

SINIR YAĞLAMA KOŞULLARINDA ÇALIŞAN YATAKLAR İÇİN AŞINMA TEST DÜZENEGİ TASARIMI, YAPIMI VE İŞ MAKİNALARI YATAKLARINDA AŞINMA ANALİZİ*

K. Serdar TEKİN**

Hidromek AŞ, Sincan Organize San. Böl.
Osmanlı Cad. No:1, Ankara
kserdartekin@gmail.com

Metin AKKÖK

Prof. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Makina Mühendisliği Bölümü,
F-207, 06531 Ankara
akkok@metu.edu.tr

ÖZET

İş makinelerinde ağır yüklemelere maruz kalan, uzun saatler boyunca çalışan pim ve yataklar aracılığıyla iletilen kuvvetler ve kayma hareketi, sıklıkla karşılaşılan aşınma sorununu meydana getirmektedir. Bu çalışmanın amacı sınır yağlama koşullarında çalışan ekskavatör yataklarının aşınma analizinin yapılmasıdır. Ekskavatör yataklarının çalışma koşullarının simüle edilebildiği hidrolik tahrikli bir deney düzeneği tasarlanıp üretilmiştir. Hidrolik kontrol sistemi ile pim ve yatak arasında kuvvet ve hareketin aynı anda sağlanmasıyla gerçek çalışma koşulları elde edilmiştir. Aşınmayı etkileyen, kayma hızı, kuvvet ve yatak malzemesi değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Test edilen yatak malzemelerinin aşınma katsayıları hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yatak aşınma testi, ekskavatör, yatak, sınır yağlama

Design and Construction of Boundary Lubricated Bearing Test Rig and Wear Analysis in Earthmoving Machinery

ABSTRACT

The high forces that are transmitted through the pin and sliding bearings of the earthmoving machinery and the sliding motion are observed to cause failure due to wear. The aim of this study is to perform wear analysis of excavator bearings running in boundary lubrication regime. A hydraulically powered test rig, which simulates the operating conditions of excavator bearings by applying force and motion at the same time is designed and constructed. Wear is obtained applying both force and relative motion at the same time between pin and bearing on the test rig. In the performed tests, force, velocity and material type are varied as the factors influencing wear. For the tested bearings, the wear coefficients are calculated and the results are compared.

Keywords : Wear test, excavator, bearing, boundary lubrication

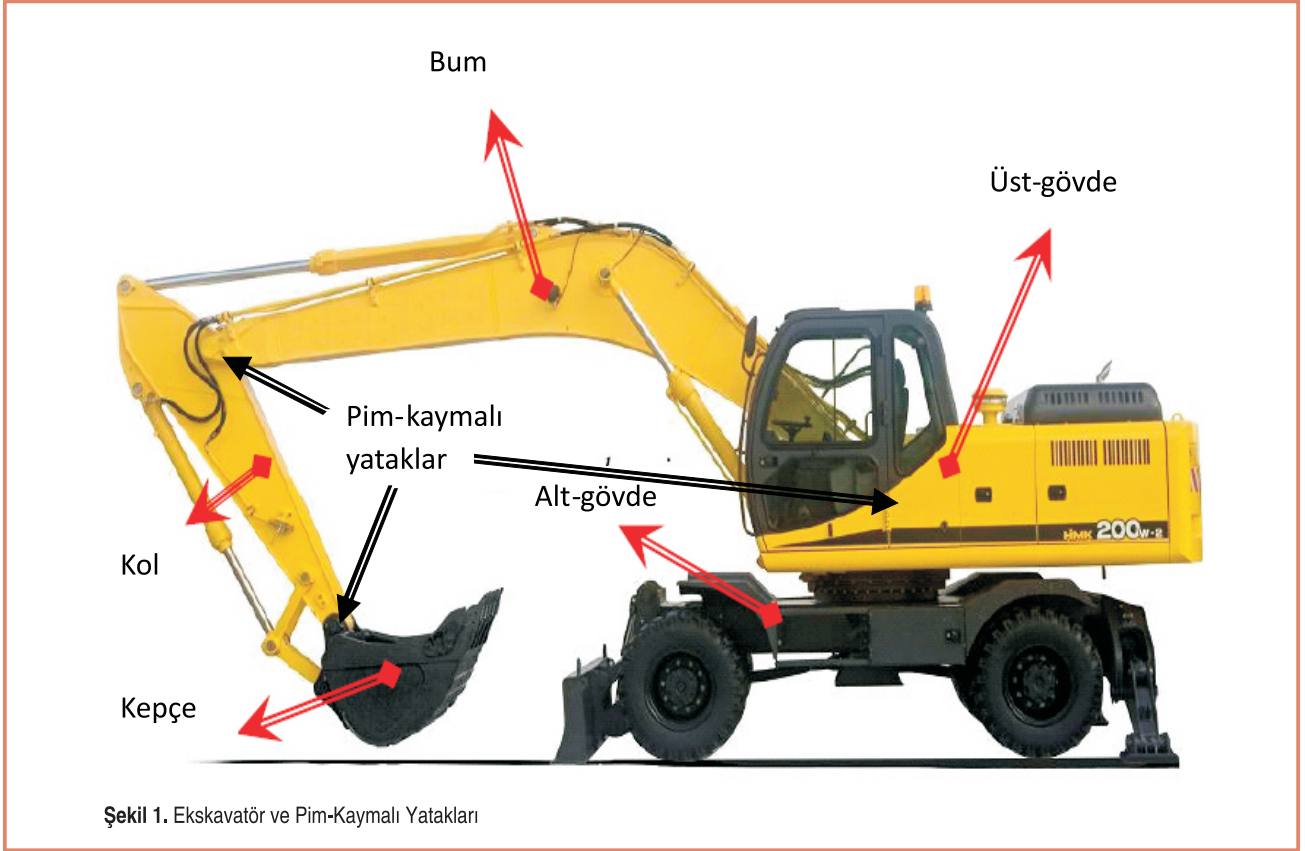
** İletişim yazarı

* Geliş tarihi : 30.03.2011
Kabul tarihi : 31.05.2011

GİRİŞ

iş makinaları, toprak ya da hafriyat gibi malzemeleri kazan veya hareket ettiren mobil araçlar olarak tanımlanmaktadır. Aynı anda daha çok iş yapılabilmesi için, iş makinalarının olabildiğince yüksek kaldırma ve kazma kuvvetlerine dayanıklı olması beklenmektedir. Çalışma sırasında karşılaşılan herhangi bir sorun, iş

testler yapılmıştır. Değişik kuvvet ve kayma hız değerlerinde farklı tipteki yağ kanallı yataklar çalışılmıştır. Yatakların çalışma koşulları altında aşınma ömürlerinin belirlenmesi amacıyla testlerin öncesi ve sonrasında, burcun çevresinden ve boyundan koordinat ölçümleri alınmıştır. Test öncesi ve sonrasında yatak boyunca radyal kesitteki değişimden aşınma dağılımı bulunmuş ve yataklar arasında karşılaştırma yapılmıştır.



makinasının beklemesine ve işin gecikmesinden dolayı maddi zararlara yol açabilmektedir.

