

## Çinko-Alüminyum Esaslı Ticari ZA-27 Kaymalı Yatağının Sürtünme Davranışının İncelenmesi

Hamdullah ÇUVALCI

*Karadeniz Teknik Üniversitesi,  
Makina Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 04.04.2000

### Özet

Çinko-alüminyum esaslı ZA-27 alaşımı kokil döküm yöntemi ile üretildikten sonra bu alaşımdan ve piyasadan tedarik edilen ticari bronzdan talaşlı imalat yöntemi ile kaymalı yataklar imal edildi. Üretilen yataklar laboratuarda mevcut bir kaymalı yatak deney düzeneğinde değişik çalışma koşullarında sürtünme deneylerine tabi tutularak yatakların sürtünme davranışları belirlendi.

Deneyler sonucunda yatak basıncının yatakların sürtünme faktörü değerlerini etkilediği ve basınç arttıkça bu değerlerin önemli ölçüde düştüğü gözlemlendi. Benzer şekilde yatak boşluğu arttıkça yatakların sürtünme faktörü değerlerinin düştüğü belirlendi. ZA-27 yatağının çalışma yüzeyinin taramalı elektron mikroskopunda incelenmesi sonucunda bu yatakta etkin aşınma mekanizmasının adesif aşınma olduğu görüldü.

**Anahtar Sözcükler:** Çinko-alüminyum alaşımı, kaymalı yatak, sürtünme, yağlama

## Investigation of the Friction Behavior of the Zinc-Aluminum Based Commercial ZA-27 Journal Bearing

### Abstract

The zinc-aluminum based ZA-27 alloy was produced by permanent mould casting. Using this alloy and bronze obtained from commercial sources, thin wall journal bearings were manufactured by machining. The friction behavior of the bearings was determined by testing the bearings in a journal bearing test machine under different operating conditions.

The results show that the value of the friction factor of the bearings decreased with increasing bearing pressure. It was also observed that the friction factor decreased with increasing bearing clearance. Scanning electron microscope examinations of the ZA-27 bearing operating surface showed that adhesive type wear had an effect on ZA-27 plain bearings.

**Key Words:** Zinc-aluminum alloy, plain bearing, friction, lubrication

### Giriş

Kaymalı yatak malzemelerinin temel alaşım elementlerinden olan kalay ve bakırın pahalı ve kısıtlı miktarda bulunan metaller olması araştırmacıları kalaysız veya çok az kalay ve/veya bakır içeren yatak

malzemeleri geliştirmeye yöneltmiştir (Altorfer,1982; Gervais 1987; Lyon,1985). Bu nedenle, günümüzde beyaz metal, bronz ve pirinç gibi geleneksel yatak malzemelerinin yerini almaları için hem ekonomik hem de üstün tribolojik ve ekonomik özelliklere sahip yeni yatak malzemeleri geliştirilmeye çalışılmaktadır

(Mihaichuk, 1981; Calayag and Ferres, 1983).

Yapılan araştırmalar, çinko-alüminyum esaslı yatak alaşımlarının geleneksel yatak malzemelerine göre pek çok üstünlüklere sahip olduklarını göstermiştir (Calayag, 1983; Redden, 1986). Bu üstünlüklerin başında alaşımların aşınma dayanımları ve özgül mukavemetlerinin (mukavemet/yoğunluk) yüksek olması, alaşım elementlerinin kolaylıkla ve ucuza temin edilebilmesi, değişik ısıl işlemlere elverişli olmaları gelmektedir (Murphy ve Savaşkan, 1984; Kubel, 1987). Bu alaşımlar pek çok uygulamada geleneksel yatak malzemelerinin yerini almaktadır. Söz konusu alaşımlardan imal edilen yataklar, daha çok düşük hız ve yüksek basıncın olduğu kaymalı yataklarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Barnhurst ve Farge, 1988; Barnhurst, 1989; Gervais ve Loong 1986).

