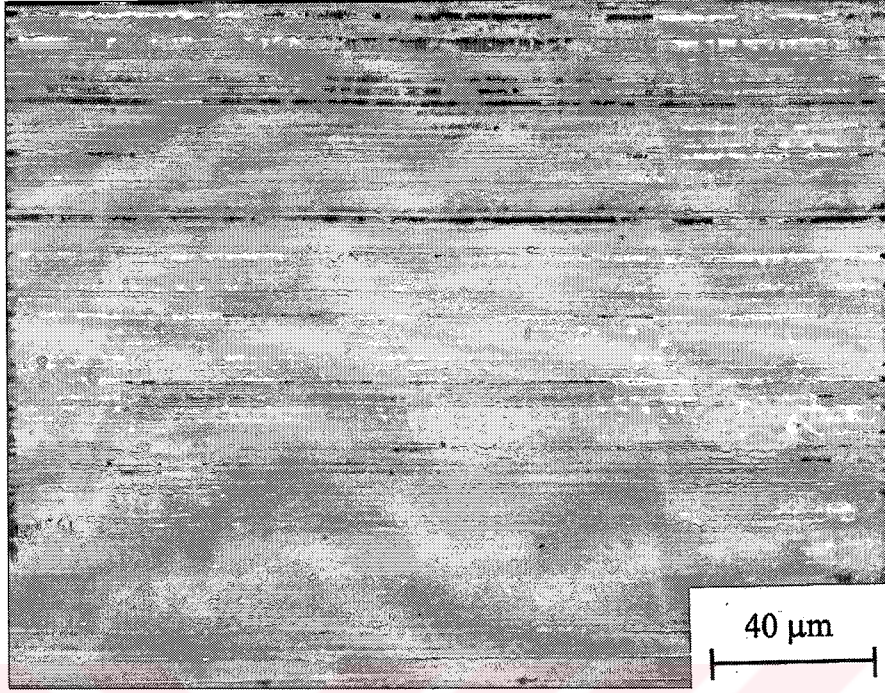
Çinko-alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen yatakların aşınma yüzeyleri enerji dispersif spektrometresi (EDS) yardımıyla incelendi ve aşınma yüzeylerindeki çinko oranının, ana yapının çinko oranından daha yüksek olduğu belirlendi. Bu durum aşınma yüzeylerinde çinkoca zenginleşmiş bir sürtünme tabakasının oluştuğunu göstermektedir.



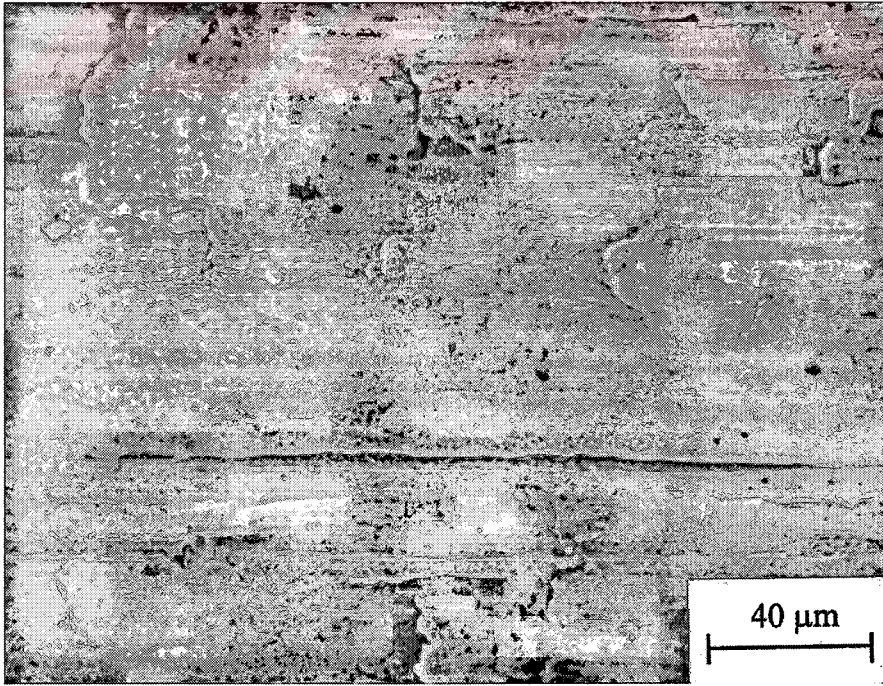
Şekil 48. Aşınma deneyine tabi tutulan dökülmüş durumdaki $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



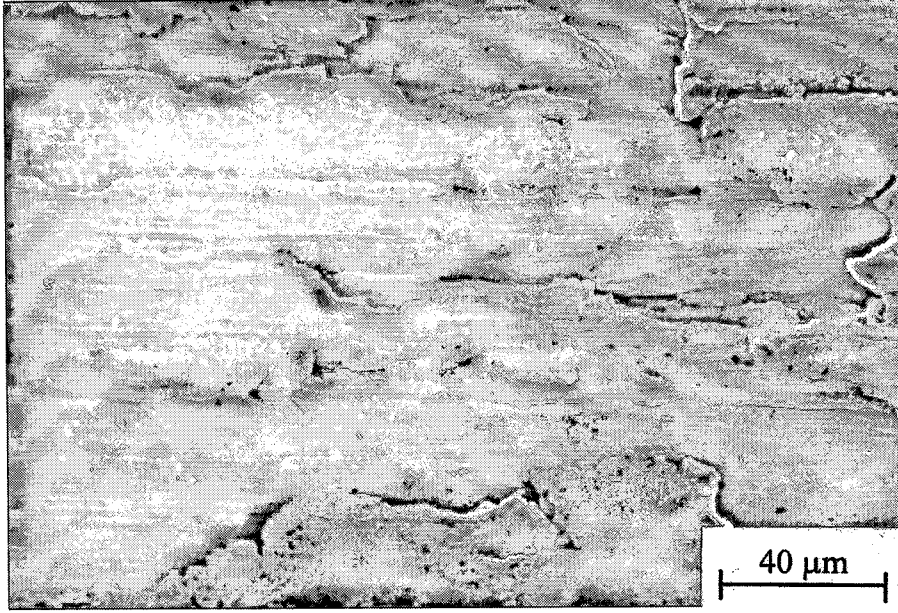
Şekil 49. Aşınma deneyine tabi tutulan stabilize edilmiş durumdaki $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



