



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



VALS TOPU DİŞLEME – TAŞLAMA  
MAKİNELERİNDE FARKLI YATAKLAMA  
UYGULAMALARININ VERİMLİLİĞE  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Sefa YEĞİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Temmuz-2022

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

## TEZ KABUL VE ONAYI

Sefa Yeğın tarafından hazırlanan “Vals Topu Dişleme – Taşlama Makinalarında Farklı Yataklama Uygulamalarının Verimliliğe Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 18/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç.Dr. Ahmet CAN

.....

#### Danışman

Doç.Dr. Murat DİLMEÇ

.....

#### Üye

Doç.Dr. Mehmet BAĞCI

.....

#### Üye

Dr.Öğr. Üyesi Ali ÖZTÜRK

.....

#### Üye

Dr.Öğr. Üyesi Musa DEMİRCİ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../2022 gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Sefa YEĞİN

Tarih:18.07.2022

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# VALS TOPU DIŞLEME – TAŞLAMA MAKİNALARINDA FARKLI YATAKLAMA UYGULAMALARININ VERİMLİLİĞE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

SEFA YEĞİN

Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat DİLMEÇ  
2.Danışman: Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

2022, 59 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Ahmet CAN  
Doç. Dr. Murat DİLMEÇ  
Doç. Dr. Mehmet BAĞCI  
Dr. Öğr. Üyesi Ali ÖZTÜRK  
Dr. Öğr. Üyesi Musa DEMİRCİ

Gıda sektörüne bağlı; buğday, mısır ve tahıl grubu, yağ grubu, kahve grubu, yem grubu, çikolata grubu, üreticilerinin katıdan toz ve katıdan sıvıya dönüşümlerinde kullandığı vals topları üretiminde 150 mm ile 820 mm çap aralığında ve 2200 mm uzunluğuna kadar değişken boyutlarda olup gıda sektöründe kullanılmaktadır. Gıda değirmenlerinde kullanılan değirmen vals topları, gıda ürünlerinin kırma ve öğütme işlemlerini gerçekleştirir. Gıda öğütücü sistemlerinin en önemli parçasıdır. Değirmen vals silindirlerinin bu öğütme işlemini homojen ve istenilen tane boyutunda yapabilmesi için belirli yüzey formuna sahip olması gerekmektedir. Değirmen vals silindirlerinden istenilen yüzey formları kırıcı tipler için silindirik, liso tipler için bombeli (balıksırtı) veya pahlı formdur. Özellikle değirmen vals silindirlerinin en çok kullanıldığı endüstriyel bir tesis olan un fabrikaları, günün yirmi dört saati ve yılın neredeyse her günü kesintisiz olarak çalışmaktadırlar. Vals değirmen toplarının yüzey formları, öğütücü merdanelerin imalatı sırasında uygulanacak hassas yüzey taşlama işlemi göz önünde bulundurulmuş en önemli parametrelerden birisidir. Bu amaçla, yapılan tez çalışmasında değirmen vals toplarının tekrardan dış açılmasını sağlayan vals topu dişleme ve taşlama makinasının taşlama bölümündeki mevcut rulmanlı spindle yataklama kısmındaki sorunlar referans alınmış olup yataklama çeşidi için özel olarak tasarlanan hidrodinamik radyal kaymalı yataklamalı deney düzeneği kullanılarak iş parçasının üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Hidrodinamik yataklamalı deney test cihazı tasarımının gerçekleştirilmesi ile vals topu dişleme ve taşlama makinasındaki mevcut yüzey pürüzlülüğünü iyileştirme, mevcut tasarımdaki titreşim sorununun ortadan kaldırmaya yönelik önemli bir katkı sağlanması hedeflenmiştir. Böylelikle çalışmada tasarlanan test düzeyinde hidrodinamik bir sistemin sistemdeki verimliliği arttırmaya yönelik kullanılacak yağ çeşitleri, basınç değeri, tipik yağ filmi kalınlığı gibi farklı parametreleri değiştirilerek sistemlerin geliştirilmesi, parçaların ömrünün arttırılabilirliği, ekonomik açıdan kazanımları ve verimliliği sorgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrodinamik radyal kaymalı yataklama, Spindle, Vals değirmen topu, Vals değirmen topu taşlama ve dişleme makinası, Taşlama formları

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT BEARING APPLICATIONS ON ROLL FLUTING AND GRINDING MACHINE PRODUCTIVITY**

**Sefa YEĞİN**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF  
SCIENCE  
IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Murat DİLMEÇ  
Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAĞCI**

**2022, 59 Pages**

#### **Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Ahmet CAN  
Assoc. Prof. Dr. Murat DİLMEÇ  
Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAĞCI  
Assist. Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK  
Assist. Prof. Dr. Musa DEMİRCİ**

Connected to the food industry; It is used in the food industry in variable sizes ranging from 150 mm to 820 mm in diameter and up to 2200 mm in length in the production of rolls and chilled cast iron rolls used by the producers of wheat, corn and grain group, oil group, coffee group, feed group, chocolate group in the transformation from solid to powder. Chilled cast iron roll used in food milling perform the crushing and grinding processes of food products and are the most important part of food grinding systems. Chilled cast iron roll must have a certain surface form in order to carry out this grinding process homogeneously and in the desired grain size. The desired surface forms from mill rolls are cylindrical for break types, camber (herringbone) or chamfered form for the smooth sandblasted types. Flour mills, which are an industrial facility where mill rollers are used the most, work 24 hours a day and almost every day of the year without interruption. The surface forms of the rolls are one of the most important parameters taken into consideration during the precision surface grinding process to be applied during the manufacture of the grinding rollers. In the thesis study conducted for this purpose, the problems in the existing bearing spindle bearing part of the grinding part of the grinding machine and the grinding of the roll grinding machine, which enables the re-fluting of the milling rolls, were taken as reference, and the effects on the work piece were experimentally made by using a hydrodynamic radial sliding bearing test setup specially designed for the bearing type. With the realization of the hydrodynamic bearing test device design, it is aimed to make an important contribution to improving the existing surface roughness (Ra) of the roll fluting and grinding machine and to eliminating the vibration problem in the current design. Thus, by changing different parameters such as oil types to be used, pressure value, typical oil film thickness to increase the efficiency of a hydrodynamic system at the test level designed in the study, the development of the systems, the extendibility of the parts' life, the economic gains and efficiency were questioned.

**Keywords:** Chilled cast iron flour milling roll, Grinding shapes, Hydrodynamic radial journal bearings, Roll combined fluting and grinding machine, Spindle

## ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında, yönlendirmelerinden faydalandığım ve desteğini hissettiğim danışmanım Doç. Dr. Murat DİLMEÇ'e ve 2. Danışmanım Doç. Dr. Mehmet BAĞCI'ya teşekkür ederim.

Aynı zamanda manevi ve teknik desteklerinden dolayı iş yerime Yenar Döküm Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkürleri bir borç bilirim.

Sefa YEĞİN  
KONYA-2022

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiv
TABLO LİSTESİ .....	xv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>2</b>
<b>3. TEORİK ESASLAR.....</b>	<b>7</b>
3.1. Yağlama ve Kaymalı Yataklar.....	7
3.2. Yağ Çeşitleri .....	7
3.2.1 Katı yağlayıcı .....	7
3.2.2. Gresler yağlayıcı .....	7
3.2.3. Sıvı yağlayıcılar .....	8
3.3. Kaymalı Yatak Çeşitleri.....	8
3.4. Yağlama Çeşitleri .....	9
3.5. Viskozite .....	11
3.6. Hidrodinamik Yağlama Teorisi .....	14
3.7. Yağlayıcı Temini .....	15
3.8. Yatak Malzemeleri.....	17
3.9. Hidrodinamik Yatak Tasarımı .....	19
3.10. Reynolds Eşitlikleri.....	21
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>24</b>
4.1. Test Metodu .....	24
4.2. Deney Düzeneği.....	24
4.3. Rulmanlı Sistem Düzeneği ile Hidrodinamik Yataklama Sistemi Düzeneğinin Karşılaştırılması .....	25
4.3.1. Yüzey Kalitesi Seviyesinin Karşılaştırılması .....	26
4.3.2. Kararlılık Analizi .....	28
4.3.3. Sıcaklık Karşılaştırması .....	29
4.3.4. Gürültü Karşılaştırması.....	30
4.3.5. Bakım ve Onarım Karşılaştırması.....	32
4.3.6. Spindle Muylu Karşılaştırması .....	32
4.3.7. Taşlama Taşı Karşılaştırması.....	32
4.4. Hidrodinamik Yataklama Test Düzeneğinin Temel Özellikleri .....	34
4.4.1. Basınçlı Yağlama Sistemi.....	34
4.4.2. Hız kontrol ünitesi .....	35
4.4.3. Moment Ölçümü .....	35
4.4.4. Basınç Ölçümü.....	36
4.4.5. Yataklama .....	36

4.4.6. Spindle Gövdesi.....	37
4.4.7. Sonuçlar .....	37
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>39</b>
5.1. Sürtünme Kuvvetini Yenecek Momentin Hesabı .....	39
5.2. Sürtünme Kuvveti Hesabı .....	40
5.3. Sürtünme Katsayısı Hesabı .....	40
5.4. Farklı Sürtünme Koşullarının (Sınır, Karışık, Sıvı) Hıza Etkisi:.....	42
5.5. Farklı Viskozitelerin Geçiş Noktasına Etkisi.....	42
5.6. Farklı Yağlayıcıların Kayma Hızlarına Etkisi.....	43
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>44</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>45</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>48</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