Ekskavatörler kazma ya da kaldırma işini bom, kol ve kepeçten oluşan ataşman grubu vasıtasıyla yaparlar. Bu ataşman grubu Şekil 1'de görüldüğü gibi üç serbestlik dereceli bir mekanizmadır. Mekanizmanın uzuvları birbirine, uzva çakılan silindirik yatak ve bunları bağlayan bir pimden oluşan döner mafsallarla bağlıdır. Yataklar, yüksek kuvvet değerlerini iletmekte aynı zamanda da mekanizmayla birlikte hareket etmektedir. Hareketi kolaylaştırmak ve aşınmayı geciktirmek için yağlayıcı olarak gres kullanılmaktadır. Bu nedenle mafsallı oluşturan pim-yatak ikililerinde karşılaşılan aşınma Şekil 2'de görüldüğü üzere önemli bir sorun olarak iş makinasının güvenilir çalışma ömrünü sınırlamaktadır.

Bu çalışmada ekskavatör ataşman yataklarında oluşan aşınma olayı, bir test düzeneği tarafından simüle edilmiş ve

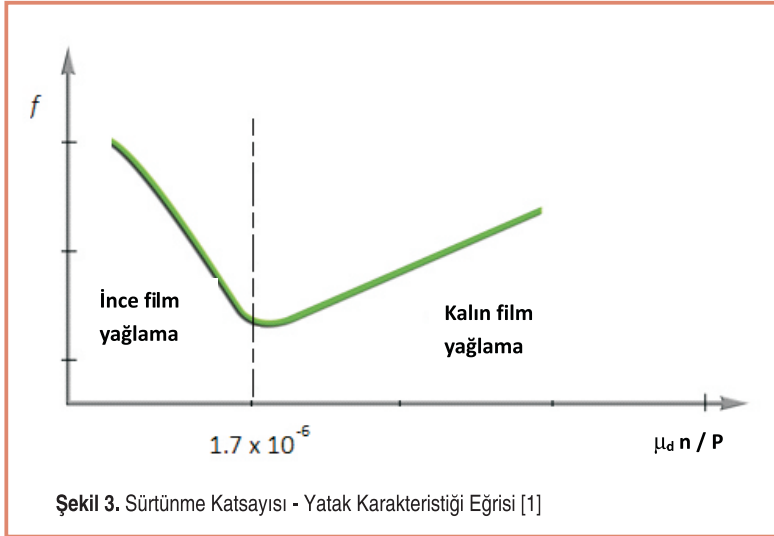


YATAKLARDA AŞINMA ANALİZİ

İki yüzey arasındaki aşınma davranışı, yüzeylerin arasındaki yağlama rejimine göre farklılık gösterir. Hidrostatik yağlama rejiminde yüzeyler arasındaki kalın yağlayıcı tabaka bu yüzeylerin birbirine temasını önleyerek, aşınma miktarını ciddi oranda azaltırken; sınır yağlamada yüzeylerdeki pürüzlerde metal-metal temas ederek ve ciddi miktarda aşınma gözlemlenir. Şekil 3'te sürtünme katsayısının yağlama rejimine göre değişimi verilmiştir. Yataklarda yağlama rejimi yatak karakteristik sayısı tarafından belirlenir [1]:

$$\frac{\mu_d n}{P} \quad (1)$$

Burada μ_d yağlayıcının dinamik viskozitesi (Pa.s), n devir/saniye cinsinden açısal hızı, P ortalama yatak basıncını (Pa) gösterir.



Yağlama rejiminin sınır yağlama koşulundan kurtulup, kalın filmli yağlama rejimine geçebilmesi için yatak karakteristik sayısının değeri aşağıdaki eşitsizliği sağlamalıdır [1].

$$\frac{\mu_d n}{P} > 1.7 \times 10^{-6} \quad (2)$$

Ekskavatörlerde 100x100 mmxmm boyutlarındaki yatağa çalışma sırasında uygulanan 100 kN yük ve 0.04 dev/s için bu değer yaklaşık 8.3×10^{-10} olarak hesaplanmıştır. Bu da ekskavatör ataşman yataklarındaki yağlama rejiminin sınır yağlama koşullarında olduğunu göstermektedir.

Yatak tasarımı ve seçiminde kullanılan önemli bir parametre yatak malzemesinin PV limitidir. Burada P ortalama basıncını, V yüzeydeki kayma hızını göstermektedir. fPV çarpımı yatakta kayma sırasında birim zamanda birim alanda üretilen ısı enerjisini belirler. Bir malzeme çifti için f sabit

olduğundan, burcun ısıl dayanımı PV limiti ile belirlenir. Bu nedenle yatak, PV limitinin üzerinde çalıştırılırsa yüksek sıcaklık nedeniyle yüzey bozulmasına neden olur.

Kayan yüzeylerde aşınan hacim, yüzeye uygulanan kuvvet, yumuşak yüzeyin sertliği ve kayma mesafesi Archard aşınma denklemiyle ilişkilendirilir [2].

$$V_{wear} = K \frac{F}{H_{soft}} s \quad (3)$$

Burada V_{wear} aşınan hacmi (mm^3), K aşınma katsayısını, F temas kuvvetini (N), H_{soft} yumuşak yüzeyin sertliğini (MPa), s kayma mesafesini (m) belirtmektedir. Bu denklem yataklar için kullanılırken yatak izdüşüm alanıyla ve kayma süresiyle bölünerek birim zamandaki aşınma derinliği bulunur.