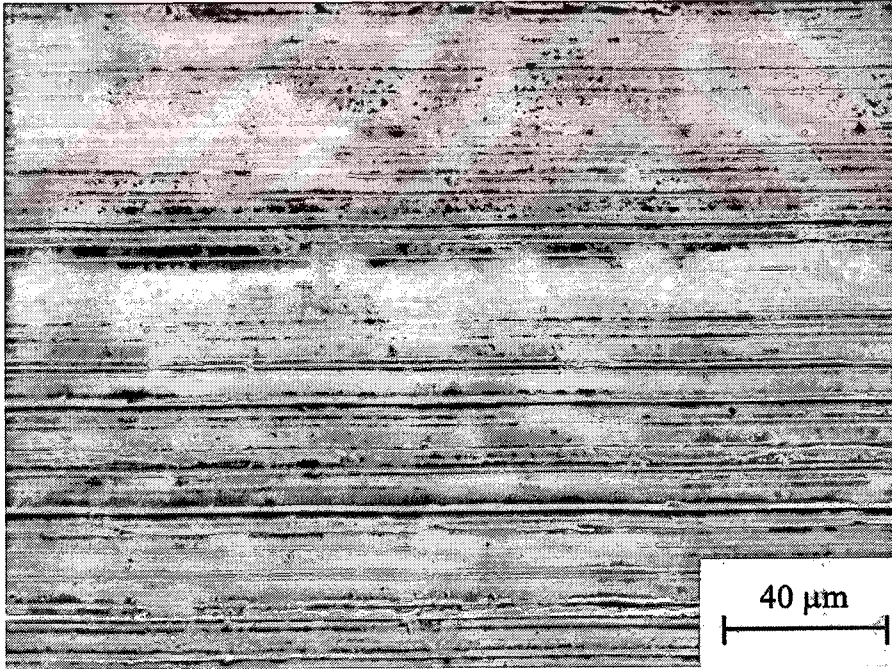
Şekil 50. Aşınma deneyine tabi tutulan CuSn12 bronzunun aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



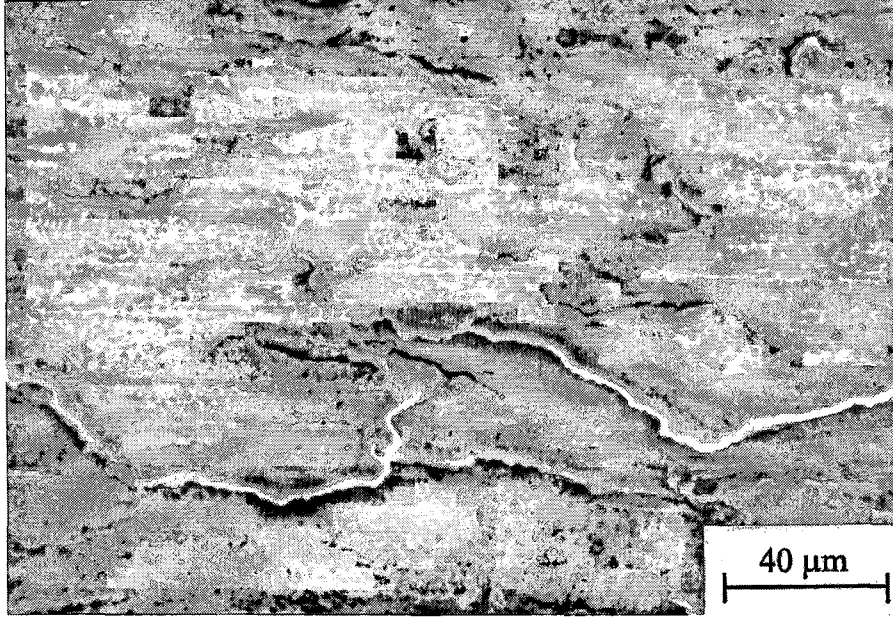
Şekil 51. Dökülmüş durumdaki ZnAl27Cu2Si1 alaşımından üretilen ve statik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



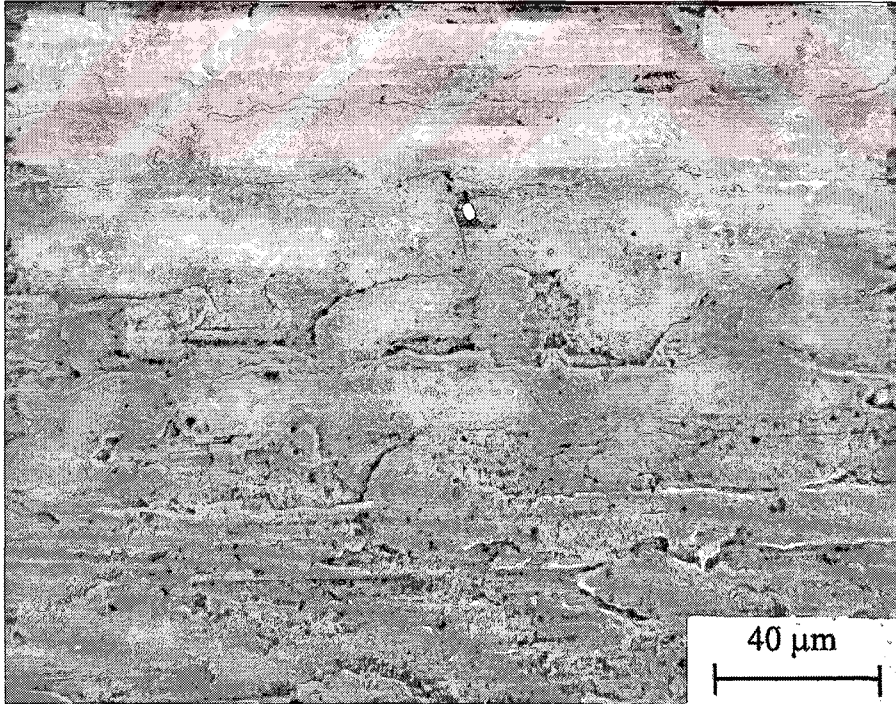
Şekil 52. Stabilize edilmiş durumdaki ZnAl₂₇Cu₂Si₁ alaşımından üretilen ve statik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



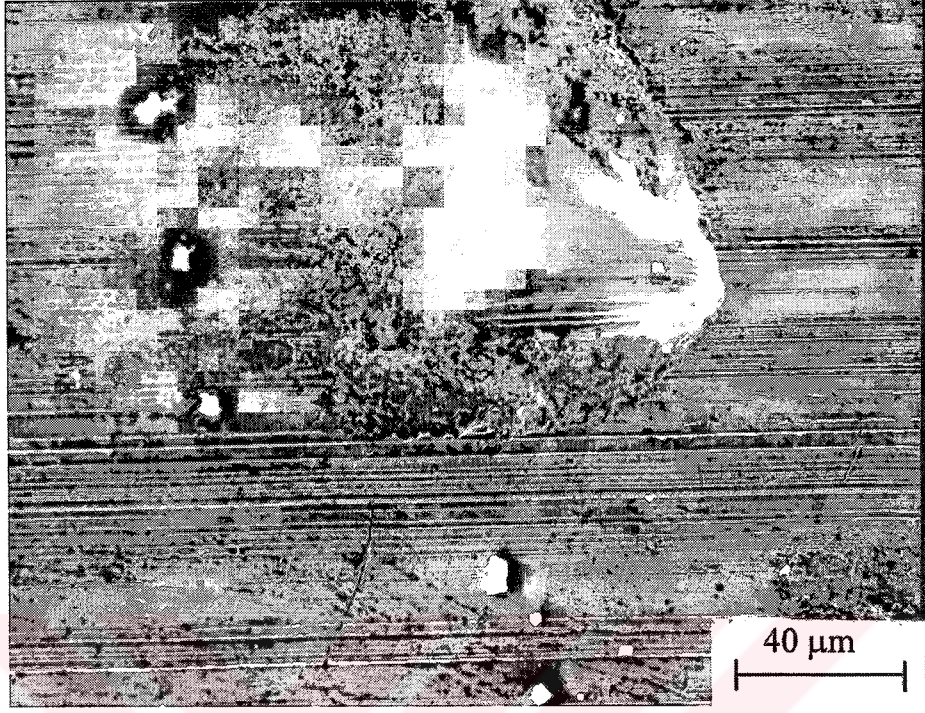
Şekil 53. CuSn₁₂ bronzundan üretilen ve statik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