$h_0$	: Minimum film kalınlığı (m)
$h_{max}$	: Maksimum film kalınlığı (m)
$h$	: Film kalınlığı (m)
$\varepsilon$	: Mevcut yağ filmini belirten boyutsuz büyüklük
$P$	: Basınç (Pa)
$D$	: Yatak çapı (m)
$B$	: Yatak genişliği (m)
$R$	: Yatağın yarıçapı (m)
$L$	: Yatak uzunluğu (m)
$H$	: Yağ film kalınlığı (m)
$\varepsilon$	: Eksantrisite oranı
$W$	: Yük taşıma kabiliyeti
$C$	: Radyal açıklık
$\eta$	: Viskozite (Pa.s)
$W$	: Açısal hız (radyan/saniye)
$U$	: Çizgisel hız
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
$v$	: Kesme hızı (m/dk)
$N$	: Fener mili hızı (m/dk)
$D$	: Kesici takım çapı (m)
$F$	: Kayar yük (N)
$FT$	: Yatağa etkiyen toplam kuvvet
$Z_e$	: Aynı anda parça ile temas eden diş sayısı
$\varphi_s$	: Kavrama açısı
$a$	: Kesme derinliği (m)
$Ra$	: Yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1. Krank Şaftı Silindiri Üzerindeki Yataklar.....	9
Şekil 3.2. Yağlamaların Gösterimi.....	9
Şekil 3.3. Kaymalı Yatak Yağlaması.....	10
Şekil 3.4. Stribeck Eğrisi.....	11
Şekil 3.5. Viskozite Ve Kayma Gerilmesi Benzerliği.....	12
Şekil 3.6. Beauchamp Tower Deney Düzenegi Ve Ölçülen Basınç Dağılımı.....	14
Şekil 3.7. Yağ Filmi İçindeki Herhangi Bir Yağ Zerresi.....	15
Şekil 3.8. Yağ Halkalı Yatak.....	16
Şekil 3.9. Eksenel Kanallı Yatak.....	16
Şekil 3.10. Silindir Kanallı Yatakta Basınç Dağılımı.....	16
Şekil 3.11. Krank Milindeki Yağ Delikleri.....	17
Şekil 3.12 Tipik Kaymalı Yatak Tasarımı.....	17
Şekil 3.13 Alaşımın Özellikleri.....	18
Şekil 3.14. Sommerfeld Gösterimleri.....	22
Şekil 4.1. Rulmanlı Yataklamanın Şematik Gösterimi.....	25
Şekil 4.2. Hidrodinamik Yataklamanın Şematik Gösterimi .....	25
Şekil 4.3. Rulmanlı Yataklama İle Taşlanan Vals Topunun Yüzey Kalitesi.....	26
Şekil 4.4. Rulmanlı Yataklama İle Taşlanan Vals Topunun Sol Tarafındaki Yüzey Pürüzlülük Değeri 1,375 µm.....	26
Şekil 4.5. Rulmanlı Yataklama İle Taşlanan Vals Topunun Orta Kısımındaki Yüzey Pürüzlülük Değeri 1,14 µm.....	27
Şekil 4.6. Rulmanlı Yataklama İle Taşlanan Vals Topunun Sağ Tarafındaki Yüzey Pürüzlülük Değeri 1,21 µm.....	27
Şekil 4.7. Rulmanlı Yataklama İle Taşlanan Vals Topunun Sol Tarafından 430 mm Ötedeki Bölgesinde Titreşimden Dolayı Oluşan Yüzeybozukluğu	28
Şekil 4.8. Rulmanlı Yataklama İle Taşlanan Vals Topunun Yüzeyinde Çokgenlerin Oluşması Ve Silindiriklik Yapının Bozukluğu.....	28
Şekil 4.9. Rulmanlı Yataklama İle Taşlanan Başka Bir Vals Topunun Orta Kısımındaki Titreşimden Dolayı Oluşan Yüzey Bozukluğu.....	29
Şekil 4.10. Rulmanlı Yataklama Spindle Gövdesindeki Sıcaklık Değeri Ortalama 55°'Dir.....	29
Şekil 4.11. Hidrodinamik Kaymalı Yataklama Sistemindeki Spindle Gövdesindeki Sıcaklık Değeri Ortalama 45°'Dir.....	30

<b>Şekil 4.12.</b> Rulmanlı Yataklama Sistemi Çalışırken 3 Farklı Noktasından Ölçülen Desibel Birimleri Ortalama 79'dur.....	31
<b>Şekil 4.13.</b> Hidrodinamik Kaymalı Yataklama Sistemi Çalışırken 3 Farklı Noktasından Ölçülen Desibel Birimleri Ortalama 64'dür.....	31
<b>Şekil 4.14.</b> Hidrodinamik Kaymalı Yataklama İle Taşlanan Vals Topunun Orta Bölümündeki Yüzey Pürüzlülük Değerleri 0.287 $\mu\text{m}$ .....	32
<b>Şekil 4.15.</b> Hidrodinamik Kaymalı Yataklama İle Taşlanan Vals Topunun Sol Bölümünden 100 mm Ötesinde Yüzey Pürüzlülük Değerleri 0.373 $\mu\text{m}$ .....	33
<b>Şekil 4.16.</b> Hidrodinamik Kaymalı Yataklama İle Taşlanan Vals Topunun Sağ Bölümünden 100 mm Ötesinde Yüzey Pürüzlülük Değerleri 0.4 $\mu\text{m}$ .....	33
<b>Şekil 4.17.</b> Basınçlı Yağlama Sistem.....	34
<b>Şekil 4.18.</b> Hız Kontrol Ünitesi.....	35
<b>Şekil 4.19.</b> Basınç Ölçerler.....	36
<b>Şekil 4.20.</b> %14 Kalay Alaşımli Bronz Döküm Parçası.....	36
<b>Şekil 4.21.</b> Spindle Test Gövdesi.....	37
<b>Şekil 5.1.</b> Şafta Etkiyen Sürtünme Kuvveti ve Momenti.....	39
<b>Şekil 5.2.</b> Sistem Düzeneginin Şematik Gösterimi.....	39
<b>Şekil 5.3.</b> Sürtünme katsayısının, hıza ve radyal yükü göre değişimi.....	41
<b>Şekil 5.4.</b> Sürtünmelerin Hıza Olan Etkisinin gösterimi.....	42

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 3.1.</b> SAE Yağları İçin Viskozite Sıcaklık Eğrileri.....	13
<b>Tablo 3.2.</b> Uygulandığı Yere Göre Yatak Birim Yükleri.....	19
<b>Tablo 5.1.</b> Sürtünme Kuvveti FS [N].....	40
<b>Tablo 5.2.</b> Sürtünme Kuvveti FS [N].....	41

## 1. GİRİŞ

Milin yüzeyinde kayarak döndüren elemanlara hidrodinamik kaymalı yatak denir. Kaymalı yatağın amacı, mil ile yatak arasında yeter derecede basınca sahip olacak şekilde yağ filmi oluşturup metalin metale temasını engellemek, böylece sürtünmeyi düşürmek ve aşınmayı yok etmektir.

Mil ile yatak arasında üç tür kayma olabilir:

- Yağın olmadığı, metalin metal üzerinde kaydığı kuru sürtünme diye adlandırılır. Kuru sürtünmeli çalışma, yağın istenmediği yerlerde (örneğin gıda sanayinde) yerde tercih edilirler.

- Yağın olduğu fakat parçaları birbirinden tamamen ayıracak bir basıncın oluşmadığı, kısmen temasların olduğu sürtünmeye sınır sürtünmesi adı verilir. Bakım gerektirmeyen yataklarda sınır yağlamayı sağlayabilecek kadar yağ filmi oluşturabilen yataklar kullanılır. Ayrıca sınır sürtünmeli yatakların, kuru sürtünme şartlarında da ortalama bir performans göstermesi beklenir.

- İki metalin bir yağ filmi ile birbirlerinden tamamen ayrıldığı durumlara sıvı sürtünme denir. Bu durum en tercih edilen çalışma biçimidir. Bunu sağlamanın iki farklı yolu vardır. Basıncın kendiliğinden oluştuğu hidrodinamik yağlama veya dışarıdan bir pompa yardımıyla basıncın oluşturulduğu hidrostatik yağlamadır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bekir ve ark. (2009) yapmış oldukları araştırmalarında yatak malzemesinde yaygın olarak kullanılan pirinç ve bakır esaslı alaşımlarda bronz kullanımını incelemişlerdir. Çalışmalarında saf bakır malzemeler düşük mekanik ve sertlik özelliklerinden dolayı muylu yatak malzemesi olarak kullanılmayacağını belirtmişlerdir. Kabul edilebilir tribolojik ve mekanik performansa sahip bu malzemeler, muylu yataklarda tatmin edici sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada bakır esaslı CuSn10 bronz ve CuZn30 pirinçten üretilen kaymalı yatakların tribolojik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca Cu, Sn ve Zn alaşım elementlerinin kaymalı yatakların tribolojik ve mekanik özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 çelik mil kullanmışlardır. Aşınma deneyleri, radyal kaymalı yatak aşınma test düzeneği kullanılarak, 20N yüklerde, 1500 dev/dk hızlarda 2.5 saat süreyle gerçekleştirilmiştir (Bekir ve ark.,2009).

Karadere (2008) araştırmasında grafit ve bronz katkılı teflondan imal edilmiş bir kaymalı yatak burcunun çelik bir muyluya karşı sürtünme katsayısını bir deney düzeneğinde tayin hız ve sıcaklık artışıyla değişimleri incelemiştir. Çalışmaları sonucunda sürtünme katsayısının nispeten küçük hız ve basınçlar altında neredeyse sabit kaldığı ve sürtünme katsayısı üzerinde sıcaklık artışının hız artışına göre daha etkili olduğunu bulmuştur. Ayrıca sabit bir PV değeri için belirli bir sıcaklığa kadar "küçük hız + büyük basınç" kombinasyonunun daha düşük sürtünme katsayıları sağladığını bulmuştur (Gültekin Karadere, 2008).