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar içerisinde ZA-27 alaşımını diğer ticari alaşımlardan (ZA-8, ZA-12) daha üstün mekanik ve tribolojik özellikler sergilemesi nedeniyle yatak uygulamalarında daha fazla tercih edilmektedir. Ticari ZA-27 alaşımından imal edilen yatakların özellikle yağlanmış durumdaki tribolojik davranışları ayrıntılı olarak incelenmemiştir. Bu çalışmada laboratuarda imal edilen ZA-27 yatağının ve piyasadan alınan ticari CuSn12 bronzunun sürtünme davranışları değişik çalışma koşullarında karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir

## DeneySEL Yöntem

### Malzeme

Çinko-alüminyum esaslı üçlü ticari ZA-27 alaşımını kobil döküm yöntemi ile laboratuarda üretildi. Üretilen bu alaşımdan ve karşılaştırma yapmak amacıyla piyasadan tedarik edilen CuSn12 bronzundan talaşlı imalat yöntemi ile ince cidarlı kaymalı yataklar imal edildi. İç yüzeyleri ince tormalanan söz konusu bu yatakların teknik resmi Şekil 1'de verilmiştir. Deney düzeneğinin maksimum yük taşıma sınırı 500 N olması nedeniyle, yüksek yatak basınçları elde edebilmek için yatak genişliği 10 mm. alınmıştır. ZA-27 alaşımının ve CuSn12 bronzunun kimyasal bileşimi atomik absorpsiyon yöntemiyle belirlenmiş olup analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

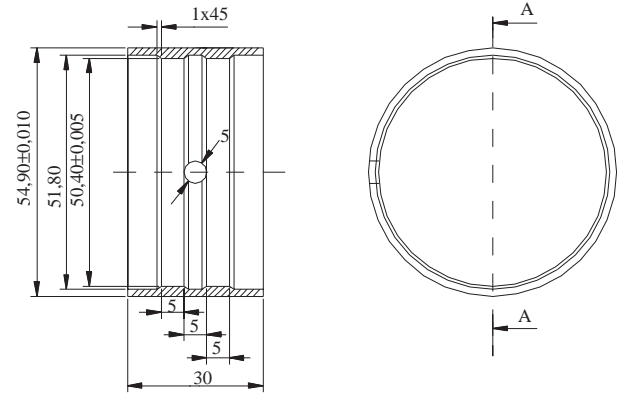
### Deney düzeneği ve deneyler

Yatakların sürtünme özelliklerinin belirlenmesinde bir kaymalı yatak deney düzeneğinden faydalanıldı. Bu düzeneğin şematik resmi Şekil 2'de

verilmiştir. Deney milleri, soğuk iş takım çeliğinden (C 105 T1) imal edilerek, 800 VSD değerine kadar sertleştirilmiş ve taşlanmıştır. Milin devir sayısı, doğru akım hız kontrol ünitesi vasıtası ile 0-1100 dev/dak. aralığında ayarlanmaktadır.

**Tablo 1.** ZA-27 alaşımının ve CuSn12 bronzunun kimyasal bileşimleri

Alaşım	Zn	Al	Cu	Si	Mg
ZA-27	70,8	27,2	2,01	-	0,02
CuSn12; Cu; 11,5 % Sn; 0,9 % Pb, 0,7 % Ni, 0,3 % Sb.					