$$\frac{V_{wear}}{A.t} = \frac{K}{H_{soft}} \frac{F s}{A t} \quad (4)$$

$$h = \frac{V_{wear}}{A}, V = \frac{s}{t} \text{ olarak tanımlanarak} \quad (5)$$

$$h = \frac{K}{H_{soft}} PV \quad (6)$$

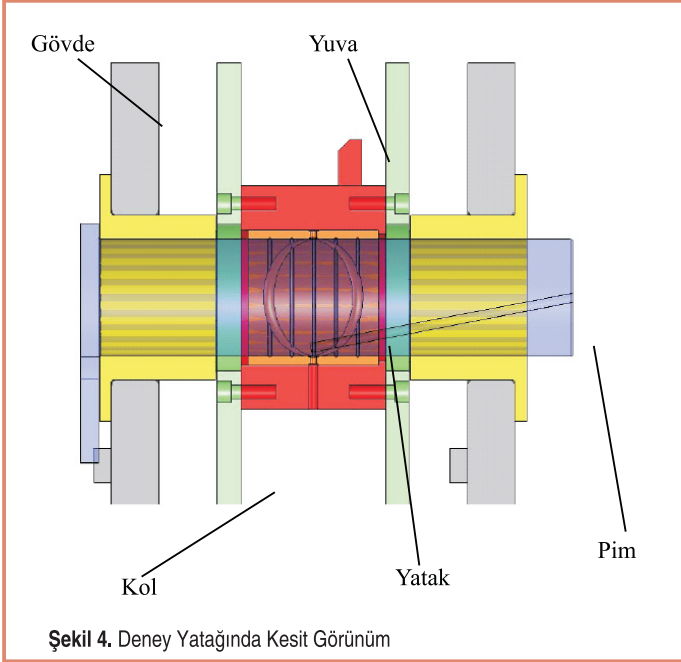
Burada h ortalama aşınma derinliğini (mm), t zamanı (s), \dot{h} aşınma hızını (mm/s), A yatak izdüşüm alanını (mm^2), P yatak ortalama basıncını (MPa), V kayma hızı (m/s), belirtmektedir. K ve H_{soft} malzeme çiftleri için sabit olduğundan, aşınma hızı PV çarpımıyla doğru orantılıdır.

YATAK AŞINMA DENEYİ

Ekskavatör yatak aşınma deney düzeneğinin en önemli özelliği ekskavatör ataşman yataklarındaki çalışma koşullarının tam benzetilmesidir [2]. Bu nedenle literatürdeki çeşitli test cihazları incelenmiş ve uygun bir test düzeneği tasarlanıp imal edilmiştir [3,4,5].

Şekil 4 ve Şekil 5'te görüldüğü gibi test düzeneği gövdeye sabitlenen bir pim, test edilen yatakların çakıldığı bir yuva, bu yuvanın yerleştirildiği bir kol, bu kolun sabit pime karşı yüklenmesi ve dönme hareketini sağlayan iki hidrolik silindirden oluşmaktadır. Tüm bu elemanları üzerinde bulunan bir gövdeden oluşmaktadır. Bu sistemde çeşitli ara parçaları değiştirilerek farklı çap ve boyda yatakların testi yapılabilmektedir.

Deney yatağına çalışma sırasında farklı hızlarda farklı yüklemeye yapılabilmesi için ve hidrolik silindirler iki açık



Şekil 4. Deney Yatağında Kesit Görünümü

merkezli hidrolik devre yardımıyla tahrik edilerek kontrol edilmektedir. Önce ana basınç devresi iki silindirin boru tarafına yüksek basınç verir. Böylece pim üzerinde kuvvet oluşturulmuş olur. Fakat kol üzerindeki moment dengesi nedeniyle herhangi bir dönüş hareketi olmaz. Bundan sonra silindirlere birinin piston tarafına moment dengesini bozacak kadar basınca sahip yağ gönderilir. Ana basınç, daha büyük olduğundan ve iki pistonun da büyük çaplı kısımlarına etki olduğundan yukarı yönlü net kuvvet kaybedilmeden dönüş hareketi sağlanır. Kolun yatayla yaptığı açı istenen değere geldiğinde az basınçlı yağ diğer silindirin piston tarafına yollar ve dönüş yönü değişir. Silindirlere birine bağlı olan lineer cetvel yardımıyla istenen açı aralığında yatak yüklemesi gerçekleştirilir.

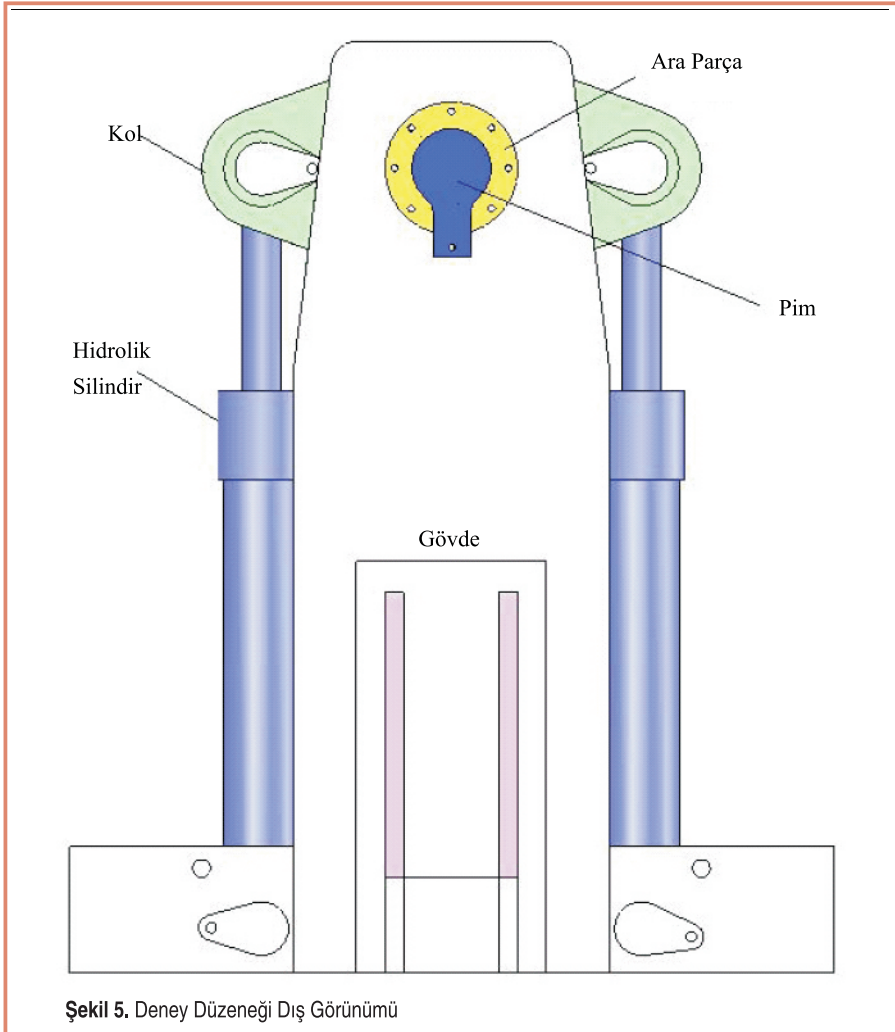
Deney düzeneğinde deney yatağına en fazla 230 kN yük ve en fazla 25°/s hız uygulanabilmektedir. En büyük 140 mm çapında ve 200 mm boyunda yatakların aşınma ömür testleri istenilen yük ve hız değişimiyle yapılabilecektir.