Prashant ve ark. (2018) çalışmasında, kısmi yağlama kanalları yoluyla konik şekilli hidrodinamik muylu yatağının performans özelliklerini araştırmak için sayısal ve deneysel analiz yapıp incelemiştir. Sayısal analiz yaparken COMSOL multiphysics 5.0 programını kullanılarak ince film akış fiziği gerçekleştirmişlerdir. Kısmi yağlama kanalları, fotokimyasal işlem kullanılarak geliştirilmiştir. 0°-90° ve 90°-180° kısmi dokulamanın yatak performans parametreleri sıvı film basıncı, yük taşıma kapasitesi ve sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi sayısal olarak incelemiştir. 90°-180° bölge boyunca kısmi dokulu yatak yüzeyi, maksimum sıvı film basıncında %42 artış sağlarken, sürtünme katsayısında maksimum %52 azalma ile konik şekilli hidrodinamik kaymalı

yatağın pürüzsüz yüzey özelliklerine kıyasla yük taşıma kapasitesinde % 42 artış sağladığını görmüşlerdir (Prashant ve ark., 2018).

Hamdullah ve ark. (2004) araştırmalarında, Zn–Al–Cu–Si alaşımlarından üretilen ince duvarlı kaymalı yatakların sürtünme davranışını kaymalı yatak test teçhizatı kullanılarak incelemişlerdir. Bu alaşımların nihai çekme mukavemeti, uzama, sertlik ve mikroyapı gibi mekanik özellikleri belirleyip bu alaşımlardan üretilen rulmanların sürtünme özellikleri de incelemişlerdir. Bu çalışmada, kaymalı yatakların sürtünme özellikleri üzerindeki yüzey pürüzlülüğü ve yatak basıncının etkileri dikkate alarak, özellikle karışık ve tam film yağlama bölgelerinde artan yatak basıncı ile sürtünme faktörünün azaldığını göstermişlerdir. Yüksek yüzey pürüzlülüğünün yüksek sürtünme faktörüne yol açtığı bulmuşlardır. ZnAl<sub>27</sub>Cu<sub>2</sub>Si<sub>1</sub> ve ZnAl<sub>40</sub>Cu<sub>2</sub>Si<sub>1</sub> yatakları tam Stribeck eğrisi eğilimi gösterirken, ZnAl<sub>27</sub>Cu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> yatağı 0,7 ve 1,1 MPa basınçta tam film yağlama bölgesine sahip olmayan tipik diyagramı sergilemediğini görmüşlerdir (Hamdullah ve ark., 2004).

Bekir ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmalarında, pratikte demir esaslı malzemeler mil malzemesine benzer özellikler gösterdikleri ve kaymalı yataklarda yapışkan aşınmaya neden olduğunu bildikleri için kullanmamışlardır. Ayrıca borlama işlemi ile yataklardaki aşınmayı önemli ölçüde azaltılabileceğini ön görmüşlerdir. Bu çalışmada, bazı demir esaslı (SAE 1020, TS-DDK 40) kaymalı yataklara borlama uygulanmışlardır. SAE 1050 çelik mil üzerinde karşı aşındırıcı olarak 100 N yükte ve 1500 dev/dk'da radyal kaymalı yatak test cihazı kullanılarak 5 saat boyunca aşınma deneyleri yapmışlardır ve borlama işlemi SAE 1020, TS-DDK 40'ın aşınma direncini sırasıyla yaklaşık 10–25 kat ve 5–7 kat artırmışlardır (Bekir ve ark., 2008).

Gengyuan ve ark. (2014) araştırmalarında, su ile yağlanan kaymalı yatakların tasarımı için referanslar sağlamayı amaçlamışlardır. Suyun ve yağın fiziksel özellikleri arasındaki farkları göz önünde bulundurarak, eksantriklik oranının su filminin basınç dağılımı üzerindeki etkilerini akışkanlar dinamiği ile analiz edilmişlerdir. Daha sonra farklı dönme hızlarında farklı boyutlardaki kaymalı yatakların sayısal analizini yapmışlardır. Yaptıkları analize göre, verilen yük ve dönme hızı altında su yağlamalı kaymalı yatak tasarlamak için kullanılan başlangıç çap boyutunun seçilmesi için referans belirleyip ve referansı deneysel bir durumla doğrularlar (Gengyuan ve ark., 2014).

Tushar ve ark., (2021), ISO 46 Viskozite yağda yağlayıcı katkı maddesi olarak TiO<sub>2</sub>, CuO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano partikülleri eklenerek hazırlanan nano lubrikantların çalıştığı kaymalı yatak rulmanlarının performansını analiz etmişlerdir. Nano partiküller eklenerek, yağlayıcı yağın viskozitesi iyileştirip ve aslında, kaymalı yatağın performans özelliği iyileştirmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada rulmanın performansı 250 dev/dk, 500 dev/dk hızlarda ve 300 N ve 450 N yüklerde ölçmüşlerdir. Sonuç olarak, nano partikül katkı maddeleri içermeyen baz yağa kıyasla, yağlayıcı katkı maddesi olarak TiO<sub>2</sub>, CuO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano parçacıklarının eklenmesiyle kaymalı yatağın maksimum basınç ve yük taşıma kapasitesinde bir artış olduğunu görmüşlerdir (Tushar ve ark., 2021).

Aysun ve ark., (2016), polimer esaslı yatak malzemelerinin tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Seçilen polimer yatak malzemelerinin (Kestamit, Kestamit/HS, Kestoil, Kestlub, Ulpolen 1000 (UHMWPE)) 3 farklı hız (50, 75 ve 100 dev/dk) ve 4 farklı yük (15, 25, 35 N) altında ve 5, 10 ve 15 dakika sürelerinde inceleyerek sürtünme kuvvetleri, sürtünme katsayıları ve yüzey pürüzlülük özellikleri değerlendirmişlerdir. Yatak malzemeleri kendinden yağlamalı olduğu için yaptıkları deneylerde yağlama işlemi yapmamışlardır. Tüm deney şartlarında diğer yatak malzemelerine göre Kestoil yatak malzemesinin sürtünme katsayısı daha düşük olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Deney parametreleri Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Aysun ve ark., 2016).

Kadir ve ark., (2009), bronz kalay, kompozit yapı, bronz malzemenin gözeneklerine emdirilerek elde edilmişlerdir. Sürtünme ile aşınmanın özelliklerine bakılmıştır. Zıt aşındırıcıda ise AISI 4140 çelik mil kullanılmıştır. Olabildiğince az hızlarda ve yüklerde yapılanlarda çalışma yüzeylerinde, iz olan aşınmanın küçük ve yüzeysel olduğu, yüksek yük ile hızda ise daha belli aşınma ve çizikler tespit edilmişlerdir. (Kadir ve ark., 2009).

Hakan ve ark., (2012) araştırmalarında, statik yük altındaki bir radyal kaymalı yatakta sürtünme katsayısı değişimini deneysel ile teorik araştırmışlardır. Çalışmada; yatak yükünün, viskozite ile yatak boşluğunun sürtünme katsayısına değiştirildiğindeki etkisine bakılmıştır. Teorik ve deneysel olarak belirlenen sürtünme katsayıları karşılaştırılmıştır. Yük sabitken, azalan yatak boşluğuna bağlı olarak sürtünme katsayısı, sıvı sürtünmesi azalmıştır. (Hakan ve ark., 2012).

Güler ve ark., (2021), hidrodinamik yağlamalı kaymalı yataklarda basınç dağılımı, sürtünme katsayısı, yağ film kalınlığı, yağ debisi, vb. gibi değerler yatak tasarımı ve optimum enerji verimliliği açısından büyük öneme sahip olduğunu düşünerek çalışmalarında basınç dağılımını ifade eden Reynolds Yağlama Diferansiyel eşitliği sonlu farklar metodu ile çözümlenerek her bir basınç noktası için interaktif çözüm yapılmıştır. Çalışmada kurgulanan algoritma ile muylu hızının değişimi ile basınç değeri, yağlayıcı katman kalınlığı, sürtünme katsayısı ve yatak kapasitesini belirlemişlerdir. Ve sonuçlarında mil hız değeri küçüldükçe basınç değerinin küçüldüğü, açıklık değeri büyüdükçe basınç değerinin küçüldüğü, eksantriksidede oranları arttıkça basıncın arttığı, viskozite değerleri arttıkça basıncın arttığı görmüşlerdir (Güler ve ark., 2021).

Erol ve ark., (2007), farklı polimer kaymalı yatakların çalışma süresi boyunca tribolojik davranışları incelemişlerdir. Rulmanların sürtünme ve aşınma davranışları hız, yük, sıcaklık ve çalışma süresinden etkileneceğini düşünerek tüm malzemeler için temas yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayıları belirlemişlerdir. Test sonuçlarına göre Devateks ve Ertalyte malzemenin aşınma ve sürtünme davranışları Ertacetal ve Ertalon 6PLA (döküm polyamit)'den üstün olduğunu görmüşlerdir. Ertalyte en yüksek aşınma direncine sahiptir ve en düşük sürtünme değerleri Devateks için elde edilir. Sürtünme ve aşınma için hızın en etkili parametre olduğu gözlemlenmiştir (Erol ve ark., 2007).

Erol ve ark., (2009) araştırmalarında alüminyum esaslı alaşımların günümüzde yüksek performanslı motor yataklarında kullanılmak üzere geliştirildiği kabul ederek, çalışmalarında metal kalıba döküm ile üretilen yeni Al esaslı yatak alaşımları geliştirmiş ve bu alaşımların yağlama altındaki tribolojik özellikleri deneysel olarak analiz edilmişlerdir. Bu doğrultuda pin on disk aşınma test cihazında dört farklı alüminyum alaşımı gerçekleştirmişlerdir. Aşınma test cihazında disk malzemesi olarak SAE 1040 çeliği kullanmışlardır. Aşınma testlerini ise 1.8 m/s kayma hızında ve 70 N normal yükte gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda çeşitli çalışma koşullarında numunelerin sürtünme katsayıları ve ağırlık kayıpları belirlemişlerdir. Numunelerin sertliği, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sıcaklığı ölçülmüştür. Sonuç olarak, alaşımların sürtünme ve aşınma davranışlarının kayma koşullarına göre değiştiğini gözlemlemişlerdir. Alüminyum oluşturulan alaşımlar dışındaki elementlerin tribolojik özellikler üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Al8.5Si3.5Cu alaşımı diğer alaşımlara göre daha düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğunu görmüşlerdir. Al8.5Si3.5Cu ve Al15Sn5Cu3Si

alaşımları ise en yüksek aşınma direncine olduğunu görmüşlerdir. Al15Pb3.7Cu1.5Si1.1Fe alaşımı en çok aşınan malzemedir ve Al15Pb3.7Cu1.5Si1.1Fe alaşımı en yüksek aşınma oranına sahiptir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda ise yatak malzemesi olarak yağlama altında çalışacak alüminyum alaşımlarından Si ve Sn içeren Al-Sn ve Al-Si alaşımları tercih edileceğini ön görmüşlerdir (Erol ve ark., 2009).