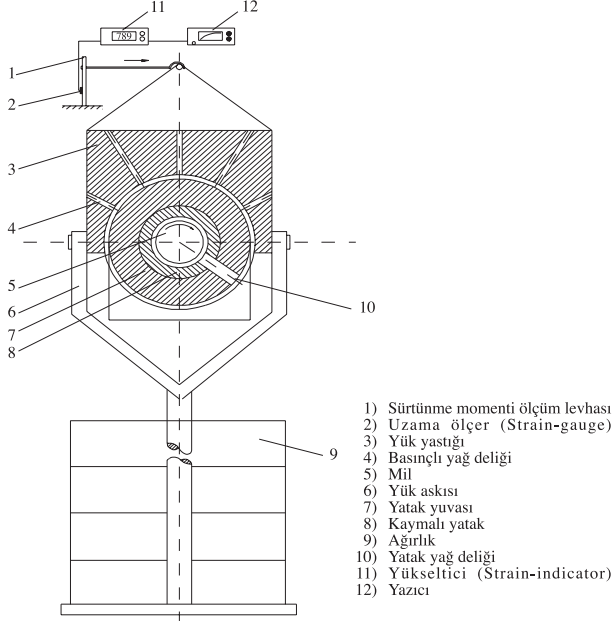


**Şekil 1.** Üretilen kaymalı yatakları teknik resmi

Deneylerde, yağlayıcı olarak Shell Tellus 15 yağı kullanıldı. Yatak çıkışındaki yağ sıcaklığı deney süresince bir termometre yardımıyla ölçüldü ve yağa ait sıcaklık-viskozite diyagramı kullanılarak viskozite değerleri hesaplandı. Yağ filmi sıcaklığının artışı minimuma indirmek için deneyler mümkün olan en kısa zamanda gerçekleştirildi. Yataklar için yağlama yağı basıncı 0,1 MPa yük yastığı için ise yağ basıncı 1,2 MPa olarak alındı. Sürtünme momenti, uzama ölçerlerden (strain-gauge) kurulan Wheston köprüsü devresinden yararlanılarak ölçüldü. Köprü devresinden alınan sinyal önce bir yükselticiye (strain-indicator) ve sonrasında ise bir yazıcıya aktarılarak, çalışma sırasında sürtünme momentine ait sinyalin zamana göre değişimi kaydedildi. Ölçülen sürtünme momenti değerleri uzama ölçer kalibrasyon doğrusu kullanılarak sürtünme katsayısı değerlerine çevrildi.

Yatak yüzeyleri, deneylerden önce alıştırma işlemine tabi tutuldu ve bu işlem, her yatağın 0,3 MPa'lık basınç altında, 10 dakikalık bir süre

çalıştırılması suretiyle gerçekleştirildi. Yataklar rodaj işleminden sonra  $40 \mu\text{m}$ 'lik sabit yatak boşluğunda ( $\Psi=0,0008$ ) ve değişik basınçlar altında (0,1; 0,3; 0,7 ve 1,1 MPa) sürtünme deneylerine tabi tutularak sürtünme faktörünün  $[\mu/\Psi]$  Sommerfeld sayısına ( $S=\eta n/p\Psi^2$ ) göre değişimini gösteren eğriler elde edildi.  $\Psi$  değeri,  $\Psi=\Delta d/d$  formülü ile hesaplanmaktadır.



Şekil 2. Kaymalı yatak deney düzeneğinin şematik resmi

Öte yandan yatak boşluğunun, yatakların sürtünme davranışına olan etkisini araştırmak için yalnız ZA-27 alaşımından yatak boşlukları  $40 \mu\text{m}$  ( $\Psi=0,0008$ ),  $66 \mu\text{m}$  ( $\Psi=0,0013$ ),  $100 \mu\text{m}$  ( $\Psi=0,0020$ ),  $150 \mu\text{m}$  ( $\Psi=0,0030$ ) ve  $210 \mu\text{m}$  ( $\Psi=0,00410$ ) olan beş değişik yatak imal edilerek sürtünme deneylerine tabi tutuldu. Deneyler sonucunda değişik yatak basınçları ve yatak boşluklarındaki Sürtünme faktörü-Sommerfeld sayısı eğrileri elde edildi.

### Bulgular ve İrdeleme

Tablo 1'de verilen ZA-27 alaşımının analiz sonucu döküm öncesi bileşime yakın çıkmıştır.

ZA-27 yataklarının çalışma yüzeylerinin elektron mikroskopunda incelenmesi sonucunda yüzey topografyalarının birbirine çok benzediği görüldü. Bu nedenle burada yalnızca  $P=0,7 \text{ MPa}$ 'da çalışmış yatağın çalışma yüzeyinden elde edilen tara-