Şekil 54. Dökülmüş durumdaki ZnAl27Cu2Si1 alaşımından üretilen ve dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



Şekil 55. Stabilize edilmiş durumdaki ZnAl27Cu2Si1 alaşımından üretilen ve dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



Şekil 56. CuSn12 bronzundan üretilen ve dinamik yük altında aşınma deneyine tabi tutulan yatağın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü

4. İRDELEME

Dökülmüş durumdaki üçlü (Zn-Al-Cu) alaşımların iç yapıları; alüminyumca zengin α dendritleri ile bunları çevreleyen çinkoca zengin η ve bakırca zengin fazlarından oluşmaktadır. Dökülmüş durumdaki dördü (Zn-Al-Cu-Si) alaşımların, aynı durumdaki üçlü (Zn-Al-Cu) alaşımların iç yapılarını oluşturan fazlardan başka silisyum parçacıkları da içerdikleri gözlemlendi. İlgili literatürde [1] belirtildiği gibi, çinko-alüminyum alaşımlarına katılan bakırın, dendritlerarası bölgelerde bakırca zengin metallerarası bileşikler oluştururken, silisyumun herhangi bir bileşik veya katı çözeltili oluşturmadan yapıda küçük parçacıklar halinde bulunduğu görüldü. Alaşımlara uygulanan stabilizasyon işlemi sonucunda dendritik yapının fazla değişmediği, ancak dendritlerarası bölgelerde yer alan çinko ve bakırca zengin metastabil fazların kararlı fazlara dönüştüğü belirlendi. Alaşımların yapısında bulunan silisyumun ise stabilizasyon işlemi sırasında herhangi bir dönüşüme uğramadığı gözlemlendi. Söz konusu durumlar ilgili literatürde [26, 51] belirtilen gözlemlerle de uyum içerisindedir.

Bu çalışmada, monotektoid esaslı alaşımların ($ZnAl_{40}Cu_2$ ve $ZnAl_{40}Cu_2Si_1$) gerek dökülmüş, gerekse ısıl işlem görmüş durumlarda ötektoid esaslı alaşımlardan ($ZnAl_{27}Cu_2$ ve $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$) daha yüksek sertlik ve mukavemet değerlerine sahip oldukları görüldü. Söz konusu durum, monotektoid esaslı alaşımların alüminyum oranlarının yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Çünkü, çinko-alüminyum esaslı alaşımların mukavemet değerleri artan alüminyum oranı ile belirli seviyelere kadar artmaktadır [67]. Ayrıca, silisyum katkılarının da üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının sertlik ve mukavemet değerlerini artırdığı gözlemlendi. Bu artış, silisyum parçacıklarının alaşımın matrisinden daha sert olmasından başka, dislokasyon hareketini engellemesinden de kaynaklanmaktadır [19]. Nitekim, dislokasyon hareketinin engellenmesinin veya zorlaştırılmasının malzemenin sertlik ve mukavemetini artırdığı bilinen bir gerçektir [26, 39].

Uygulanan stabilizasyon işleminin alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerini önemli ölçüde düşürürken, süneklik değerlerini ise artırdığı gözlemlendi. Örneğin; dökülmüş durumda sertliği 117 BSD, çekme mukavemeti 316 MPa ve kopma uzaması değeri %1,8 olan $ZnAl_{40}Cu_2$ alaşımının, stabilizasyon işleminden sonra sertliğinin 78 BSD'ye, çekme dayanımının 285 MPa'a düşmesi ve kopma uzaması değerinin ise %4,2

seviyesine çıkması bu durumu göstermektedir. Sertlik ve mukavemet değerlerinde meydana gelen azalma, uygulanan stabilizasyon işlemi sırasında alaşımlarda bulunan iç veya kalıntı gerilmelerle bağdaşıklık gerilmelerinin giderilmesinden kaynaklanmaktadır [51].

Diğer taraftan, düşük oranlardaki bakır katkılarının monotektoid bileşime sahip alaşımların çekme dayanımı ve sertliğini artırdığı görüldü. Ancak, bakır oranının belirli bir değerin (%2) üzerine çıkması durumunda, bu alaşımların çekme dayanımlarının azaldığı, sertliklerinin ise arttığı belirlendi. Bu durum alaşımların iç yapılarına dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki; alüminyumun en fazla %1 oranına kadar bakır çözebildiği bilinmektedir [67]. Bu nedenle, bakır oranının belirli bir değerin üzerine çıkması durumunda, çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının tane sınırlarında çinko ve bakırca zengin T' , θ ve ϵ metallerarası bileşikler oluşmaktadır [67]. Bakır oranının bir kısmı söz konusu bileşiklerin oluşması için harcandığından, tanelerin içerisindeki bakır oranı azalmaktadır. Bu durum, söz konusu alaşımlardaki katı çözeltili sertleşmesinin etkisini azaltmaktadır. Bakır oranının belirli bir değerin üzerine çıkması durumunda bu alaşımların mukavemet değerlerinin azalıp, sertliklerinin artması bu görüşü doğrulamaktadır.

Sürtünme deneylerinden elde edilen bulgular, hem dökülmüş hem de stabilize edilmiş durumdaki alaşımların sürtünme katsayısı ve çalışma sıcaklıklarının birbirine benzer biçimde değiştiklerini ve bu değerlerin çalışmanın başlangıcında hızlı bir şekilde artarak tepe değerlerine ulaştıklarını ve sonradan yavaşca azalarak kararlı değerlere eriştiklerini göstermektedir, Şekil 27 ve Şekil 28. Alıştırma veya rodaj devresi olarak da adlandırılan başlangıç aşamasında, karşılıklı çalışan metal çiftlerinin sıcaklıkları ile sürtünme katsayılarında görülen artış, aşınma yüzeylerinde yeterli kalınlıkta yağ filminin oluşmaması nedeniyle meydana gelen metal-metal temasından kaynaklanmaktadır [1, 72, 73]. Ayrıca, alaşımların sürtünme katsayılarının alıştırma devresinde zaman zaman artıp azaldığı görüldü. Bu durum, söz konusu devrede yüzeylerde yeterli kalınlıkta yağ filminin oluşmamasından başka, bu yağ filminin zaman zaman yırtılmasından kaynaklanmış olabilir [74, 75]. Nitekim, sıcaklık ile sürtünme katsayısının birbirine benzer biçimde değişerek aynı anda tepe noktalarına ulaşmaları, bu devrede metal-metal temasının meydana geldiğini göstermektedir.