Ertuğrul ve ark. (2007), gözenekli yatakların farklı çalışma koşulları altındaki performansları deneysel olarak incelemişlerdir. Gözenekli P/M mesnetlerin dinamik yükleme altında tribolojik özellikleri ve yorulma hatası incelemişlerdir. Yapılan testlerde PV'nin farklı ortalama yatak değerlerinde Cu esaslı yataklar kullanılmıştır (P, öngörülen alan üzerindeki yük basıncı, V muylunun yüzey hızıdır). Deneylerde, farklı PV değerleri için sürtünme katsayısı ve aşınma oranlarının değişimi incelemişlerdir. Sonuç olarak ise düşük PV değerlerindeki sürtünme katsayıları ve aşınma kaybı oranları, test yataklarında yüksek PV değerlerinden daha küçük olduğunu görmüşlerdir (Ertuğrul ve ark., 2007).

Hülya ve ark., (2009) araştırmalarında alüminyum esaslı alaşımların tribolojik uygulamalarda muylu yatak malzemesi olarak kullanmışlardır. En yaygın olarak kullanılan yatak malzemeleri Duralumines, AlMgSi, alüminyum bazlı alaşımlardır. Bu alaşımlar kaymalı yataklardan beklenen özellikleri sağlar. Yapılan bu çalışmada, alüminyum alaşımlarından üretilen bu kaymalı yatakların tribolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 çelik mil kullanılmıştır. Al alaşımlı yatakların aşınma direnci yaklaşık 2-3 kat arttığı ve muylu aşınma direnci yaklaşık 2-8 kat arttığını gözlemlemişlerdir. En yüksek rulman aşınma oranı saf Al rulmanlarda meydana gelirken, en düşük rulman aşınma oranı ise AlMgSi rulmanda meydana gelmiştir (Hülya ve ark., 2009).

Enver ve ark., (2008) araştırmalarında polimer bazlı malzemeler, düşük hızlarda iyi korozyon direnci, kendi kendini yağlama ve aşınma direnci özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılır ve kaymalı yataklarda yağlama için uygun değildir ve yüksek performanslı mühendislik polimerleri, kaymalı yataklar için istenen özellikleri sağlar ve iyi tribolojik sonuçlar verir teziyle ilerleyerek yaptıkları çalışmada, polimer esaslı PE, PA, POM, PTFE ve Bakalit mesnetlerin tribolojik davranışları araştırmışlardır. Sonuç olarak, en yüksek aşınma direnci PA ve POM yataklarında meydana geldiğini görmüşlerdir (Enver ve ark., 2008).

### **3. TEORİK ESASLAR**

#### **3.1. Yağlama ve Kaymalı Yataklar**

Hareketi izafi iken kuvvet ileten parçalar aralarında sürtünmeyle beraberinde gelen aşınma ve buna bağlı açığa çıkan ısı güç kaybı yaratır. Aşınma ve açığa çıkan ısıyı dolayısıyla güç kaybını azaltmak için izafi hareket eden parçalar arasına yağlayıcı maddeler konur.

#### **3.2. Yağ Çeşitleri**

Kaymalı yataklar kuvvet iletiminde çok kullanılan makine parçaları olup bir birine göre izafi hareket ederler ve sürtünmeyi dolayısıyla de aşınmayı izafi hareket eden parçalar arasına konan katı, sıvı ya da gaz yağlayıcılar sayesinde azaltırlar. Yağlayıcı olarak genelde akışkan yağlayıcılar kullanılmakla beraber, bazı koşullarda teflon, karbon gibi katı ve basınçlı hava gibi gaz yağlayıcılarda kullanılır.

##### **3.2.1 Katı yağlayıcı**

Katı yağlar yalnız başlarına toz ya da plaka şeklinde kullanıldıkları gibi bazı durumlarda sıvı ya da greslerle karıştırılarak da kullanılabilirler.

##### **3.2.2. Gresler yağlayıcı**

Yarı katı yağlayıcılar sıvı yağlara katılan bir ya da birden fazla katkı maddesi ile elde edilirler ve oda sıcaklığında krem kıvamında bulunurlar. Gresler kullanılan katkı maddesine göre kalsiyum gresi, lityum gresi ve sodyum gresi gibi isimlerle anılırlar.

### 3.2.3. Sıvı yağlayıcılar

Sıvı yağlayıcılar organik (hayvansal ve bitkisel) yağlar, madensel (mineral) yağlar ve sentetik yağlar olmak üzere üç grupta toplanabilir. Sıvı yağlar aşağıdaki genel özelliklere sahiptir:

- Sıcaklığın etkisiyle viskozite azalır.
- Metallerin yüksek sıcaklarda bile oksitlenmesini önler.
- Parçalar üzerinde yapışma özelliği hareketli veya hareketsiz fark etmeksizin en az seviyededir.
- Parçalar arasındaki boşluklara (yük altındaki), aşınma ile sürtünme engelleyici sızıntı yapar.
- Temizleme özelliği ise yağlanmış yüzeylerdedir.
- Soğutma işlemi hareket halindeki parçalar arasındadır.

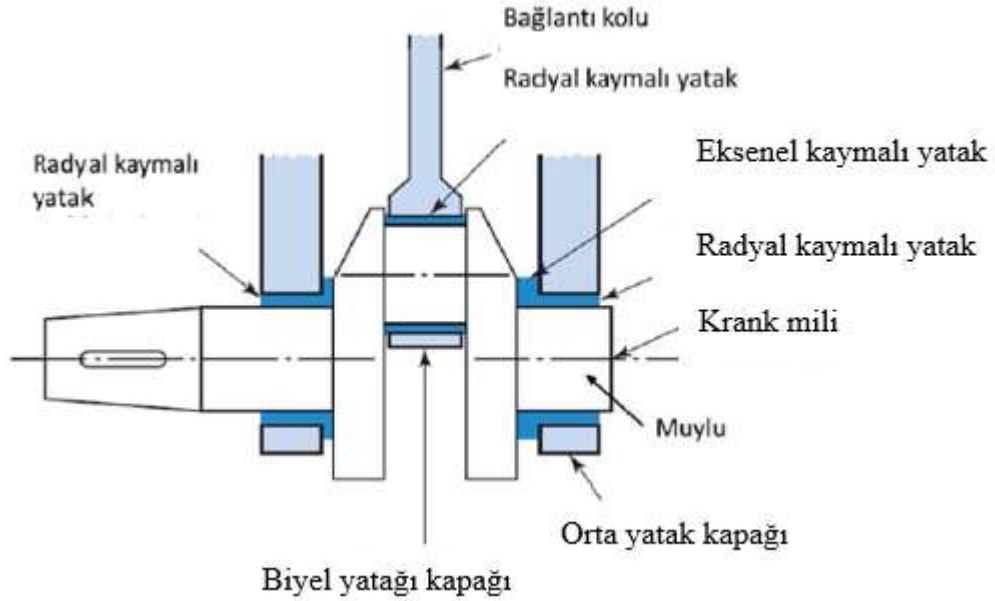
### 3.3. Kaymalı Yatak Çeşitleri

Zıt hareketi izafi olan, kuvvetle aynı yönde hareket etmeyen, ayrıca hareket esnasında iki parça arasında yağ filmiyle sürtünme kaybı en aza indirerek kuvvetin iletimini sağlayan makine parçalarıdır.

Kaymalı yatak iki çeşittir.

1. Radyal kaymalı yatak: Kuvvetleri radyal yönde karşılar.
2. Eksenel kaymalı yatak: Bunlar genellikle düz yataklardır ve milin yatakladığı yere radyal yönde monte edilir. Sadece mil doğrultusunda gelen yükleri alır.

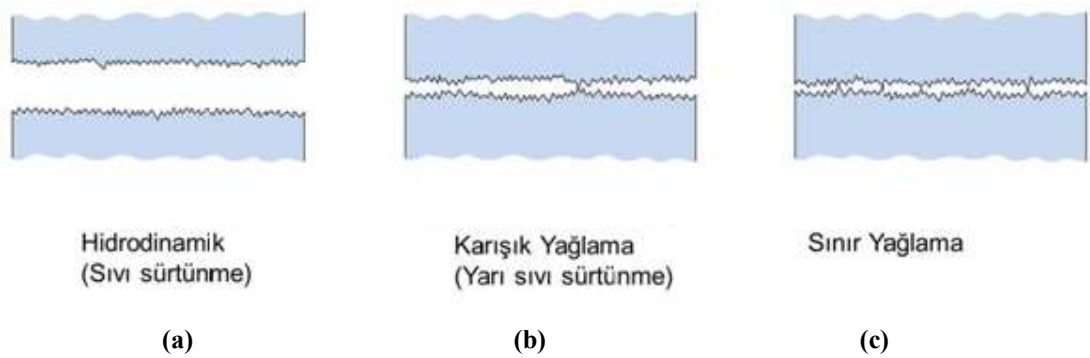
Şekil 3.1.'de radyal ve eksenel yataklara motor milinin yatakları örnek gösterilmiştir. İki yatakla sabitlenen krank şaftı olup, bunlar radyal ile eksenel yükleri karşılar.