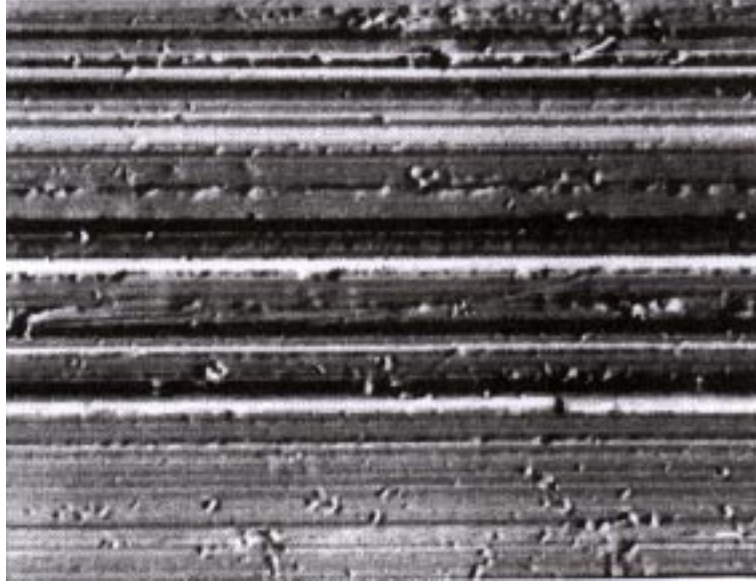
malı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsüne yer verildi, Şekil 3. Fotoğraftan yüzeydeki hafif aşınma çizikleri ile yüzeye sıvanmış durumda bulunan sürtünme tabakası görülmektedir. Aşınma yüzeyinde sıvama ve yapışma şeklindeki sürtünme tabakalarının oluşumu ticari ZA-27 yatağında ade-sif aşınma mekanizmasının daha etkin olduğunu göstermektedir.



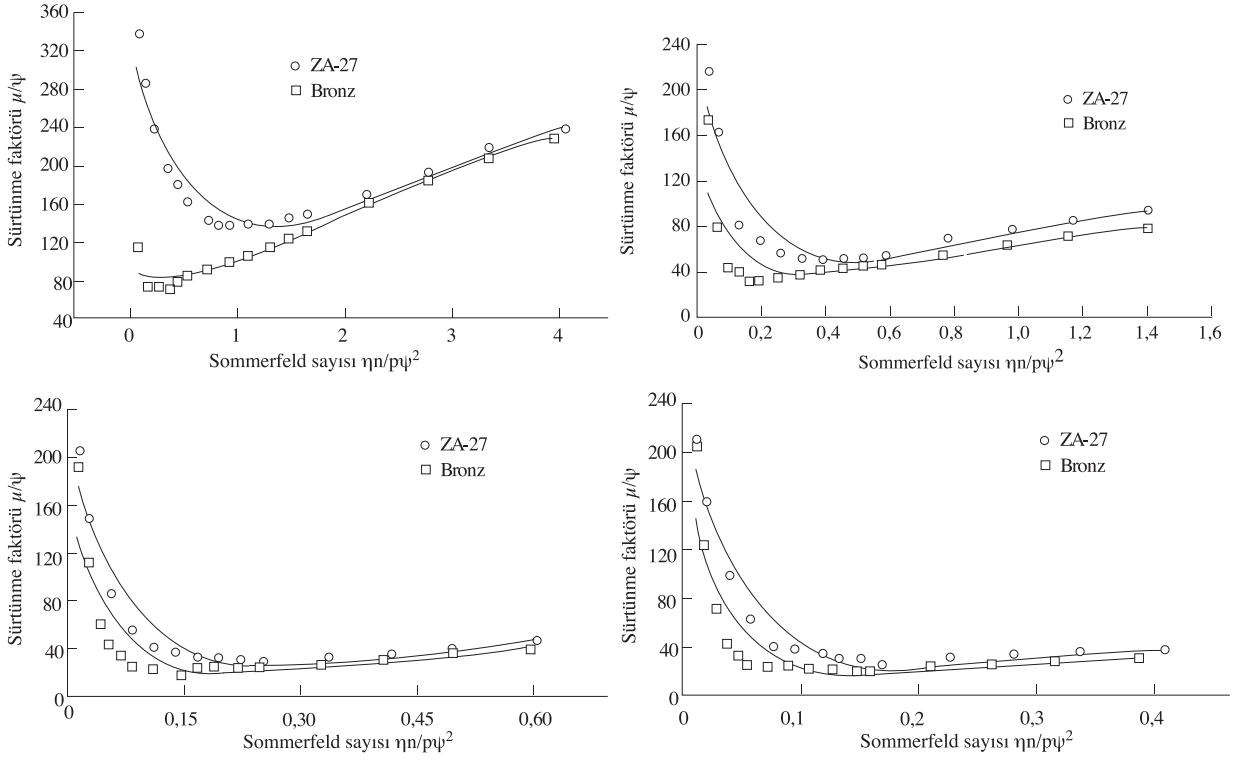
Şekil 3. ZA-27 yatağında çalışma yüzeyinin SEM görüntüsü