Çubuk-disk esaslı aşınma deney düzeneğinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen aşınma eğrilerinden, dökülmüş durumdaki alaşımların alıştırma devresinde yüksek olan aşınma hızlarının zamanla azalarak, genelde sabit değerlere ulaştığı görüldü, Şekil 32. Bu alaşımlardan üretilen yatakların da statik yük altında benzer davranışlar sergiledikleri gözlemlendi, Şekil 34. Alıştırma devresinde, gerek alaşımlara ait örneklerin, gerekse alaşımlardan üretilen yatakların aşınma yüzeylerindeki pürüzleri örtecek kalınlıkta yağ filminin oluşmaması nedeniyle metal-metal teması meydana gelmektedir. Yüzeylerdeki yağ filmi kalınlığının yeterli olmaması, örnek ve yatakların aşınmasında malzeme özelliklerini ön plana çıkarmaktadır. Bu nedenle, bu koşullar altındaki aşınma davranışının daha çok sertlik ve mukavemet gibi yatak malzemesinin özelliklerine bağlı olduğu söylenebilir. Bu durum ilgili literatürlerde [17, 26] verilen bulgularla da uyum içerisindedir. Nitekim, sertlik ve mukavemeti yüksek olan $ZnAl_{40}Cu_2Si_1$ alaşımından üretilen yatakta, aynı koşullarda yapılan deneyler sonucunda meydana gelen toplam aşınma miktarının, sertlik ve mukavemeti daha düşük olan $ZnAl_{27}Cu_2$ alaşımından üretilen yatakta meydana gelen toplam aşınma miktarından daha az olması bu bulguyu doğrulamaktadır. Ancak, $ZnAl_{27}Cu_2$ alaşımından üretilen yatağın, sertlik ve mukavemeti daha yüksek olan $ZnAl_{27}Cu_2Si_1$ alaşımından üretilen yataktan daha az aşındığı görüldü. Bu durum ise, söz konusu alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen yatakların aşınma davranışlarının her zaman sertlik ve mukavemete bağlı olmadığını göstermektedir. Nitekim; gerek alaşımların, gerekse bu alaşımlardan üretilen yatakların aşınma davranışı bunların mekanik özelliklerinden başka, iç yapılarına ve aşınma yüzeylerinde oluşan oksit tabakası ile yağ filmine de bağlıdır [76, 77, 78]. Yatak malzemeleri genelde biri sert, diğeri yumuşak olmak üzere iki fazlı bir yapıya sahiptir. Sert faz yük taşıma görevi yaparken, yumuşak faz hem kaymayı kolaylaştırır, hem de aşınma sonucunda yatak yüzeylerinden kopan parçacıkların yatak malzemesine gömülmesini sağlar [2, 79, 80]. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlarından üretilen yatakların üstün tribolojik özellikleri, bu yatak alaşımlarının ideal iç yapıları ile yatakların aşınma yüzeylerinde oluşan çinko ve alüminyum oksit tabakalarına dayandırılarak açıklanmaktadır [6, 63, 81]. Çinko-alüminyum esaslı alaşımların iç yapılarında bulunan alüminyum ve bakırca zengin fazlar (α , ϵ ve T') ile silisyum parçacıkları, söz konusu alaşımlardan üretilen yataklarda yük taşıma görevi yaparken, çinkoca zengin η fazı, sert parçacıkların yatağa gömülmesine olanak sağlamasından başka sürtünme kuvvetini de azaltarak kaymayı kolaylaştırır [63, 64, 69]. Aynı şekilde,

kayma yüzeyinde oluşan sert alüminyum oksit tabakası uygulanan yükü taşıırken, daha yumuşak olan çinko oksit tabakası da yağlayıcı özelliğinden dolayı kaymayı kolaylaştırmaktadır [64]. Ayrıca, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların kayma yüzeylerinde oluşan sürtünme tabakalarının da katı yağlayıcı gibi davranarak, yatak-mil ara yüzeyindeki sürtünmeyi azalttığı ve bu nedenle yatakların aşınma direncini artırdığı ileri sürülmektedir [17].

Dökülmüş ve stabilize edilmiş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların statik yükleme durumunda, CuSn12 bronzundan üretilen yataklardan daha az aşındıkları gözlemlendi. Aynı şekilde, dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımların da aynı çalışma koşullarında denenilen CuSn12 bronzundan daha az aşındıkları belirlendi. Alaşımlara ait örneklerin ve bu alaşımlardan üretilen yatakların aşınma yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri de bu sonucu doğrulamaktadır. Nitekim, SEM ile yapılan incelemeler sırasında, çinko-alüminyum esaslı alaşımlara ait örnekler ile bu alaşımlardan üretilen yatakların aşınma yüzeylerinde hafif aşınma belirtileri görünürken, bronz örneği ve bronzdan üretilen yatağın aşınma yüzeyinde çok daha derin aşınma izlerine rastlandı. Bu bulgu, önceki araştırmacılar [2, 82] tarafından da elde edilmiştir.

Bu çalışmada ayrıca, üçlü ZnAl40Cu2 alaşımı ve bu alaşımdan üretilen yatağın, ZnAl27Cu2 alaşımı ve bu alaşımdan üretilen yataktan daha üstün aşınma direnci sergiledikleri görüldü. Aynı şekilde, ZnAl40Cu2Si1 alaşımı ve bu alaşımdan üretilen yatağın da ZnAl27Cu2Si1 alaşımı ve bu alaşımdan üretilen yataktan daha üstün aşınma direnci sergiledikleri belirlendi. Bu durum, monotektoid esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen yatakların, ötektoid esaslı alaşımlar ve bu alaşımlardan üretilen yataklardan daha üstün aşınma direncine sahip olduklarını göstermektedir. Bu sonuç; monotektoid esaslı alaşımların, ötektoid esaslı alaşımlardan daha yüksek sertlik ve mukavemet değerlerine sahip olmalarından kaynaklanmış olabilir [67].

Uygulanan stabilizasyon işleminin, çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile bu alaşımlardan üretilen yatakların statik yükleme durumundaki aşınma davranışını olumsuz etkilediği görüldü. Bu durum, stabilizasyon işleminin çinko-alüminyum esaslı alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerini düşürmesinden kaynaklanmış olabilir [17, 83]. Stabilize edilmiş durumdaki alaşımlardan üretilen yatakların özellikle rodaj döneminde, dökülmüş durumdaki alaşımlardan üretilen yataklardan daha hızlı aşındıkları görüldü. Söz konusu devrede, yatakların yüzeylerinde oluşan yağ filminin

yüzey pürüzlerini örtecek kalınlıkta olmaması nedeniyle yatak ve mil malzemeleri arasında metal-metal teması meydana gelebilir. Bu nedenle, bu devredeki aşınma davranışı daha çok sertlik ve mukavemet gibi yatak malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Buradan, yağ filmi kalınlığının yetersiz olması durumunda, sertlik ve mukavemet azaldıkça çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların aşınma direncinin azaldığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Kararlı bir iç yapı oluşturmak amacıyla uygulanan stabilizasyon işlemi, özellikle bakır içeren alaşımların sertlik ve mukavemet değerleri ile bu alaşımlardan üretilen yatakların statik yük altındaki aşınma dirençlerinin düşmesine neden olmaktadır [67]. Bununla birlikte, yatak malzemelerinde kararlı iç yapılar elde etmek için stabilizasyon işlemi uygulamak gerektiğinden bu olumsuz etki kaçınılmaz gibi gözükmektedir. Ancak sözü edilen etki, stabilizasyon sıcaklığının düşürülüp, süresinin kısaltılması veya uygun kimyasal bileşim seçilmesi suretiyle azaltılabilir. Nitekim, daha kararlı bir faz olan silisyum parçacıkları içeren yatak alaşımları daha düşük sıcaklık ve daha kısa sürelerde stabilize edilebilirler [17].