Şekil 3.1. Krank shaftı silindiri üzerindeki yataklar (Anonim, 2009)

### 3.4. Yağlama Çeşitleri

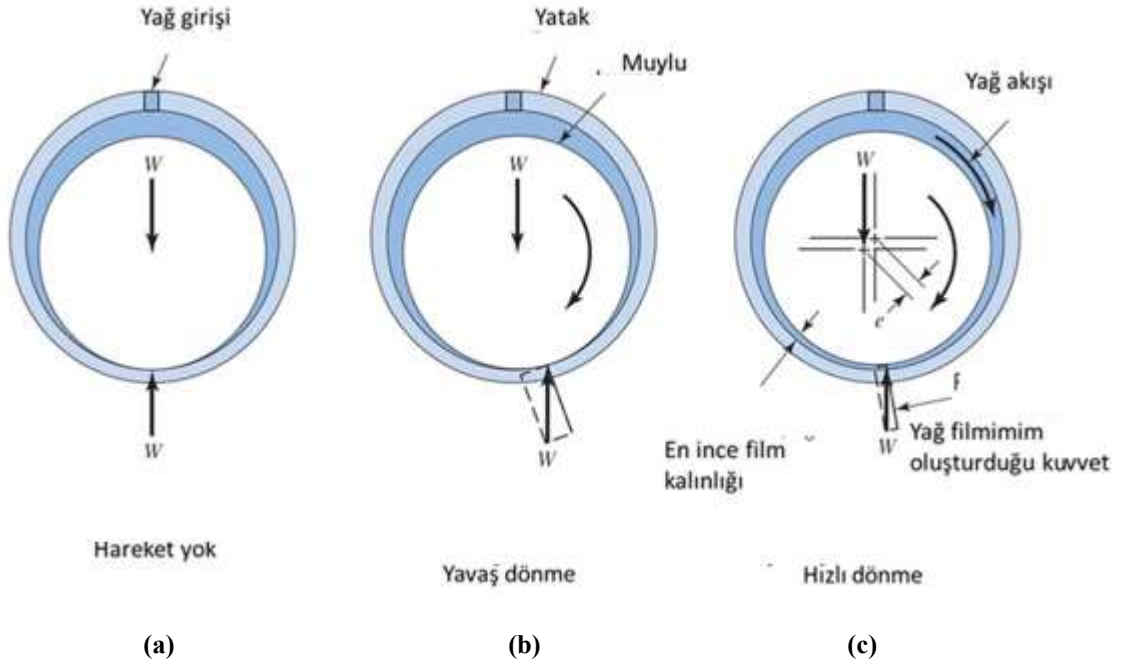
1. **Hidrodinamik Yağlama (Sıvı Sürtünmesi):** Sürtünme sadece sıvı molekülleri arasında oluşan (metalle metalin teması yok) kayma kuvvetinden oluşur.
2. **Karışık Yağlama (Yarı Sıvı Sürtünmesi):** Çok az kısımlarda metalle teması olup kısmı olarak hidrodinamik yağlamada sayılır.
3. **Sınır Yağlaması:** Zıt izafi parçalar hareket halinde bir birine tamamen değmektedir.



Şekil 3.2. Yağlamaların gösterimi ( Anonim,2007)

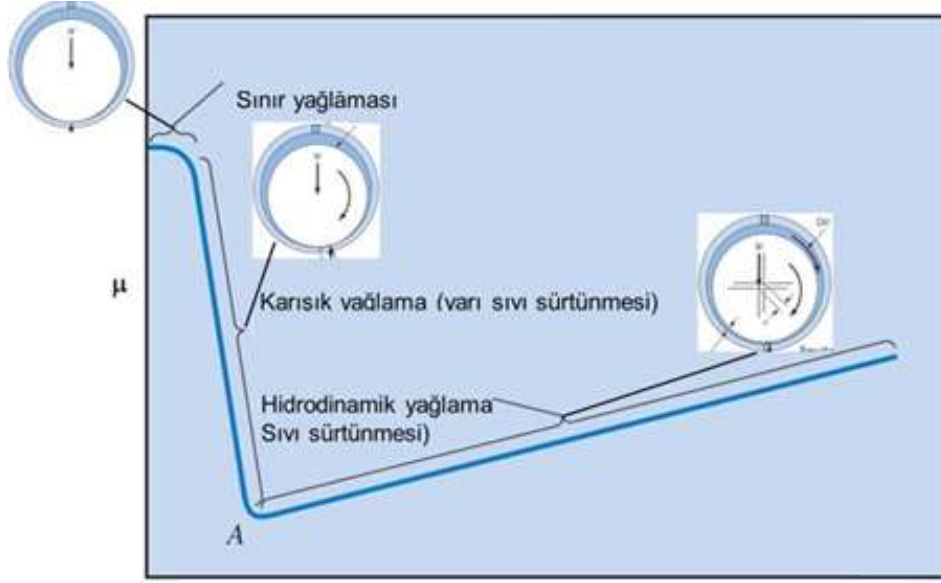
Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi en olumlu yağlama, hidrodinamik yağlamadır.

Mil (muylu) yatağın içinde saat yönünde sabit bir açısal hızla döner, yatak boşluğunun yük taşıyıcı yağ filminin oluşması dönme yönünde daralmasını sağlar.



Şekil 3.3. Kaymalı yatak yağlaması ( Anonim,2002)

Yatak içindeki milin son hızına ulaşana kadarki süreçte üç adımlı yağlama vardır. Sürtünme katsayısının üç yağlama aşamasına göre nasıl değiştiğini Stribeck eğrileri göstermektedir.



(Viskozite x devir (rad/s)) / Yatak projeksiyon alanına gelen birim yük

Şekil 3.4. Stribeck eğrisi (Anonim,2010)

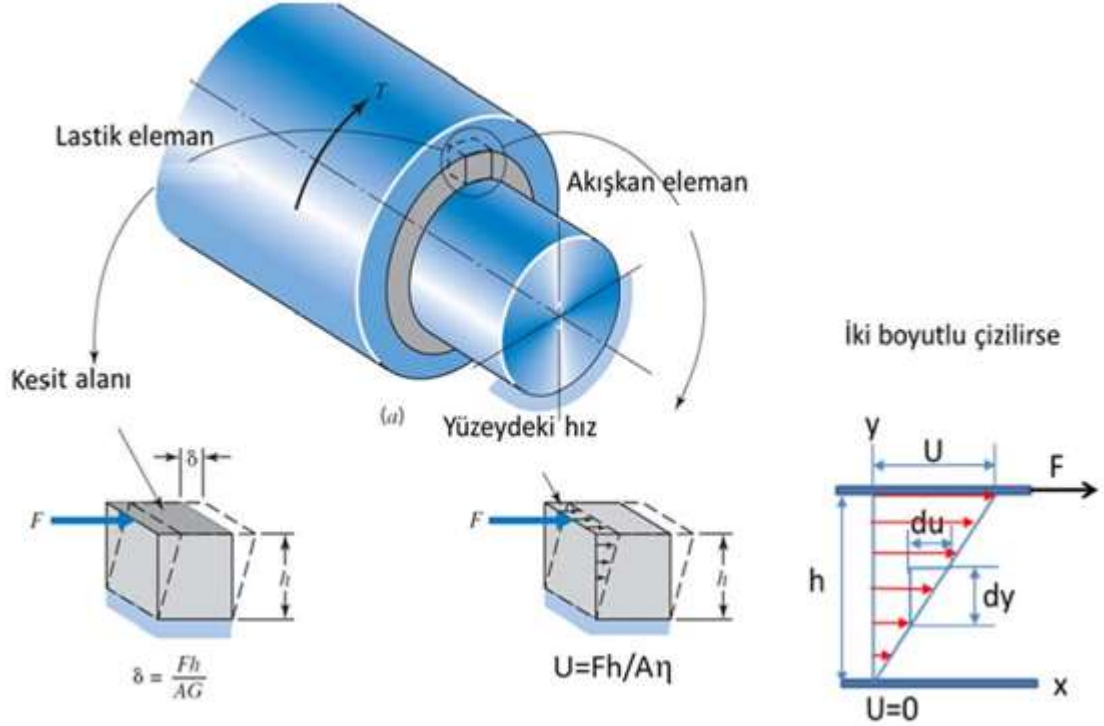
Hidrokinamik yağlama olabilmesi için,

1. İzafi hareket yüzeyleri ayrılabilmesi için gereklidir.
2. Yatağın iç duvarına doğru muylunun çıkması
3. Uyumlu bir yağ seçimi

Yatağın içinde sınır yağlamasını Motor krank mili dönerek oluşturur. Yatağa gelen kuvvet oldukça azdır ama motor çalışınca maksimum seviyeye ulaşır.

### 3.5. Viskozite

Viskozite, sıvı ya da gaz halindeki bir akışkanın biçim değişikliğine karşı gösterdiği dirençtir. Bir başka deyişle, sıvı ya da gaz halindeki bir akışkanın bir bölümünün hemen yanındaki bir bölüme göre yer değiştirmesine karşı gösterdiği dirence viskozite denir. Dilimizde ise akmaçlık olarak da adlandırılır.



Şekil 3.5. Viskozite ve Kayma Gerilmesi Benzerliği ( Anonim,2009)

Şekil 3.5.'deki gibi hareketli silindir ve sabit şaft arasında esneyen madde konulmuş varsayarsak. Bir kuvvet hareketli silindire uygulandığında sabit yer değiştirme esneyen madde de görülür. Newton akışkanıyla esneyen madde farklı yerlere geçerse, yer değiştirme ( $\delta$ ) de sabit bir hız  $U$  yer değiştirmiş olur. Newton kanununun viskoz akışlara uygulamasıdır ve kanun ince film kalınlığı içindeki hız değişiminin düzgün olduğunu kabul eder.

$$\text{Kinematik viskozite} = \frac{\text{viskozite}}{\text{kütle yoğunluğu}} \quad (3.1)$$

birim  $\text{cm}^2/\text{s}$  – stoke – st

Net viskozite, Saybolt viskozite metresinden saniye birimiyle ölçülen değer in Eşitlik (3.2)'ye konulmasıyla elde edilir. Eşitlikte; S zamamı (saniye).