CuSn12 bronzuna ait yatağın çalışma yüzeyini gösteren SEM görüntüsü ise Şekil 4'de verilmiştir. Bronz yatağın çalışma yüzeyinde çok sayıda ve derin aşınma çizikleri ile çukurcukların olduğu gözlenmiştir. Bu tip belirtiler daha çok abrasif tür aşınma mekanizmasının etkin olduğunu göstermektedir.

Değişik basınçlar altında sürtünme deneyine tabi tutulan ZA-27 ve CuSn12 yataklarının, Sürtünme faktörü-Sommerfeld sayısı eğrileri belirlenerek, Şekil 5 (a, b, c, d) 'de verilmiştir. Bu eğrilerden, sınır sürtünme devresi olarak adlandırılan dönemde, sürtünme faktörünün artan Sommerfeld sayısı ile ters orantılı olarak, hızlı bir şekilde düşerek minimum bir değere ulaştığı ve bu değerden sonra yavaş yükseldiği görülmektedir. Sürtünme deneyine tabi tutulan yatakların, hidrodinamik yağlama bölgesindeki sürtünme katsayılarının, artan basınç ile düştüğü gözlemlendi. Bu düşüş, basınç arttıkça, yüzeyler arasındaki yağ filminin incilmesi ve dolayısıyla yağın iç sürtünmesinin azalmasından kaynaklanmış olabilir.



Şekil 4. Bronz yatağın çalışma yüzeyinin SEM görüntüsü



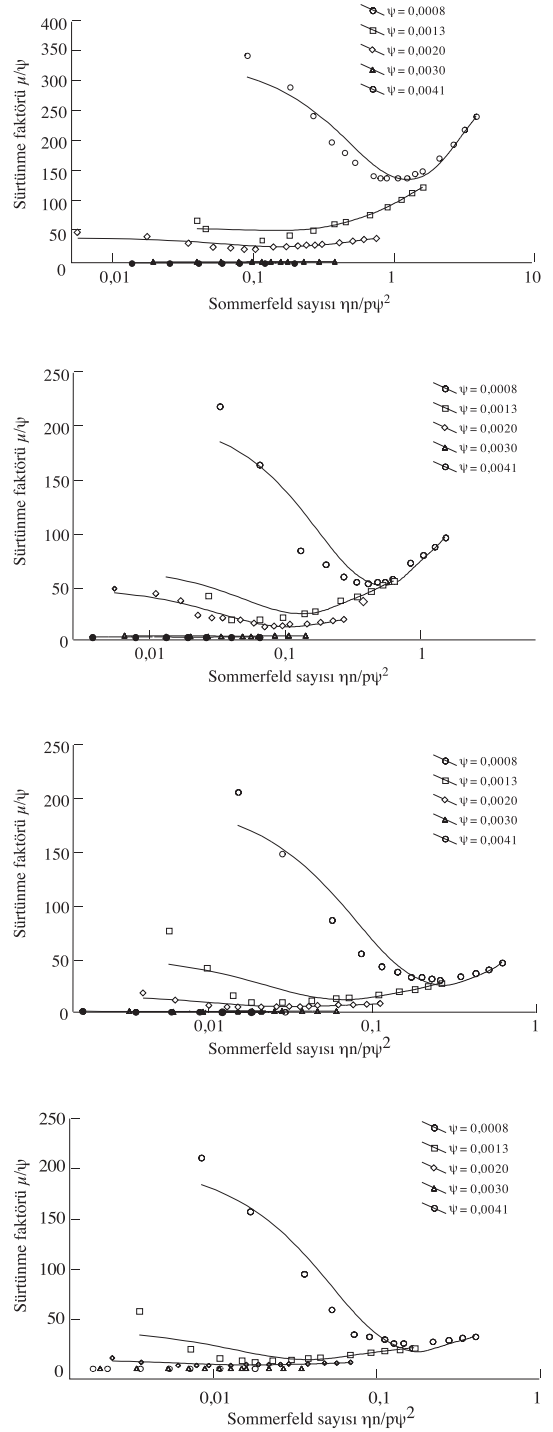
Şekil 5. ZA-27 yatağı ve CuSn12 bronzunun sabit yatak boşluğu ( $\Delta d = 40 \mu\text{m}$ ) değişik basınçlar altında elde edilen sürtünme faktörü-Sommerfeld sayısı eğrileri: a) 0,1 MPa b) 0,3 MPa c) 0,7 MPa d) 1,1 MPa