TEST YATAKLARI

Deneyler için iş makinalarında kullanılan üç farklı yatak seçilmiştir. Çelik yataklar tornalama işleminden sonra ısıtma işlemiyle sertleştirilerek taşlanmış ve yüzey pürüzlülüğü ortalama 0.6 µm Ra olarak ölçülmüştür. Bunlar;

- Kanallı çelik yatak: Isıl işlemle sertleştirilmiş 16MnCr4 çelik alaşımına sahiptir. 54 HRC (592 MPa) yüzey sertliğine sahiptir. Üzerinde gresin depolandığı helisel ve çevresel yağlama kanalları bulunur (Şekil 1). Beş adet çevresel kanal gresi yatak çevresine dağıtırken, iki adet helisel kanal gresi yatak eksenine boyunca dağıtır.
- Kanalsız çelik yatak: Tüm özellikleri kanallı çelik yataklara aynı olup üzerinde yağlama kanalı bulunmamaktadır.
- Grafitli-bronz yatak: Üzerinde grafit katı yağlayıcılar bulunan döküm bronz yataktır. Bronz 25 HRC (250 MPa) yüzey sertliğine sahiptir. Φ12mm yağlayıcılar 25 mm aralıklarla dizilmiştir.

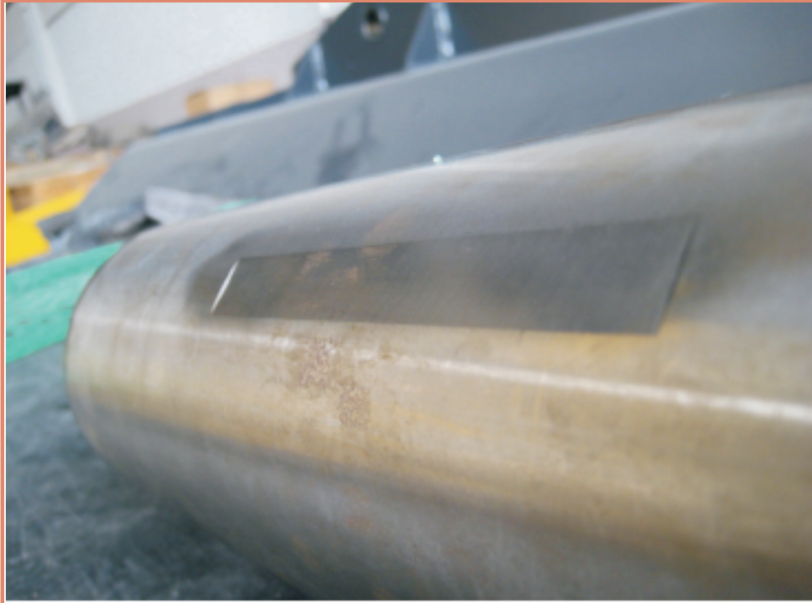
Yataklar, yüzey sertliği 58 HRC (670 MPa) olan 4140 çeliğinden yüzey pürüzlülüğü 0.4 µm Ra değerinde



Şekil 5. Deney Düzeneği Dış Görünümü



Şekil 6. Kanallı Çelik Yatak (solda) ve Bronz Yatak (sağda)



Şekil 7. Pimdeki Düzleştirilmiş Alan

taşlanmış pimlerle aşındırılmıştır. Kanalsız burcun yağlanması, Şekil 7'de görülen, pim yüzeyine açılan iki aksenal düzleştirilmiş alan ve yatak yüzeyi arasındaki gres ile sağlanmıştır.

YATAK DENEYLERİ VE AŞINMA ÖLÇÜM YÖNTEMİ

Yatak ve pimler deneylerden önce asetonlu bezle silinerek toz ve kirden arındırılmıştır. Her ikisine de düzeneğe bağlanmadan önce özel amaçlı yağlama gresi sürülmüştür. Deney sistemindeki yerlerine bağlanıp yağlama kanallarına gres basılarak temizlendikten sonra deneylere hazır duruma getirilmiştir.