$\eta$  ( *mPa.s veya cp* )

$$= \left( 0.22S - \frac{180}{S} \right) \rho \quad (3.2)$$

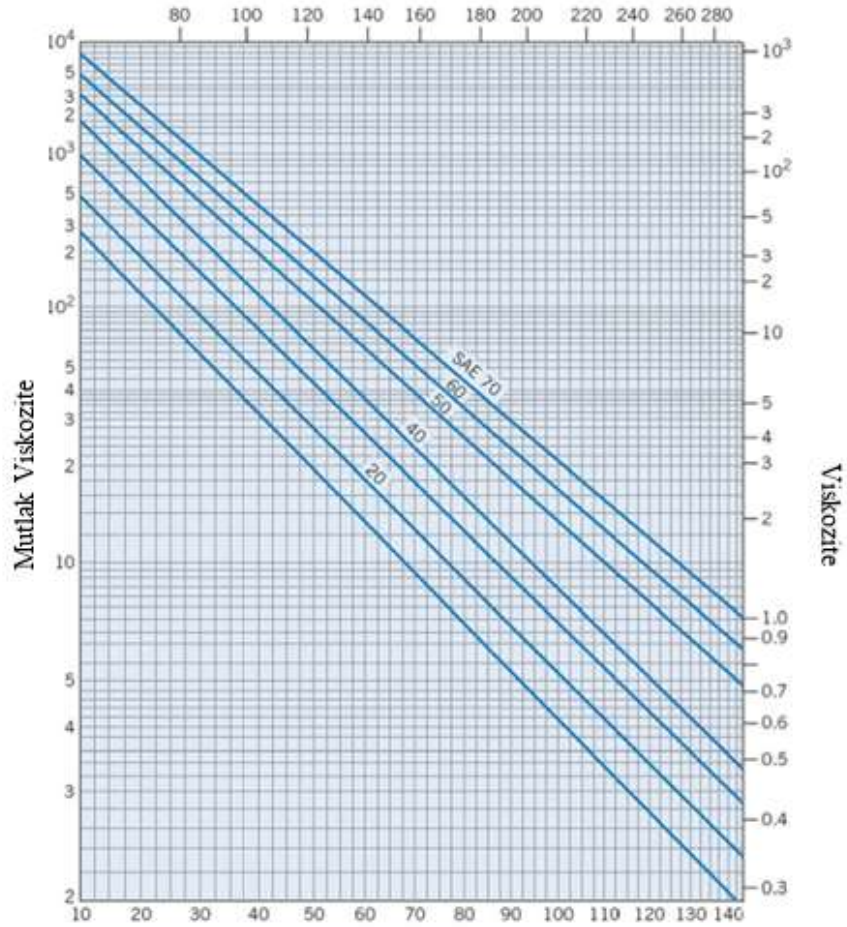
$$\eta (\mu\text{reyn}) = 0.145 \left( 0.22S - \frac{180}{S} \right) \rho$$

$\rho$  gram/santimetre küp ( $\text{g/cm}^3$ ) Petrolden elde edilen yağlar için  $60^\circ \text{F}$  ( $15.1^\circ \text{C}$ ) deki kütle yoğunluğu  $0.89 \text{ g/cm}^3$  dür.

$$\rho = 0.89 - 0.00063(^\circ\text{C} - 15.6) \quad (3.3)$$

$$\rho = 0.89 - 0.00035(^\circ\text{F} - 60) \quad (3.4)$$

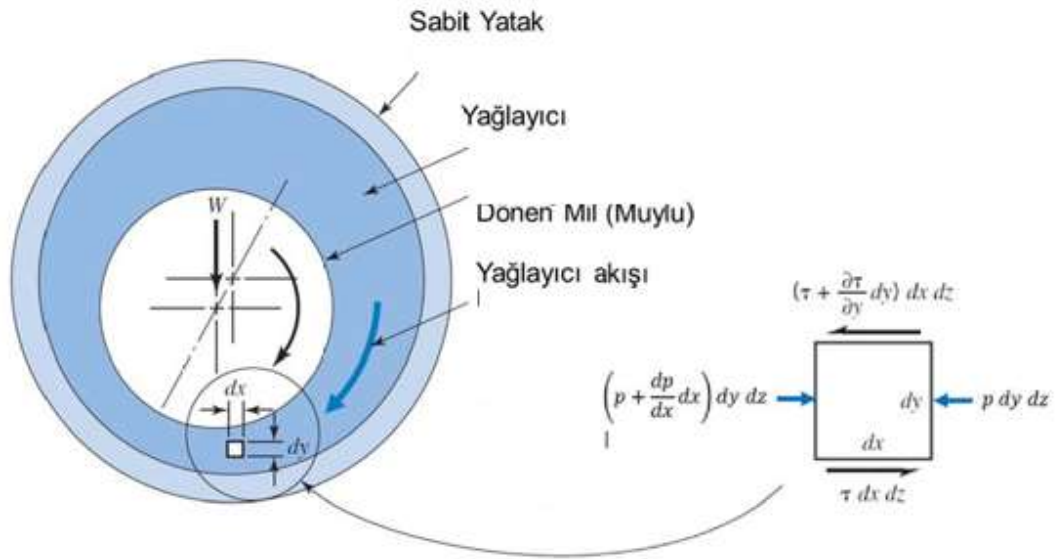
**Tablo 3.1.** SAE yağları için viskozite sıcaklık eğrileri (American National Standart Z11.232)





- Yağ filmi boyunca vizkozite değişmez.
- Eksenelde ise basınç sabittir.
- Z yönündeki yatağın boyu sonsuzdur.
- Y yönündeki basınç değişmez.

Aşağıdaki şekil 3.7 de şekil olarak gösterimi sağlanmıştır.

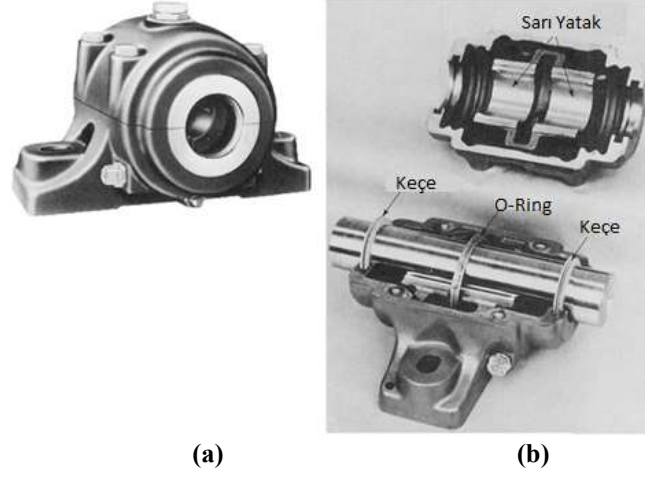


Şekil 3.7. Yağ filmi içindeki herhangi bir yağ zerresi (Anonim, 2013)

### 3.7. Yağlayıcı Temini

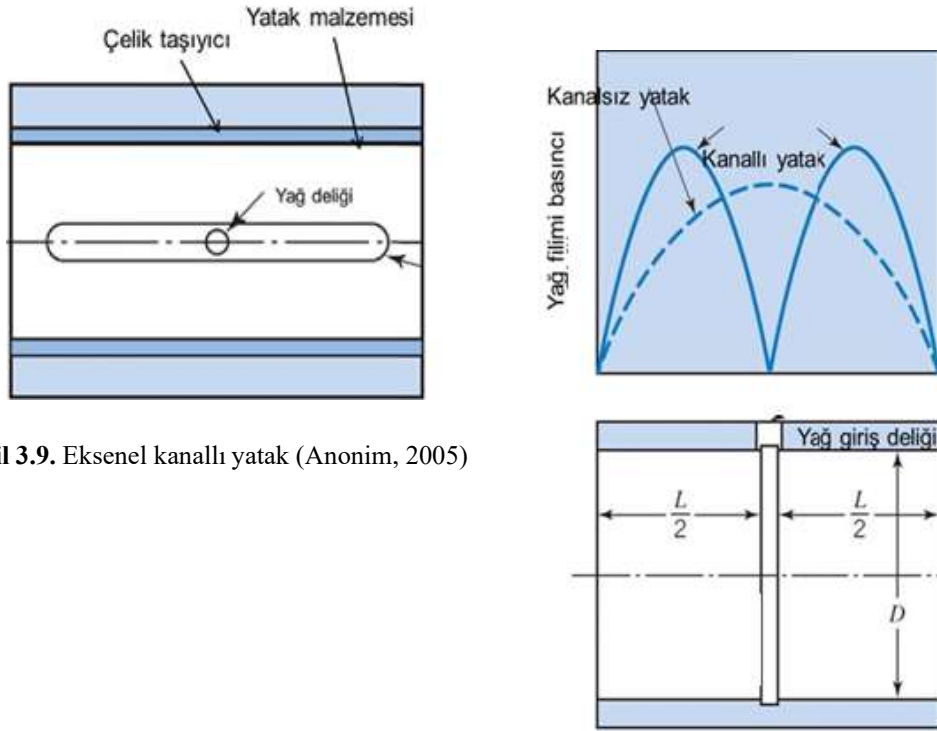
Hidrokinamik yağlamada sızan yağ miktarınca yeni yağın sürekli olarak yatağa kazandırılması gerekmektedir. Mühendisler bu amaca yönelik değişik yatak tasarımları yapmıştır.

**Yağ Halkası:** Milin 1.5 veya 2 katı çapında üretilmiş, milin üzerine serbesttir. Milin döndüğü esnada halka yağı mile taşır.