Yatakların hidrodinamik yağlama bölgesindeki sürtünme faktörü değerlerinin, düşük basınçlarda devir sayısı ile hızlı bir şekilde, yüksek basınçlarda ise yavaş bir şekilde arttığı görüldü. Bu durum basınç arttıkça, devir sayısının sürtünme faktörü üzerindeki etkisinin azaldığını göstermektedir.

Elde edilen eğrilerden, sıvı sürtünme bölgesinde sürtünme faktörünün 240 gibi yüksek değerlere ulaştığı görüldü. Özellikle, düşük basınçta çalışan yataklarda meydana gelen bu durum, söz konusu şartlar altında yağ filmi kalınlığının artmasından kaynaklanmış olabilir. Sıvı yağlama bölgesinde yağ filmi kalınlığının artması; yağ molekülleri arasındaki iç sürtünme nedeniyle, harekete karşı direncin artması anlamına gelmektedir [Okday, 1977]. Diğer taraftan; özellikle düşük basınçlar altında mil yörüngesinin kararlı olmaması sonucunda yağda çalkantı ve geri akışların oluşması, sürtünme faktörünün daha da yükselmesine yardımcı olmaktadır [Bowden ve Tabor, 1967].

Verilen eğrilerden sınır ve karışık yağlama bölgelerinde bronz yatağın daha düşük sürtünme faktörü değerleri sergilediği gözlenmiştir. Bronzun sertlik değeri 84 BSD (Brinell sertlik değeri), ZA-27 alaşımının ise 117 BSD olarak ölçülmüştür. Sert malzemelerin sınır ve karışık yağlama bölgelerinde daha yüksek sürtünme faktörü sergilemesi beklenen bir durumdur.

Bağıl yatak boşluğunun sürtünme faktörüne etkisini gösteren eğriler Şekil 6 (a, b, c, d) 'da verilmiştir. Bu eğrilerden görüldüğü gibi; yatakların radyal boşluğu arttıkça sürtünme faktörü değerleri düşmektedir. Şekil 6 a)'dan hidrodinamik yağlama bölgesinde 40  $\mu\text{m}$ 'lik yatak boşluğuna ( $\Psi=0,0008$ ) sahip yatakta sabit Sommerfeld sayısında ( $S=0,1$ ) sürtünme faktörü değeri 337 iken, 150  $\mu\text{m}$ 'lik ( $\Psi=0,0030$ ) yatakta bu değer 2,3 değerine kadar düştüğü görülmektedir. Bu durum yağ filmi kalınlığının azalmasından kaynaklanmış olabilir. Öte yandan söz konusu şekillerden 150 ve 210  $\mu\text{m}$ 'lik yatak boşluğuna sahip yataklarda sınır ve karışık yağlama bölgeleri meydana gelmemektedir. Yatak boşluğu fazla olan yataklarda mil ile yatak yüzeyi arasında daha fazla yağ gönderilmesi düşük devirlerde bile kolaylıkla yağ filmi oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca, 150 ve 210  $\mu\text{m}$ 'lik yatak boşluğuna sahip yataklarda sürtünme faktörü hemen hemen sabit kalmakta ve belirgin bir artış gözlenmemektedir.



Şekil 6. ZA-27 yatağında değişik basınçlar ve farklı yatak boşluğu değerlerinde elde edilen Sürtünme faktörü-Sommerfeld sayısı eğrileri: a) 0,1 MPa b) 0,3 MPa c) 0,7 MPa d) 1,1 MPa

Basınç arttıkça sürtünme faktörü ve dolayısıyla sürtünme katsayısı değerleri düştüğünden sürtünme kayıplarının düşük tutulması gereken ZA-27 esaslı yatak uygulamalarında basınç değerinin 0,7-1,1 MPa arasında tutulması uygun olacaktır.