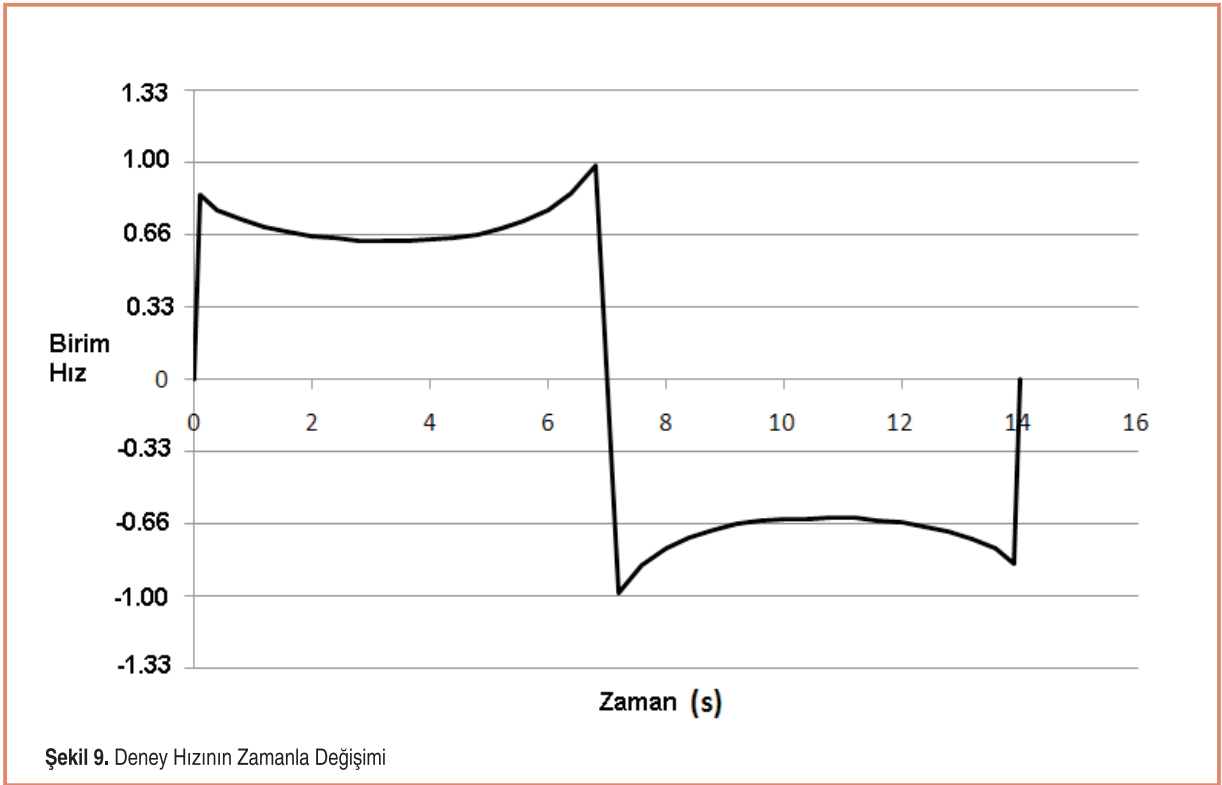
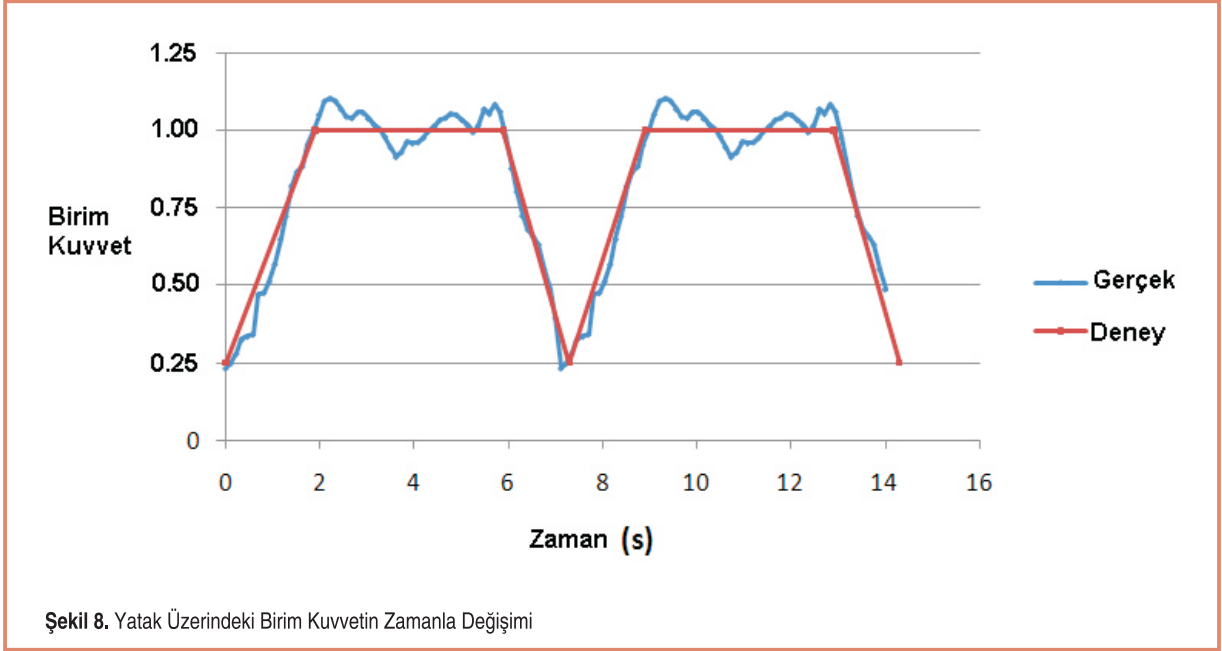
Yapılan çalışmada yatağa uygulanan yük $\pm 45^\circ$ arasında

değiştirilmiştir. Bir ekskavatörün gerçek kazı döngüleri esnasında ana bom yatağına gelen kuvvetler değişmektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi genel olarak yatak kuvvetinin 90° hareketi sırasında önce artan, sonra yaklaşık sabit seviyede kalan ve daha sonra da azalan seyir izleyerek durdurduğu gözlenmektedir. Bu yük değişimi geri dönüş sırasında aynı şekilde devam ederek bir döngüyü tamamlamaktadır. Tasarımı ve imalatı yapılan test düzeneğiyle çalışma sırasında yatak yükü değiştirilerek iki ekskavatör kazı döngüsü, bir test döngüsüne Şekil 8'deki gibi sığdırılmıştır. Tasarlanan hidrolik sistem ile deneylerde bir döngüde uygulanan yatak hızının değişimi Şekil 9'daki gibi basamak fonksiyon şeklindedir.

Deneyler sırasında çelik yataklar her 260 döngüde bir defa yağlanmıştır. Yağlama işlemi burcun çakıldığı yuva üzerinde bulunan gresörlükten, el pompasıyla, 20 strok gres basılarak gerçekleştirilmiştir. Grafit-bronz

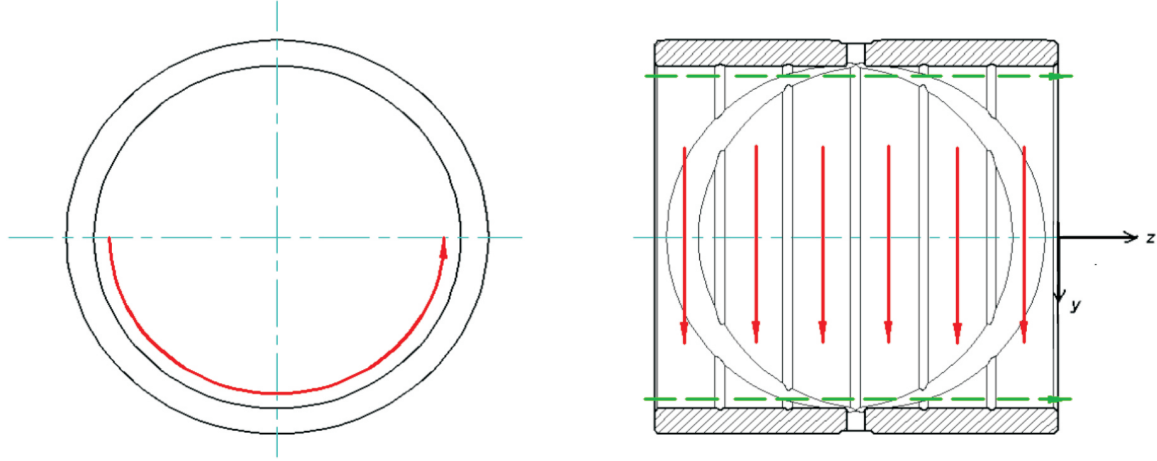
yataklar yağlanmamıştır. Deneylerde kullanılan yatak tipleri, yatağa uygulanan ortalama basınç ve hız değeri, PV değeri ve döngü sayısı Tablo 1'de verilmiştir. Yataklarda sarma (seizure) ile karşılaşıldığında oluşan yüksek seviyedeki titreşim ve gürültüyle test bitirilmiştir. Sarma olmayan durumlarda, daha önce yapılan deneyler temel alınarak daha yüksek bir döngü sayısına ulaşıldığında bitirilmiştir.