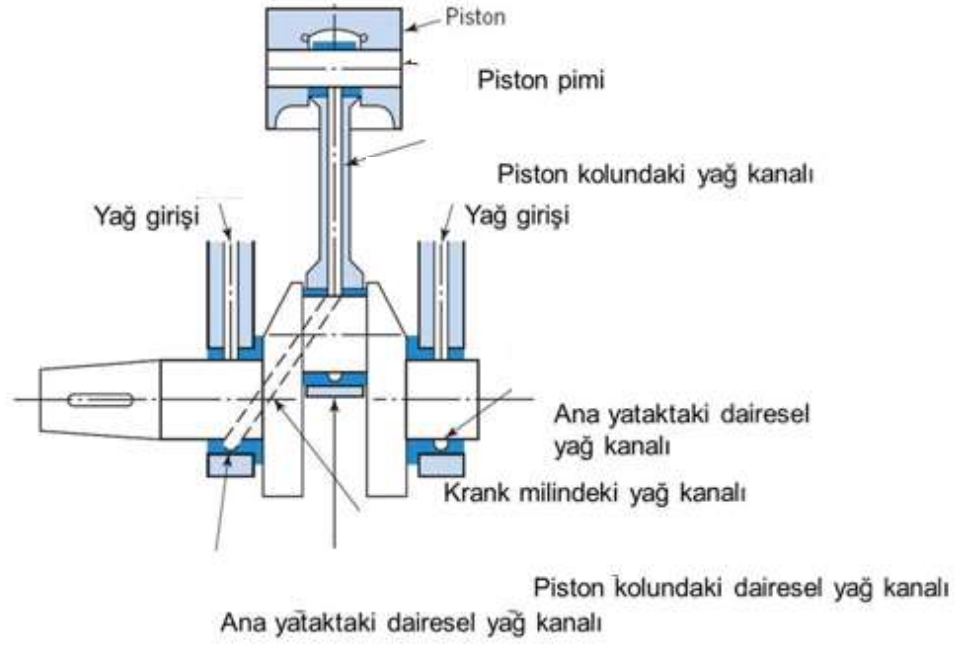
Şekil 3.8. Halkalı yatak (Anonim, 2006)

**Yağ deliği ve Kanalı:** Yağın aksel yayılmasını yağ kanalı sağlar. Yağ basınç ya da yer çekimi ile iner. Yatak silindire ikiye ayrılmıştır iki taraf da L/D oranına sahiptir. Bunların şekilsel gösterimi şekil 3.10 ve 3.11 de gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Aksel kanallı yatak (Anonim, 2005)

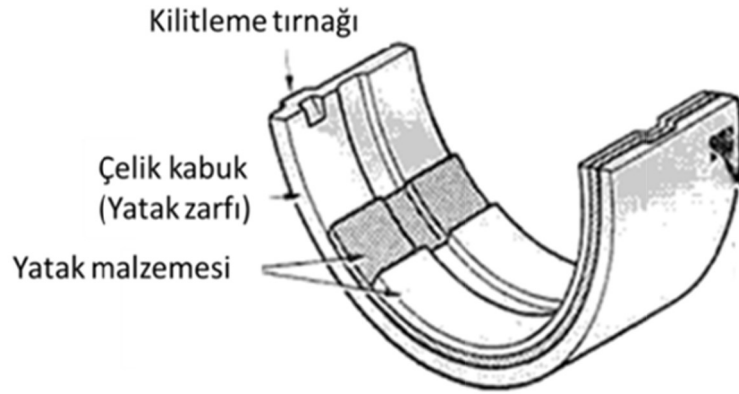
Şekil 3.10. Silindir kanallı yatakta basınç dağılımı (Anonim, 2005)



Şekil 3.11. Krank milindeki yağ delikleri (Anonim, 2019)

### 3.8. Yatak Malzemeleri

Basma mukavemeti olan yüzeyi düzgün olan metaller yatak malzemesi olarak kullanabilirler.



Şekil 3.12. Tipik kaymalı yatak tasarımı (Anonim, 2002)

**Mekanik özellikler.** Plastik şekil değiştirmesi ve elastik modülü basınçların giderilmesini, yatak malzemesinin yumuşak olması yüzeyin aynı kalmasını, yüzey pürüzlülüklerini min indirmeyi ve yatak dirençlerinin taşınmasını sağlar.

**Isı özellikleri,** Mil dönmeye başlayınca yatakla temas ettiği için, ısı yüzeylerden geçerek yataktan uzaklaştırılır. Mil dönmeye başladığında ise ısı oluşan yağ filmi ve yatak elemanı üzerinden uzaklaştırılır.

Al-Alaşımı Düşük kalaylı	Al 92 Sn 8	Çok fazla kalay mukavemeti azaltır. Çelik yuvalarda ısıl genleşme problemi var. Sert muylu gerektirir. Yüksek sıcaklıklarda iyidir. Dizel motorlar ve kompresörler
Al-Alaşımı Yüksek kalaylı	Al 80 Sn 20	Özel olarak imal edilir ve bu şekilde kalayın mukavemeti düşürmesi önlenir. Otomobillerde krank yatakları, uçaklar tipik uygulamaları
WM- kalay bazlı (Babbitt)	Sn 84, Cu 8 Sb 8	Düşük yük taşıma kapasitesi, genellikle bir taşıyıcı zarfa bağlanır (kırlangıç kuyruğu geçme) kirlili ortamlar için uygun. Motorlar
WM- kurşun bazlı (Babbitt)	Pb 75, Sn 10 Sb 15	Yüksek antimon kırılganlığı artırır. Diğer WM den ucuzdur. Krank yatakları, transmisyon burçları ve elektrikli aletlerde kullanılır.
Kalay bronzu ve kızıl döküm	91,2 Cu 8,5 Sn, 0,3 P	Yüksek sertlik, iyi yağlama gerektirir. Yüksek sıcaklığa ve korozyona dayanıklı. Arazi araçları, biyel yatakları
Kurşun bronzu	Cu 70 Pb 25, Sn 5	Yüksek hız ve büyük yük uygulamaları için uygun. Yumuşak muylularla kullanılabilir. Pompalar, ev aletleri, demiryolu taşıtları
Fosfor bronzu	Cu 80 Sn 10 Pb 10	Yüksek sertlik. İyi darbe dayanımı. Takım tezgahları, pompalar, ev aletlerinde yaygın olarak kullanılan popüler bir malzemedir.
Bakır –kurşun Alaşımı (Döküm)	Cu 75 Pb 25	Ana matris bakırdır. Kurşun yük taşıma kabiliyetini artırır ancak korozyon problemi oluşturur. Ağır yüklü uygulamalar.
Bakır –kurşun Alaşımı (Sinter)	Cu 75 Pb 25	Üç metalli yatak malzemelerinde WM nin alt tabakasını oluşturur. Yüksek sıcaklık ve ağır yüklü uygulamalarda kullanılır.

Şekil 3.13. Alaşımların özellikleri (Anonim, 2015)

1. Yüksek adeziv bağları olmalı.
2. Sıcaklıkta sertliğini korumalıdır.
3. Yüzeyi düzgün ayrıca imalatı da kolay olmalı.
4. Isı iletkenliği iyi olmalı.
5. Dayanıklılığı korozyonda fazla olmalı.
6. Yoğunluğu az olmalı.

Hidrodinamik spindile uygulamamızda CuSn14 kalay bronzu kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal analizi % değerler olarak aşağıdaki gibidir.

Bakır (Cu)	: %83,70
Kalay (Sn)	: %13,20
Çinko (Zn)	: %1 max.
Kurşun (Pb)	: %1 max.
Nikel (Ni)	: %2 max.
Fosfat (P)	: %0,4 max.

### 3.9. Hidrodinamik Yatak Tasarımı

**Birim Yükleme:** Tablo 3.2’de yataklar için seçilen birim yüklerin uygulama yerine göre seçimi verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Uygulandığı yere göre yatak birim yükleri (Anonim, 2009)

Uygulama Application	Unit Load, $P = W_{max}/LD$	
	MPa	psi
<i>Yaklaşık sabit yükler</i>		
Elektrik motoru	0.8–1.5	120–250
Buhar türbini	1.0–2.0	150–300
Dişli kutusu	0.8–1.5	120–250
Santrifüj pompa	0.6–1.2	100–180
<i>Hızlı değişen yükler</i>		
Dizel motorlar		
Ana yatak	6–12	900–1700
Piston kolu yatağı	8–15	1150–2300
Otomatik benzinli motorlar		
Ana yatak	4–5	600–750
Piston kolu yatağı <sup>1</sup>	10–15	1700–2300

**Yatak Oranı:** Genelde  $L/D$  oranı 0,25 -0,75 arasında değişir.  $L/D$  oranının çok olması yatak kenarlarından sızan yağı azaltır çünkü yatağın boyu uzar. Yağ kullanımını azalır ama yağ uzun süre kalırsa fazla ısınır.

**Kabul Edilebilir  $h_o$  Kalınlığı:** Min. film kalınlığı, yüzey pürüzlüğüne bağlıdır.

Trumpler'in formülü;

$$h_o \cong 0.0002 + 0.00004D \text{ (} h_o \text{ ve } D \text{)} \quad (3.5.)$$

veya

$$h_o \cong 0.005 + 0.00004D \text{ (} h_o \text{ ve } D \text{)} \quad (3.6.)$$

**Tolerans Oranı ( $c/R$  veya  $2c/D$ ):**

Mil çapı 25 mm'den 150 mm = 0,001

Genelde = 0,002

Kötü tasarımlar için 0,004

Yatak tasarımı maddeleri;

1. Kalın-film yağlamasını oluşturacak şekilde min yağ filmi olmalıdır.
2. En düşük sürtünme uygun bir film kalınlığında sağlanmalıdır.
3. Yağ yatak girişinde hazır olmalıdır ki pompalı sistem ve yağ soğutucu gerektirebilir.
4. Yağın kabul edilebilir değerlerden az olması gereken maksimum sıcaklığı vardır.
5. Yatak boyunca yağ düzgü bir şekilde dağılmalıdır.
6. Yatak için çalışma sıcaklığında gerekli direnci sağlayacak, yeteri kadar elastikliğe ve korozyona karşı dayanıma sahip malzeme seçilmelidir.
7. Yatak içinde dönen milin kuvvetleri hesaplanmalıdır. İki durumda da yatak basıncı 2 MPa veya 300 psi altında kalmalıdır.
8. Isıl genişlemeye bağlı aşınmaya da dikkat edilerek çalışma toleransına bakılmalıdır.
9. Yatak için çalışma sıcaklığında gerekli direnci sağlayacak, yeteri kadar elastikliğe ve korozyona karşı dayanıma sahip malzeme seçilmelidir.
10. Yapılan tasarım düzgün olmayan yatak yerleşmesinden ve milin eğilmesinden kaynaklanan yükleri taşıyabilmelidir.