Sürtünme katsayısı düşük olan alaşımlardan üretilen yatakların aşınma hızlarının da düşük olduğu ve dolayısıyla aynı çalışma süresi sonunda bu alaşımlardan üretilen yatakların diğer alaşımlardan üretilen yataklardan daha az aşındıkları gözlemlendi. Nitekim, en düşük sürtünme katsayısına sahip olan $ZnAl_{40}Cu_2Si_1$ alaşımından üretilen yatağın en az, en yüksek sürtünme katsayısına sahip olan $CuSn_{12}$ bronzundan üretilen yatağın da en fazla aşındığı görüldü. Bu bulgular, sürtünme katsayısı yüksek olan alaşımlardan üretilen yatakların hızlı, sürtünme katsayısı düşük olan alaşımlardan üretilen yatakların ise yavaş aşındıklarını göstermektedir. Sözü edilen durum ilgili literatürde de [76, 77, 78] belirtilmektedir.

Statik yük altında denenilen yataklarda, basınç arttıkça sıcaklığın ve aşınma miktarının arttığı görüldü, Şekil 35 ve Şekil 36. Yatak sıcaklığının artması, artan basınç ile sürtünme kuvvetinin artmasından, aşınma miktarının artması ise artan sıcaklıkla yatak malzemesinin sertlik ve mukavemet değerlerinin azalmasından kaynaklanmış olabilir [67]. Diğer taraftan, kayma hızı arttıkça, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların statik yükleme durumundaki çalışma sıcaklıklarının arttığı görüldü, Şekil 37. Yağ molekülleri arasındaki iç sürtünmenin artan kayma hızı ile artması bu artışa neden olabilir [76]. Ancak, kayma hızının çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların statik yük altındaki aşınma davranışı üzerinde fazla etkili olmadığı görülmüştür, Şekil 38.

Gerek dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımların, gerekse bu alaşımlardan üretilen yatakların statik yük altındaki çalışma süreleri sonunda CuSn12 bronz ve bu bronzdan üretilen yataktan daha az aşındıkları belirlendi. Önceki araştırmacılar [2, 76] tarafından da gözlenen bu durum, söz konusu alaşımlardan üretilen yataklarda meydana gelen etkin aşınma mekanizmalarına dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki; çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların aşınma yüzeylerinde sıvama veya yapışma şeklinde sürtünme tabakalarının olduğu gözlemlendi. CuSn12 bronzundan üretilen yatağın aşınma yüzeyinde ise kesilme izleri ile derin çizikler görüldü. Bu bulgular, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklarda adhezif aşınma mekanizmasının, bronzdan üretilen yatakta ise abrazif aşınma mekanizmasının etkin olduğunu göstermektedir [80]. Başka bir deyişle; bronzdan üretilen yatakta kesme mekanizmasıyla aşınan malzeme yüzeyden uzaklaşırken, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklardan aşınma sonucunda kopan malzemenin bir kısmı tekrar yüzeye sıvanmaktadır. Bu nedenle, çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ve bu alaşımlardan üretilen yataklarda aşınma ile meydana gelen hacim kayıpları, bronz ve bronzdan üretilen yataklarda meydana gelen hacim kayıplarından daha az olmaktadır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, çinko-alüminyum esaslı alaşımların aşınma davranışları ile bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların statik yük altındaki aşınma davranışlarının birbirine çok benzedikleri görüldü. Örneğin; yüksek aşınma direncine sahip olan çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların da yüksek aşınma direnci sergiledikleri görüldü. Bu nedenle, alaşımların aşınma davranışı hakkında çubuk-disk esaslı aşınma deney düzeneği yardımıyla elde edilen bulguların, bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların aşınma davranışı için de büyük ölçüde geçerli olduğu söylenebilir. Ancak, stabilize edilmiş durumdaki alaşımlardan çubuk-disk esaslı aşınma deney düzeneği yardımıyla elde edilen aşınma eğrileri ile, aynı alaşımlardan üretilen yataklardan yatak deney düzeneği yardımıyla elde edilen aşınma eğrilerinin sıralanmasında bazı farklılıklar gözlemlendi. Örneğin; CuSn12 bronz stabilize edilmiş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan daha üstün aşınma direnci sergilerken, bu bronzdan üretilen yatağın çinko-alüminyum esaslı bütün alaşımlardan üretilen yataklardan daha düşük aşınma direnci sergilediği görüldü. Bu durum, her iki düzenekte kullanılan örneklerin biçim ve boyutlarının farklı olmasından başka, çalışma koşullarının da farklı olmasından kaynaklanmış olabilir.

Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklarda dinamik yükleme durumunda meydana gelen aşınmanın, statik yükleme durumunda meydana gelen aşınmadan daha hızlı olduğu görüldü. Bu durum, yatağa uygulanan dinamik yükün etkisiyle yatak yüzeyinde oluşan yağ filminin, statik yükleme durumuna göre daha kararsız olup, sürekli yırtılması ve metal-metal temasının meydana gelmesinden kaynaklanmış olabilir [84, 85]. Dinamik yük altında yapılan deneylerde yatak sıcaklığında sürekli olarak yükselip alçalması bunu doğrulamaktadır. Ayrıca, statik yük altında çalışan yatakların aşınma hızları zamanla azalarak sabit değerlere doğru giderken, dinamik yük altında çalışan yatakların aşınma hızları sürekli artmaktadır. Bu durum, dinamik yükün etkisiyle yataklarda meydana gelen yorulmadan kaynaklanabilir [86].

Alaşımlara uygulanan stabilizasyon işlemi, statik yük altında çalışan yatakların aşınma direncini azaltırken, dinamik yük altında çalışan yatakların aşınma direncini artırmaktadır. Bu durum, stabilizasyon işlemi sonucunda iç yapının yumuşaması ve aşınma yüzeyinden kopan parçacıkların dinamik yükün etkisiyle yumuşak durumda bulunan yatak alaşımına kolay gömülmesinden kaynaklanmış olabilir. Söz konusu durum yatakların aşınma yüzeyinden çekilen SEM fotoğraflarında da görülmektedir, Şekil 55.