Deneylerden sonra yataklarda oluşan aşınma miktarı koordinat ölçüm cihazı (CMM) yardımıyla hesaplanmıştır. Yataklar deneyden önce ve sonra $0.1\mu\text{m}$ hassasiyetli CMM ölçümlerine tabi tutulmuş, ölçümler arasındaki fark aşınma miktarı olarak kaydedilmiştir. Ölçümler çevresel ve aksenal olarak iki farklı şekilde alınmıştır. Çevresel ölçümler, Şekil 10'da gösterildiği gibi, burcun yükleme yapılan ve aşınan



yarısı boyunca ve yağ kanalları arasındaki altı farklı aksel konumda alınmıştır. Yatak boyunun uzun olması nedeniyle bazı aksel konumlarda yatak iç yüzeyinde tam 180° tarama yapmaya ölçüm cihazının probu izin vermemiştir. Aksel ölçümler burcun azami kuvvetle yüklenen hattından ve tam karşısındaki hattan alınmıştır. Karşı hatta aşınma olmaması nedeniyle bu ölçüm referans amacıyla alınmıştır.

Literatürden, yatağın yuvasından sökölüp ölçüldüğünde, genişmeden dolayı yanlış ölçümler vereceği kaydedilmiştir [3]. Bu nedenle ölçümler burcun yuvaya çakılı olduğu durumda alınmıştır. Ayrıca yuva üzerine işlenen yüksek hassasiyetteki delikler ve yüzeyler CMM için referans olarak kullanılmıştır.



Şekil 10. CMM Ölçüm Hatları

DEĞERLENDİRME

Toplam yedi adet deney yapılmıştır. Kanallı çelik yatakların yağlama periyodu başta 1000 döngü olarak düşünülmüş; fakat sarma olayı yaşandığı için yağlama periyodu 260 döngüye düşürülmüştür.

Tablo 1'de görüldüğü gibi, daha yüksek PV değerlerinde çalıştırılan kanallı çelik yatak deneyi sarmayla sonuçlanmıştır. Sarma, yatakların hep aynı yarısında gözlenmiştir. Sarmanın aynı bölgede görülmesi de iç çapta üretim kaynaklı bir hata olduğuna işaret etmektedir. Sarma görülen döngü sayıları çok geniş bir bantta yer almaktadır. Bu nedenle sarmanın kararsız bir olay olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle 4. ve 5. deneylerdeki düşük döngü sayılarının PV değerinden çok, kum, toz gibi yabancı maddelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Test başındaki belli bir döngü sayısında, PV değerini ve yağlama periyodunu

düşük tutarak bu kararsız durumun aşılması için deneyler tekrar edilmelidir.

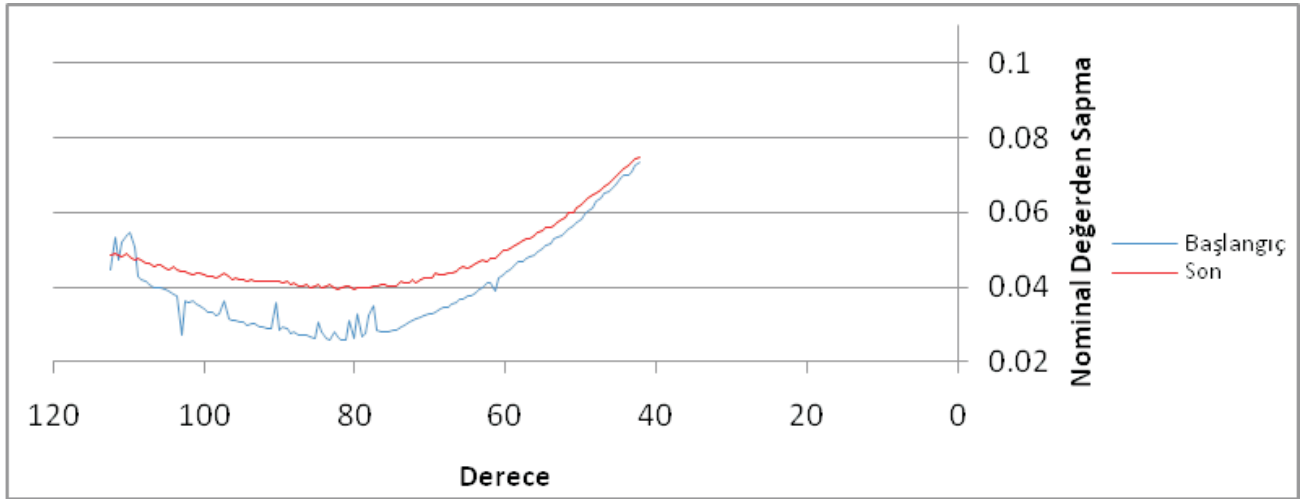
Üçüncü deney, birinci deneyden daha yüksek bir PV değeriyle yapılmasına karşın yatak daha geç sarmıştır. İlk deneyde yağlama periyodu 1000 döngüyken, üçüncü deneyde 260 döngüdür.

Ayrıca bronz burcun yağlama kanalının iki yanındaki grafitin sıvanamadığı hatlarda da lokal sarmaya rastlanmıştır. Buradan, artan yağlama sıklığı ile yatak ömrünün de arttığı gözlenmiştir. Kanalsız çelik ve grafitli-bronz yataklarda deneyler tekrar edilerek sonuçlar karşılaştırılabilir. Aşınma hesabı sarmayan yataklarda yapılmış ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