150 ve 210  $\mu\text{m}$ 'lik yatak boşluğu değerlerinde deneyler sırasında titreşim meydana geldiği gözlenmiştir. Titreşim aşınmayı arttırmakla birlikte, yüksek boşluk değerleri yatağın yük taşıma kapasitesini düşürmektedir. Bu sebeple, ZA-27 esaslı yatak uygulamalarında yatak boşluğu değerinin düşük seçilmesi, bu çalışmada  $D=50$  mm mil çapı için 40-100  $\mu\text{m}$  arasında alınması, hem aşınma hem de yük taşıma kapasitesi açısından uygun olacaktır.

### Sonuçlar

1. Çinko-alüminyum esaslı ZA-27 alaşımından üretilen kaymalı yatağın hidrodinamik yağlama şartlarındaki sürtünme faktörü değerleri, yatak basıncı arttıkça düşmektedir.

2. Yatak boşluğu arttıkça ZA-27 yatağının hidrodinamik yağlama bölgesindeki sürtünme faktörü

değerleri düşmektedir.

3. Çinko-alüminyum esaslı ZA-27 yatağında adesif, CuSn12 bronzunda ise abrasif aşınma etkin aşınma mekanizmalarıdır.

4. Yüksek radyal boşluk değerlerinde ZA-27 yatağında sınır ve karışık yağlama bölgeleri meydana gelmemektedir.

5. Hidrodinamik yağlama bölgesinde düşük basınçlarda, devir sayısı sürtünme faktörü üzerinde daha etkili olmaktadır.

### Semboller

$\mu$	: Sürtünme katsayısı
$d$	: Mil çapı (mm)
$\eta$	: Yağ viskozitesi ( $\text{Ns/m}^2$ )
$n$	: Çevresel hız (dev/s)
$p$	: Yatak basıncı ( $\text{N/m}^2$ )
$\Psi$	: Bağlı yatak boşluğu
$\Delta d$	: Yatak boşluğu (mm)

### Kaynaklar

Altorfer K.J., "Zinc Alloys Compete with Bronze in Bearings and Bushings", Metal Progress, November, 122, 6, 29-31, 1982.

Barnhurst, R.J., "Guidelines for Designing Zinc Alloy Bearings - A Technical Manual", Society of Automotive Engineers, 88028, 2164-2170, 1989.

Barnhurst, R.J., ve Farge, J.C., "A Study of the Bearing Characteristics of Zinc-Aluminum (ZA) Alloys", Canadian Metallurgical Quarterly, 27, 33, 225-233, 1988.

Bowden, F.P., ve Tabor, D., Friction and Lubrication, Methuen and Co. Ltd., London, 1967.

Calayag T.S., "Zinc Alloys Replace Bronze in Mining Equipment Bushings and Bearings", Mining Engineering, 727-728, 1983.

Calayag T., ve Ferres D., "High Performance, High Aluminium Zinc Alloys for Low Speed Bearings and Bushings", SAE Annual Conference, 820643, 2241-2251, 1983.

Gervais E., "ZA Alloys-A Challenge to the Metals Industry", CIM Bulletin, 80, 900, 67-92, 1987.

Kubel, E.J., "Expanding Horizons for ZA Alloys", Metal Progress, 7, 51-57, 1987.

Lyon, R., "Engineering Applications of ZA Alloys", Proc. Second Conference on Material Engineering, London, 221-227, 1985.

Lyon, R., "The Properties and Applications of ZA Alloys", The British Foundryman, 344-349, 1986.

Mihaichuk, W., "Zinc-Alloy Bearings Challenge the Bronzes", Machine Design, 53, 28, 133-137, 1981.

Murphy, S., Savaşkan, T., "Comparative Wear Behaviour of Zn-Al Based Alloys in an Automotive Engine Application", Wear, 98, 151-161, 1984.

Okday Şefik., Makina Elemanları II. Cilt, Rulmanlı Yataklar, Kaymalı Yataklar ve Yağlama, Birsen Kitabevi, İstanbul, 1977.

Redden, T., "Zinc Alloy Bearing Down on Bronze Territory", Canadian Mining Journal, 58-59, 1986.