Statik ve dinamik yük altında yapılan yatak deneylerinden elde edilen aşınma eğrilerinin karşılaştırılması sonucunda, incelenen yatakların her iki yükleme durumunda da birbirlerine göre benzer aşınma davranışı sergiledikleri görüldü. Şöyle ki; ZnAl40Cu2Si1 alaşımından üretilen yatak gerek statik, gerekse dinamik yükleme durumunda diğer yataklardan daha az aşınırken, CuSn12 bronzundan üretilen yatağın hem statik, hem de dinamik yük altında yapılan deneyler sonucunda diğer yataklardan daha fazla aşındığı belirlendi. Ancak, dökülmüş durumdaki alaşımlardan üretilen yataklar dinamik yükleme durumunda, statik yükleme durumuna göre daha hızlı aşınmakta ve dolayısıyla dinamik yük altında çalışan yataklarda daha fazla hacim kaybı meydana gelmektedir.

Düşük oranlardaki bakır katkılarının monotektoid esaslı alaşımlardan üretilen yatakların dinamik yük altındaki aşınma direncini önemli ölçüde artırdığı belirlendi. Ancak, bakır oranının belirli bir değerin (%2) üzerine çıkması durumunda yatakların aşınma direncinin azaldığı görüldü. Bu durum alaşımların sertlik ve mukavemet

değerlerinin bakır oranı ile değişiminden kaynaklanmaktadır, Şekil 47 [67]. Bu değişimin nedeni yukarıda açıklanmıştır.

Yapılan bütün inceleme ve değerlendirmeler sonucunda, dökülmüş ve ısıtılmış ve ısıtılmış durumda çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların gerek statik, gerekse dinamik yükleme koşullarında bronz yatakların yerine başarılı bir şekilde kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır.



5. SONUÇLAR

1. Çinko-alüminyum esaslı alaşımların yapı ve özelliklerini kararlı hale getirmek amacıyla 150°C'de 10 gün süreyle uygulanan stabilizasyon işlemi söz konusu alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerini düşürürken, süneklik değerlerini artırmaktadır.
2. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlara uygulanan stabilizasyon işlemi, söz konusu alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen yatakların statik yükleme durumundaki aşınma direncini azaltırken, dinamik yükleme durumundaki aşınma direncini artırmaktadır.
3. Sürtünme katsayısı düşük olan alaşımlardan üretilen yataklarda düşük hızlı aşınma, sürtünme katsayısı yüksek olan alaşımlardan üretilen yataklarda ise yüksek hızlı aşınma meydana gelmektedir.
4. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların statik yükleme durumundaki aşınma hızı zamanla azalarak sabit değerlere ulaşırken, dinamik yük altında çalışan yatakların aşınma hızı artan çalışma süresiyle sürekli olarak artmaktadır.
5. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile bu alaşımlardan üretilen yataklar hem statik, hem de dinamik yük altındaki çalışma durumunda, geleneksel bir yatak malzemesi olan CuSn12 bronz ve bu malzemeden üretilen yataktan daha yüksek aşınma direnci sergilerler.
6. Çinko-alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen yatakların aşınma davranışları; bu malzemelerin kimyasal bileşim, yapı ve mekanik özelliklerinden başka, yüzeylerinde oluşan sürtünme tabakalarına da bağlıdır.
7. Statik yük altındaki çalışma sırasında çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile bu alaşımlardan üretilen yataklarda adhezif aşınma mekanizması, CuSn12 bronz ve bu malzemeden üretilen yataklarda ise abrazif aşınma mekanizması etkin olmaktadır. Dinamik yük altındaki çalışma sırasında ise bu mekanizmalardan başka yorulma aşınması da meydana gelmektedir.
8. Yatakların çalışma sıcaklıkları artan kayma hızı (0,46-2,6 m/s) ile artmaktadır. Ancak, kayma hızı çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların statik yük altındaki aşınma davranışı üzerinde fazla etkili değildir.

9. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların statik yükleme durumundaki aşınma hızı ve çalışma sıcaklıkları artan yatak basıncı (3,5-22 MPa) ile artmaktadır.
10. Monotektoid bileşime sahip çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ve bu alaşımlardan üretilen yataklar gerek statik, gerekse dinamik yükleme koşullarında ötektoid bileşime sahip çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ve bu alaşımlardan üretilen yataklardan daha üstün aşınma direnci sergilerler.
11. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ile CuSn12 bronzunun sürtünme ve aşınma davranışı hakkında çubuk-disk esaslı aşınma deney düzeneği yardımıyla elde edilen bulgular, bu malzemelerden üretilen yatakların aşınma davranışı hakkında yatak deney düzeneği yardımıyla elde edilen bulgular ile uyum içerisindedir.
12. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yataklar, dinamik yük altındaki çalışma durumunda, statik yük altındaki çalışma durumuna göre daha hızlı aşınırlar.
13. İncelenen alaşımlar ve bu alaşımlardan üretilen yataklar içerisinde ZnAl40Cu2Si1 alaşımı ve bu alaşımdan üretilen yatak en üstün tribolojik özelliklere sahiptir.
14. ZnAl40Cu esaslı alaşımlardan üretilen yatakların aşınma direnci artan bakır oranı ile artar, bakır oranının belirli bir değerin (%2) üzerine çıkması durumunda ise azalır.

6. ÖNERİLER

1. Kimyasal bileşim ve ısıl işlemin çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların tribolojik özelliklerine etkileri daha geniş kapsamlı olarak incelenerek, bu yataklar için en uygun kimyasal bileşim ve ısıl işlem belirlenebilir.
2. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar çelik zarflar üzerine kaplanarak tabakalı yataklar üretilir ve bu yatakların statik ve dinamik yükleme durumundaki tribolojik özelliklerinin incelenmesi sonucunda yeni tabakalı yataklar geliştirilebilir.
3. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların otomobillerin krank millerinin yataklanması gibi gerçek uygulamalardaki tribolojik davranışları incelenerek, kullanım alanları daha da genişletilebilir.



7. KAYNAKLAR

1. Savaşkan, T., "The Structure and Properties of Zinc-Aluminium Based Bearing Alloys", Ph. D. thesis, University of Aston in Birmingham, 1980.
2. Murphy, S., Savaşkan, T., "Comparative Wear Behaviour of Zn-Al-Based Alloys in an Automotive Engine Application", *Wear*, 98 (1984) 151-161.
3. Calayag, T. ve Ferres, D., "High Performans, High Aluminum Zinc Alloys for Low Speed Bearings and Bushings", SAE Annual Conference, paper no 820643, 1983, 2241-2251.
4. Apelian, D., Paliwal, M. ve Herrschaft, D. C., "Casting with Zinc Alloys", *Journal of Metals*, 33, 11 (1981) 12-19.
5. Altorfer, K. J., "Zinc Alloys Compete with Bronze in Bearings and Bushings", *Metall Progress*, November, 122, 6 (1982) 29-31.
6. Marczak, R. J. ve Ciach, R., "Tribological Properties of Concentrated Al-Zn Alloys", *Proc. 1st Europe Tribology Congress*, 1973, London, 223-227.
7. Lee, P. P., Savaşkan, T. ve Laufer, E., "Wear Resistance and Microstructure of Zn-Al-Si and Zn-Al-Cu Alloys", *Wear*, 117 (1987) 79-89.
8. Gervais, E., Barnhurst, R. J. ve Loong, C. A., "An Analysis of Selected Properties of ZA Alloys", *Journal of Metals*, 37, 11 (1983) 43-47.
9. Pürçek, G., "Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1994.
10. Calayag, T. S., "The Practicality of Using Zinc-Aluminium Alloys for Friction-Type Bearings", 25th Annual Conference of Metallurgists, Aug. 1986, Toronto, Ontario, 305-313.
11. Gervais, E. ve Loong, C. A., "New ZA in Die Casting", 11th International Pressure Die Casting Conference, 19-22 June 1984, Lyon-France, 1-25.
12. Barnhurst, R. J., "Zinc-Aluminum Alloy Design Manual for Continuous Rotation Bearings", Noranda Sales Corporation Ltd., Toronto, January 1988.
13. Lyon, R., "The Properties and Applications of ZA Alloys", *The British Foundry-man*, (1986) 344-349.