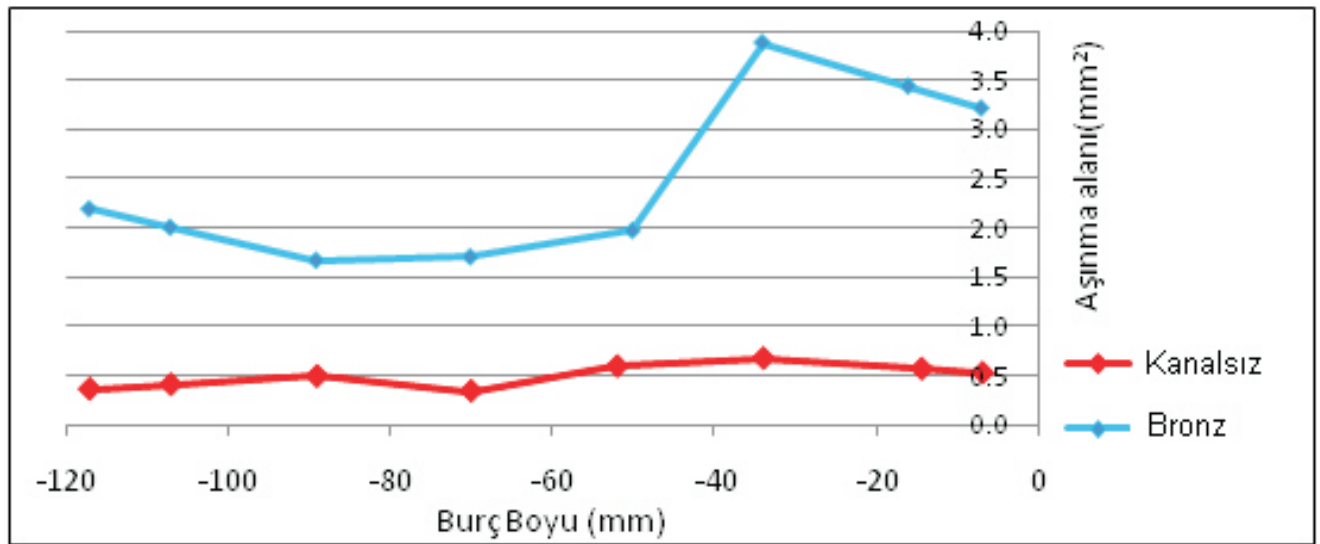
Aşınma hacmini bulmak için deney öncesi ve sonrası yatağın çevresel ölçümleri arasında kesitteki alan farkı hesaplanmıştır.

Tablo 1. Deney Sonuçları

Test	Yatak Tipi	Ortalama Yatak Basıncı (MPa)	Periyot (s/döngü)	PV (MPa.m/s)	Sarma Döngü Sayısı	Aşınma Hacmi (mm ³)
1	Kanallı Çelik	23.0	14	0.26	2007	Yatak sardı
2	Kanallı Çelik	15.1	14	0.17	9028	12.46
3	Kanallı Çelik	24.9	14	0.28	3710	Yatak sardı
4	Kanallı Çelik	24.9	14	0.28	900	Yatak sardı
5	Kanallı Çelik	24.9	14	0.28	330	Yatak sardı
6	Kanalsız Çelik	18.2	7	0.41	16.446	55.39
7	Grafitli-Bronz	18.2	7	0.41	16.500	265.5



Şekil 11. Grafitti-Bronz Yatak z = 89 mm İçin Kesitte Aşınma Alanı

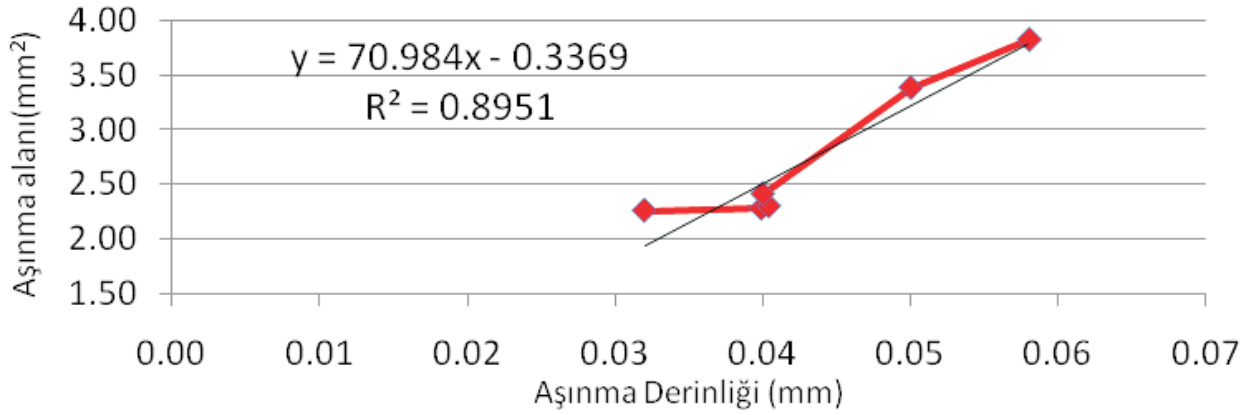


Şekil 12. Grafitti-Bronz Yatak ve Kanalsız Çelik Yatak İçin Aşınma Alanının z Yönünde Değişimi

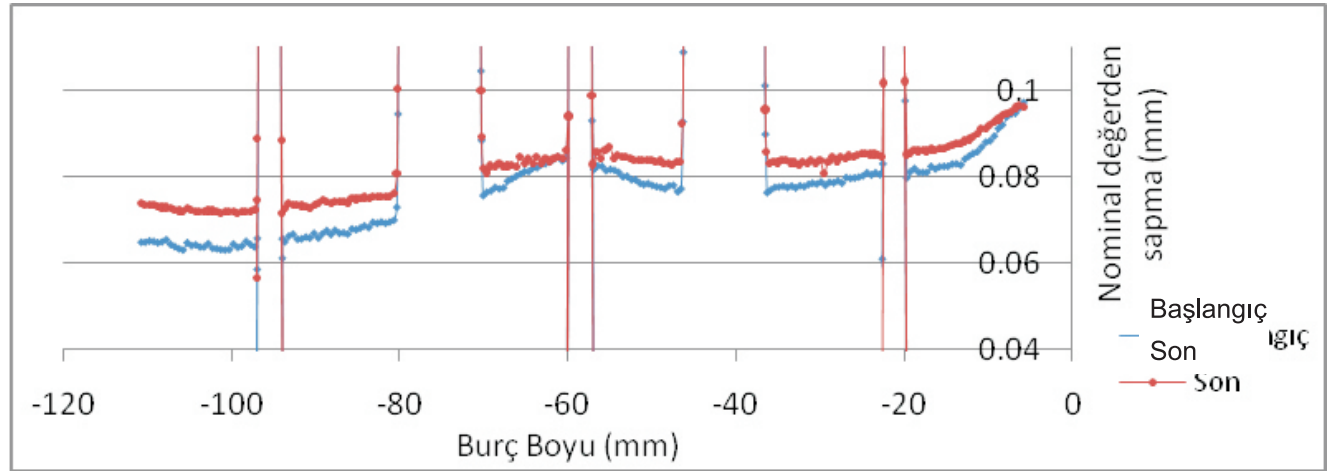
Örnek olarak Şekil 11'deki grafikte yatağın z=89 mm kesitinde deney öncesinde ve sonrasında yüklemenin gerçekleştiği bölgedeki yatak yüzeyi üzerindeki ölçümler verilmiştir. Burada ölçümler arasında kalan alan, o yatak kesiti (Şekil 10'da z eksenini gösterilmiştir) için hesaplanan aşınma alanı olarak tanımlanmıştır. Altı değişik z değeri için hesaplanan aşınma alanı değerleri kullanılarak, herhangi bir z değerindeki aşınma alanı lineer interpolasyonla hesaplanmıştır. Bu interpolasyonlar Şekil 12'de görülebilir. Bu doğruların altında kalan alan aşınma hacmi olarak tanımlanmıştır.