14. Murphy, S., "Solid-Phase Reactions in the Low-Copper Part of the Al-Cu-Zn System", *Zeitschrift Metallkunde*, 71 (1980) 96-102.
15. Zhu, Y., Yan, B. ve Huan, W., "Bearing Wear Resistance of Monotectoid Zn-Al Based Alloy (ZA-35)", *Materials Science and Technology*, 11, (1995) 109-113.
16. Lyon, R., "Engineering Applications of ZA Alloys", *Proc. Second Conference on Material Engineering*, 1985, London, 221-227.
17. Wakefield, E. C., "Copper-Aluminium Zinc Alloy Excels in Tough Conditions", *Design Engineering*, (1973) 1-4.
18. Mihaichuk, W., "Zinc-Alloy Bearings Challenge the Bronzes", *Machine Design*, 53, 28 (1981) 133-137.
19. Lamberigts, M., Walmag, G., Coutsouradis, D., Delneuville, P. ve Meeus, M., "Friction and Ductility Behaviours of a High Strength Zinc Foundry Alloys", *AFS Transactions*, (1985) 569-578.
20. Radden, T., "Zinc Alloy Bearing Down on Bronze Territory", *Canadian Mining Journal*, (1986) 58-59.
21. Givertz, A.C., "Zinc Casting Alloys-A Comparative Properties Analysis", *Society of Automotive Engineers*, Paper no 871953, (1988) 104-1067.
22. Barnhurst, R. J., "Bearing Design Manual", *Noranda Sales Corporation Ltd.*, Toronto, January 1988.
23. Calayag, T., "Zinc Alloys Replace Bronze in Mining Equipment Bushings and Bearings", *Mining Engineering*, (1983) 727-728.
24. 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.
25. Geng, H. ve Ma, J., "Friction and Wear of Al-Zn-Pb Bearings Alloy", *Wear*, 169 (1993) 201-207.
26. Savaşkan, T. ve Murphy, S., "Mechanical Properties and Lubricated wear of Zn-25Al-Based Alloys", *Wear*, 116 (1987) 211-224.
27. Ma, T., Chen, D. Q., Li, S. C. ve Wang, H. M., "Effect of Mn on Lubricated Friction and Wear Properties of Zn-Al Alloys", *Louyang Institute of Technology*, Louyang, People's Republic of China, 1990.
28. Durman, M. ve Murphy, S., "Precipitation of Metastable ϵ -Phase in a Hypereutectic Zinc-Aluminum Alloys Containing Copper", *Acta Metall. Mater.*, 39, 10 (1991) 2235-2242.

29. Gross, D. K., "Zinc Alloys: Specifications and Processing", Society of Automotive Engineers, paper no 871952, (1988) 1069-1075.
30. Pürçek, G., Küçükömeroğlu, T. ve Savaşkan, T., "Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımlardan İmal Edilen Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi", Mühendis ve Makina, 37 (1996) 35-41.
31. Murphy, S., Savaşkan, T. ve Wheeldon, J. K., "Rhecast Zinc-Aluminum Based Alloys", International Congress on Metals Engineering, 15-16 September 1981, University of Aston, Birmingham, Casting and Foundry Technology, Preprint Volume, 7/1-7/1.
32. Riston, T. J., Barnhurst, R. J. ve Mihaichuk, W. M., "Comparative Wear Rate Evaluation of Zinc-Aluminum (ZA) and Bronze Alloys Through Block-on-Ring Testing and Field Applications", paper no 860064, SAE Annual Conference, Detroit, USA, 1986.
33. Mihaichuk, W. ve Bess, M. L., "The ZA Die Casting Alloys", Society of Automotive Engineers, paper no 860556, (1986) 560-568.
34. Savaşkan, T. ve Çuvalcı, H., "Çinko-Alüminyum Esaslı Yatak Alaşımlarının Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi", 4. Ulusal Makina Tasarımı ve İmalat Kongresi, Ankara, Eylül 1990.
35. Zho, Y. H., Torres, G. ve Pina, C., "Complex Microstructural Changes in As-Cast Eutectoid Zn-Al Alloy", Journal of Materials Science, 29 (1994) 1549-1552.
36. Engineering Properties of Zinc Alloys, Editors: Goodwin, F. E. ve Ponikvar, A. L., Published by Int. Lead Zinc Res. Org. Inc., Third Edition-Revised, North Carolina, 1989.
37. Savaşkan, T. ve Murphy, S., "Zn-Al Esaslı Yatak Alaşımlarındaki Faz Dönüşümleri", 4. Ulusal Metalurji Kongresi, Ankara, Ekim 1986, Bildiriler Kitabı, Cilt II, 532-555.
38. Barnhurst, R. J., "Guidelines for Designing Zinc Alloy Bearing - A Technical Manual", Society of Automotive Engineers, paper no 880289, (1988) 2164-2170.
39. Savaşkan, T. ve Murhy, S., "Decomposition of Zn-Al Alloys on Quench-Aging, Materials Science and Technology, 6, (1990) 695-700.
40. Murphy, S., "The Structure of the T' Phase in the System Al-Cu-Zn", Metal Science, 9, (1975) 163-168.
41. Zhu, Y. ve Murphy, S., "A General Rule of Decomposition Reaction in Supersaturated Zn-Al Based Alloys, Chin. J. Met. Sci. Technol., 2 (1986) 105-116.
42. Zhu, Y. H. ve Goodwin, F. E., "Influence of Rare Earth Element Additions on Phase Transformations in the Zn-27% Al Alloy", J. Mater. Res., 8, 12 (1993) 3043-3049.