Kanallı çelik yatak üzerinde yapılan çevresel ölçümler net bir

sonuç vermemiştir. Bu nedenle aşınma hesabı farklı bir yöntemle yapılmıştır. Bronz yatakta yapılan altı çevresel ölçümden aşınma derinliği ve aşınma alanı bilgisi çıkarılmıştır. Aşınma derinliği, burcun maksimum kuvvete maruz kalan ve en çok aşınan bölgesinin (Şekil 11'de 82°) mm cinsinden çap büyümesi olarak tanımlanmıştır. Altı adet z değeri için aşınma derinliği ve aşınma alanı bir grafiğe yerleştirilmiş ve Şekil 13'te görülen grafiğe bir doğru uydurulmuştur. Bu doğru denkleminin, Şekil 14'te görülen kanallı çelik burcun aksenal ölçümünden elde edilen aşınma derinliği grafiği kullanılarak, yatak boyunca integral alınmış aşınma hacmi hesaplanmıştır.



Şekil 13. Grafitli-Bronz Yatakta Aşınma Derinliği - Aşınma Alanı Değişimi



Şekil 14. Kanallı Çelik Burcun Eksenel Ölçüm Sonucu

Tablo 2. Aşınma Katsayısı Bilgileri

Test	Yatak Tipi	PV (MPa.m/s)	Azami Kuvvet (kN)	Kayma Mesafesi (m)	Aşınma Hacmi (mm ³)	Aşınma Katsayısı
2	Kanallı Çelik	0.17	121	1418.11	12.468	4.3e-8
6	Kanalsız Çelik	0.41	200	2583.33	55.39	6.3e-8
7	Grafitli-Bronz	0.41	200	2591.81	265.6	12.8e-8

Aşınma hacmi ve ortalama aşınma katsayısı bilgileri Tablo 2'de verilmiştir. Kanalsız çelik burcun aşınma katsayısının kanallı burca göre, yaklaşık % 32 fazla olduğu gözlenmiştir.

Kanalsız burcun aşınma katsayısının daha yüksek olması yağlanmasının yetersiz kaldığını göstermektedir.

SONUÇLAR

Kanallı, kanalsız çelik yataklar ile bronz yataklar üzerinde ekskavatör çalışma koşullarındaki değişken yük ve kayma hızında yapılan deneyler sonunda;

- Testin başında, kararsız bir durum olan sarmanın erken gerçekleşmesini önlemek amacıyla test kuvveti ve yağlama periyodunun düşük tutulması önerilmektedir.
- Kanallı çelik yatak deneylerinde yağlama periyodunun azaltılmasının yatak ömrünü artırdığı gözlenmiştir.
- Kanalsız çelik yatakta, $PV > 0.17$ MPa.m/s değerlerinde sarma görülmemiştir. Bu durum, yağlama kanalları işlenmesinin burcun erken sarmasına neden olabileceğini göstermiştir.
- Yapılan ölçümlerde çelik yatakların iç çaplarında 20 µm dalgalılık görülmüştür. Bu dalgalılığın yatak içinde lokal basınç yığılmalarına ve erken aşınmaya neden olduğu görülmüştür. Bu nedenle çelik yataklarda çap toleransı daha dar aralıkta kullanılmalıdır.
- Çelik burçların ortalama aşınma katsayısı grafitli-bronz yataktan daha düşük çıkmıştır. Fakat kanallı çelik burçların sardığı gözlenmiştir. Bu durumda uygulamada, sarma olayı yaşanmaması ve düşük aşınma katsayısı ile kanalsız çelik burç diğer tip burçlara göre tercih edilmelidir.

SEMBOLLER

A	: Yatak izdüşüm alanı (mm ²)
F	: Temas kuvveti (N)
f	: Sürtünme katsayısı
CMM	: Koordinat ölçüm cihazı
Hsoft	: Yumuşak yüzeyin sertliği (MPa)

N	: Devir sayısı (devir/s)
P	: Ortalama yatak basıncı (MPa)
PV	: Basınç - hız sabiti (MPa.m/s)
s	: Kayma mesafesi (m)
t	: Zaman (s)
V _{wear}	: Aşınan hacim (mm ³)
µ _d	: Dinamik viskozite (Pa.s)

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışma kapsamında sunduğu bilgisayar donanımı ve test olanaklarından dolayı Hidromek AŞ'ye, yardım ve önerilerinden dolayı Prof. Dr. Eres Söylemez'e teşekkür eder.

KAYNAKÇA

1. **Shigley, E., Mischke, C., Budynas, R.** 2003. Mechanical Engineering Design - International Edition, McGraw-Hill, USA.
2. **Neale, M. J., Gee, M.** 2001. Guide to Wear Problems and Testing for Industry, William Andrew Publishing, UK.
3. **Strand, H.** 2005. "Design, Testing and Analysis of Journal Bearings for Construction Equipment," Doktora Tezi, Royal Institute of Technology.
4. **Tamura, K., Ishihara, S., Goshima, T., Tachi, Y.** 2004. "Effect of Cyclic Load and Sliding Speed on the Sliding Wear Characteristics of a Bearing Lined With WJ7 White Metal," Proc. Instn Mech. Engrs Part J: J. Engineering Tribology, 218, p.23-31.
5. **Koszela, W., Galda, L., Dzierwa, A., Pawlus, P.** 2010. "The Effect of Surface Texturing on Seizure Resistance of a Steel-Bronze Assembly," Tribology International, 43, p.1933-1942.

<http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina/>

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Mühendis ve Makina Dergisi

Online Makale Yönetimi

| ANA SAYFA (GİRİŞ SAYFASI) |

YAZAR HAKEM EDITÖR

» HOŞGELDİNİZ

YAZAR GİRİŞİ

e-Posta:

Şifre:

[Yeni Kullanıcı](#) | [Şifremi Unuttum](#)

MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ'ne makale gönderebilmek için sisteme kayıt olmanız gerekmektedir. Kayıt olabilmek için sol kısımda yer alan [Yeni Kullanıcı] bağlantısına tıklayınız.

Daha önce kayıt olduysanız, e-posta adresiniz ve şifrenizi girmeniz yeterlidir.

Şifrenizi hatırlamıyorsanız, şifrenizin e-posta adresinize gönderilebilmesi için [Şifremi Unuttum] bağlantısına tıklayınız.

Sistemle ilgili sorularınızı yayin@mmo.org.tr e-posta adresine gönderebilirsiniz.

makalelerinizi online sistem üzerinden ulaştırabilirsiniz