43. Zhu, Y., "Phase Equilibria in Zn-Al-Cu-Si System at 285°C", Chin. J. Met. Sci. Technol., Vol. 5, (1989) 113-118.
44. Zhu, Y. H. ve Goodwin, F. E., "Microstructures of Thermomechanically Treated Eutectoid Zn-Al Alloy", J. Mater. Sci. Technol., vol. 10, (1994) 121-126.
45. Zhu, Y. H., "Phase Transformations of Eutectoid Zn-Al Alloys", Institute de Investigaciones en Materiales, UNAM Tongji University, China, 1994.
46. Murphy, S. ve Savaşkan, T., "Metallography of Zinc-25% Al Based Alloys in the As-Cast and Aged Conditions", Practical Metallography, 24, (1987) 204-221.
47. Zhu, Y., Savaşkan, T. ve Murphy, S., "Phase Transformations in Quench-Aged Zn-Al-Si Alloys, Mat. Res. Soc. Proc., 21, (1984) 835-840.
48. Lyon, R., "New Zinc Alloys with Wide Engineering Applications", Proc. Conference on Materials Engineering, University of Leeds, July 1984, 87-96.
49. Barnhurs, R. J., Metals Handbook, 10th Edition, vol. 2, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1991, 528-542.
50. 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.
51. 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.
52. Savaşkan, T., Torul, O. ve Çuvalcı, H., "Çinko-Alüminyum Alaşımlarının İçyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", 5. Ulusal Metalurji Kongresi, Ankara, Kasım 1988, Bildiriler Kitabı, Cilt II, 794-798.
53. Durman, M., "Çinko-Alüminyum Esaslı Basınçlı Döküm Alaşımlarının %0-%30 Al Bileşim Aralığında Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi", 5. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, Nisan 1993, Bildiriler Kitabı, 177-191.
54. Savaşkan, T. ve Ayar, H. H., "Çinko-Alüminyum Alaşımlarının %2 HCl Sulu Çözelti Ortamındaki Korozyon Davranışının İncelenmesi", Korozyon, 8, (1996) 3-9.
55. Skenazi, A. F., Pelerin, J., Coutsouradis, D., Magnus, B. ve Meeus, M., "Some Recent Developments in the Improvements of the Mechanical Properties of Zinc Foundry Alloys, Metall., 137, 9 (1983) 898-902.
56. Ashrafizadeh, F., Young, J. M. ve Kondic, V., "Solidification Structure and Mechanical Properties of Zn-27Al Alloys Cast in Metal Moulds, Materials Science and Technology, 3 (1987) 665-670.
57. Halling, J., "Principle of Tribology", Macmillan Education Ltd., Great Britain, 1989.

62. Aydın, M. ve Savaşkan T., "Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi", Mühendis ve Makina, cilt: 38, 444 (1997) 40-45.
63. Marczak R. J. ve Ciach, R., "Tribological Properties of the Concentrated Al-Zn Alloys", Proc. 1st Europe Tribology Congress, 1973, London, 223-227.
64. Prasad, B. K., "Effects of Silicon Addition and Test Parameters on Sliding Wear Characteristics of Zinc-Based Alloys Containing 37.5% Aluminium", Materials Transactions, JIM, 38, 8 (1997) 701-706.
65. Barnhurst, R. J. ve Farge, J. C., "A Study of the Bearing Characteristics of Zinc-Aluminum (ZA) Alloys", Canadian Metallurgical Quarterly, 27, 3 (1988) 225-233.
66. Delneville, P., "Tribological Behaviour of ZnAl Alloys (ZA27) Compared with Bronze When Used as a Bearing Material With High Load and at very Low speed", Wear, 105 (1985) 283-292.
67. Savaşkan, T., Çuvalcı, H., Pürçek, G., Kara, Ö. ve Ayar, H., "Çinko-Alüminyum Esaslı Yeni Yatak Malzemelerinin Geliştirilmesi ve Bu Malzemelerden Üretilen Yatakların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi", Proje No: MİSAG-31. (DPT), TÜBİTAK, Mart 1995.
68. Jian, L., Laufer, E. E. ve Masounave, J., "Wear in Zn-Al-Si Alloys", Wear, 165 (1993) 51-56.
69. Tarabian, H., Pathak, J. P. ve Tiwari, S. N., "Wear Characteristics of Al-Si Alloys", Wear, 172 (1994) 49-58.
70. Lee, P. P., Savaşkan, T. ve Laufer, E., "Wear Resistance and Microstructure of Zn-Al-Si and Zn-Al-Cu Alloys", Wear, 117 (1987) 79-89.
71. Barnhurst, R. J., "Guidelines for Designing Zinc Alloy Bearings - A Technical Manual", Society of Automotive Engineers, paper no 88028 (1989) 2164-2170.
72. Savaşkan, T. ve Çuvalcı, H., "Çinko-Alüminyum Esaslı Yatak Alaşımlarının Geliştirilmesi ve Kaymalı Yatak Uygulamalarında Değerlendirilmesi", Araştırma Projesi Sonuç Raporu, K.T.Ü. Araştırma Fonu, 1996.

73. Çuvalcı, H., “Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ve Bu Alaşımlardan İmal Edilen Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon 1996.
74. Hutchings, I. M., “Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials”, Edward Arnold Publishers Ltd., Great Britain, 1992.
75. Blau, P. J., “Friction and Wear Transitions of Materials, Noyes Publications, 1989.
76. Prasad, B. K., Patwardhan, A. K. ve Yegneswaran, A. H., “Dry Sliding Wear Response of a Modified Zinc-Based Alloys”, Materials Transactions, JIM, vol. 38, 3 (1997) 197-204.
77. Iwai, Y., Hou, W., Honda, T. ve Yoneda, H., “Wear Behaviour of High Tensile Strength Aluminium Alloys Under Dry and Lubricated Conditions”, Wear, 196 (1996) 46-53.
78. Bowden, F. P. ve Tabor, D., “Friction and Lubrication”, Methuen and Co. Ltd., London, 1967.
79. Calayag, T. S., “The Practicality of Using Zinc-Aluminum Alloys for Friction-Type Bearings”, 25 th Ann. CIM. Conf. of Metallurgists, August 1986, Tronto, Intl. Symp. On Zinc-Aluminum (ZA) Casting Alloys, 305-312.
80. Gahr, K. H., “Microstructure and Wear of Materials”, Elsevier Science Poblsher, B. V., Netherlans, 1987.
81. Bhushman, B. ve Gubta, B. K., “Handbook of Tribology, Materials, Coatings and Surface Treatments”, McGraw-Hill Book Company, USA, 1991.
82. Pandey, J. P. ve Prasad, K. P., “Dry Sliding Wear Behaviour of a Zinc-Based Alloy Against Different Counterface Materials”, Z. Metallkd., 88 (1997) 739-743.
83. Callister, W. D., “Materials Science and Engineering, An Introduction”, John Willey and Sons, Inc., New York, U.S.A., 1997.
84. Neale, M. J., Tribology Handbook, Butterworths and Co Publishers Ltd., London, 1973.
85. Harnoy, A. ve Rachoor, H. “Angular-Compliant Hydrodynamic Bearing Performance Under dynamic Loads”, Transactions of the ASME, 115, (1993) 342-347.
86. Karmakar, S. ve Sethuramiah, A., “Response of Dynamically Stressed Material in Sliding”, Wear, 151 (1991) 269-287.

8. ÖZGEÇMİŞ

Gençağa PÜRÇEK; 1968 yılında Giresun'da doğdu. 1987 yılında Giresun Tirebolu Lisesi'ni bitirdi ve aynı yıl A. Ü. Isparta Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1989 yılından itibaren öğrenimini Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde sürdürüp, 1991 yılında aynı üniversiteden makine mühendisi ünvanı ile mezun oldu. 1991 yılında K. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başladığı yüksek lisans öğrenimini 1994 yılında tamamlayarak makine yüksek mühendisi ünvanını aldı. Aynı yıl K. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora çalışmasına başladı. 1992 yılından itibaren K. T. Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.