### 3.10. Reynolds Eşitlikleri

Minimum film kalınlığı:

$$h_0 = c - e$$

Maksimum film kalınlığı:

$$h_{max} = c + e$$

$$\Delta r = R - r = c$$

$h$  film kalınlığı, yatak geometrisi büyüklükleri ve bağıntıları kullanılarak genel ifade olarak:

$$h = R - r + e \cdot \cos\theta = c + e \cdot \cos\theta$$

$$dh/d\theta = -e \cdot \sin\theta = 0$$

Minimum film kalınlığı:

$$\theta = 0$$

Maksimum film kalınlığı:

$$\theta = \pi$$

$$h = c (1 + \varepsilon \cdot \cos\theta)$$

$\varepsilon$ : mevcut yağ filmini belirten boyutsuz büyüklük

$$\varepsilon = e/c = e/\Delta r$$

Metal-metal teması var ise:

$$\varepsilon = 1$$

$$\frac{\partial}{r^2 \partial \theta} \left( (h^3) \left( \frac{\partial P}{\partial x} \right) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial z} \right) \left( (h^3) \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right) \right) = 6\delta U \left( \frac{1}{r} \right) \left( \frac{\partial h}{r \partial \theta} \right) \quad (3.7)$$

Yağ tabakasındaki basıncın başlangıç ve bitiş değerleri için;

Sommerfeld  $\theta_i = 0$  ve  $\theta_f = 2\pi$

Yarı Sommerfeld  $\theta_i = 0$  ve  $\theta_f = \pi$

Reynolds  $\theta_i = 0$  ve  $P = 0$  ve  $dP/d\theta = 0$

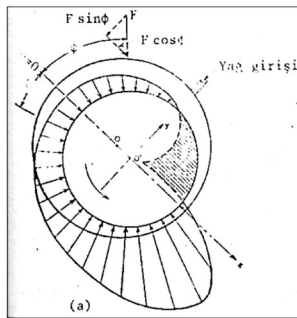
Hidrodinamik sıvı sürtünmesi genel Eşitliği:

$$\frac{\partial}{r^2 \partial \theta} \left( (h^3) \left( \frac{\partial P}{\partial x} \right) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial z} \right) \left( (h^3) \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right) \right) = 6\delta U \left( \frac{1}{r} \right) \left( \frac{\partial h}{r \partial \theta} \right) \quad (3.8)$$

Sommerfeld sınır şartları yazıldığında, basınç ifadesi;

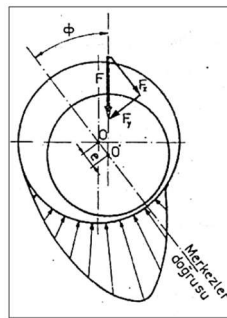
$$P = P_0 + \frac{\delta U r}{c^2} \left( \frac{6\epsilon \sin\theta (2 + \epsilon \cos\theta)}{(2 + \epsilon^2)x(1 + \epsilon \cos\theta)^2} \right) \quad (3.9)$$

Sommerfeld



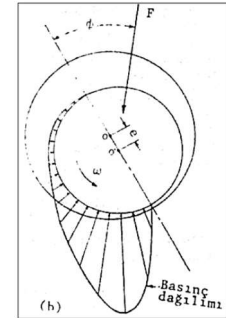
(a)

Yarı Sommerfeld



(b)

Reynolds



(c)

Şekil 3.14. Sommerfeld gösterimleri (Anonim, 2002)

Yük Taşıma Kapasitesi

$$W_x = B \int_0^{2\pi} r. d\theta. P. \cos \theta \quad (3.10)$$

$$W_y = B \int_0^{2\pi} r. d\theta. P. \sin \theta \quad (3.11)$$

$$W_y = \frac{\eta. U. B. r^2}{c^2} \frac{12. \mu. \varepsilon}{(2 + \varepsilon^2). (1 + \varepsilon^2)^{1/2}} \quad (3.12)$$

Bu Eşitlik 3.12 düzenlenirse,

$$\frac{W}{B. D} = \frac{n}{(c/r)^2} \frac{12. \pi^2. \varepsilon}{(2 + \varepsilon^2). (1 + \varepsilon^2)^{1/2}} \quad (3.13)$$

Ortalama yatak yüzey basıncı  $P_m$ :

$$P_m = \frac{W}{B. D} \quad (3.14)$$

İzafi yatak boşluğu,

$$\psi = \frac{\Delta r}{r} = \frac{c}{r} = \frac{\Delta D}{D} \quad (3.15)$$

Sommerfeld Sayısı,

$$S = \frac{\eta. n}{P_m. \psi^2} \quad (3.16)$$

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Test Metodu

Bu tez çalışmasında imalatı gerçekleştirilen deney düzeneğinin etkin çalışması sağlandıktan sonra aşağıda belirtilen farklı parametrik verilere bağlı olarak radyal kaymalı yatakların testleri ve optimize edilmesi sağlanmıştır. Üretimi yapılan test düzeneği ile kaymalı yataklara ait üretim süreç parametrelerinin, yağ miktarının ve yağ kalitesinin optimize edilmesi çalışmaları yürütülmüştür. Aşağıda yapılan bu testlerde mevcut üretimde kullanılan parçaların aşağıdaki özellikleri parametrik olarak revize edilmeye çalışılmıştır. Üretimi yapılan test düzeneği ile hidrodinamik radyal kaymalı yataklarda ayrıca yük miktarı ve hız gibi faktörlerin meydana gelen basınç dağılımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi çalışmaları yürütülmüştür.

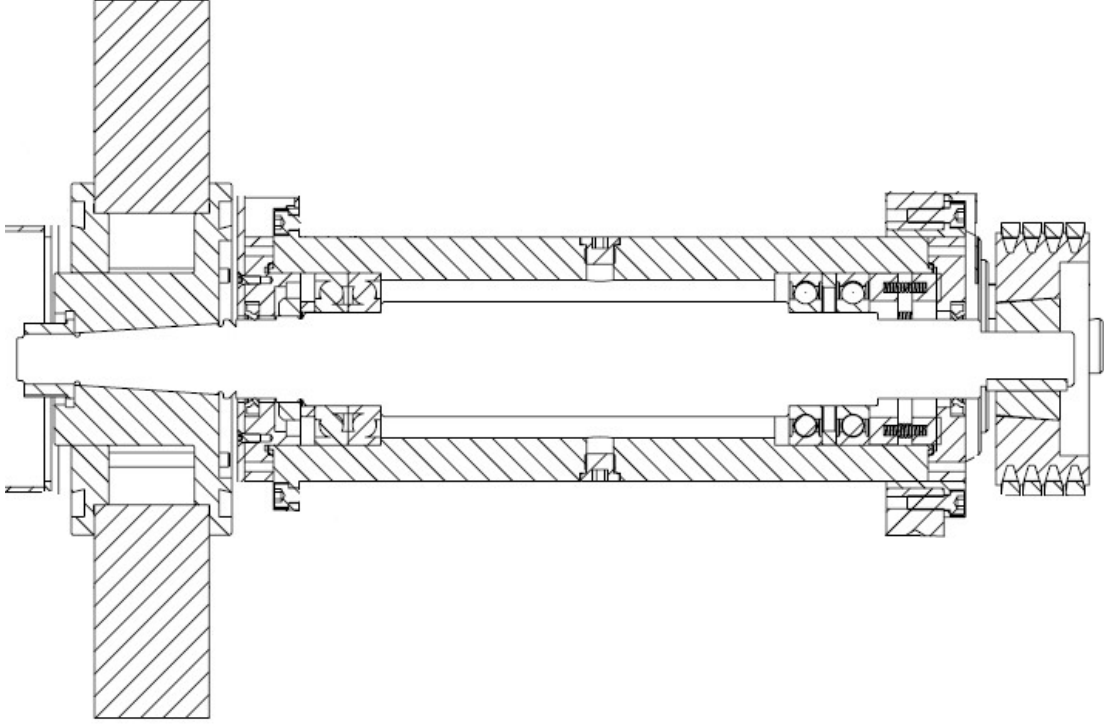
Dönen salınım hareketi yapan veya hareketsiz duran mil ve aks muylularını taşıyan elemanları yatak adı verilir. Yüzeyler arasındaki hareketin oluş şekline göre yatakları iki temel gruba ayırmak mümkündür. Yatak yüzeyleri arasındaki hareket kayma şeklinde ise kaymalı yataklar, hareketi temin eden elemanların yuvarlanması şeklinde ise yuvarlanmalı yatakları taşıdıkları yükün etki doğrultusuna göre radyal ve aksel yataklar olarak iki şekilde ele alınır. Radyal yatak aksine dik doğrultuda gelen yükleri taşıyan yataklardır. Yatak aksine paralel doğrultudaki yükleri taşıyan yataklar ise aksel yataklar adı verilir. Kaymalı yataklar yağlama bakımından hidrodinamik ve hidrostatik kaymalı yataklar olmak üzere iki şekil de göz önüne alınır.

### 4.2. Deney Düzeneği

Radyal hidrodinamik kaymalı yataklarda yük miktarı radyal boşluk ve hız gibi faktörlere bağlı olarak meydana gelen basınç dağılımı, sürtünme momenti yağ sıcaklığı ve mil konumunun belirlenebilmesine olanak veren hidrodinamik yağlama sistemidir. Ayrıca kaymalı yatağın üzerindeki belli noktalarda basınç dağılımı hız, yük ve viskozite gibi önemli değişkenler yardımıyla tespit edilebilmektedir.

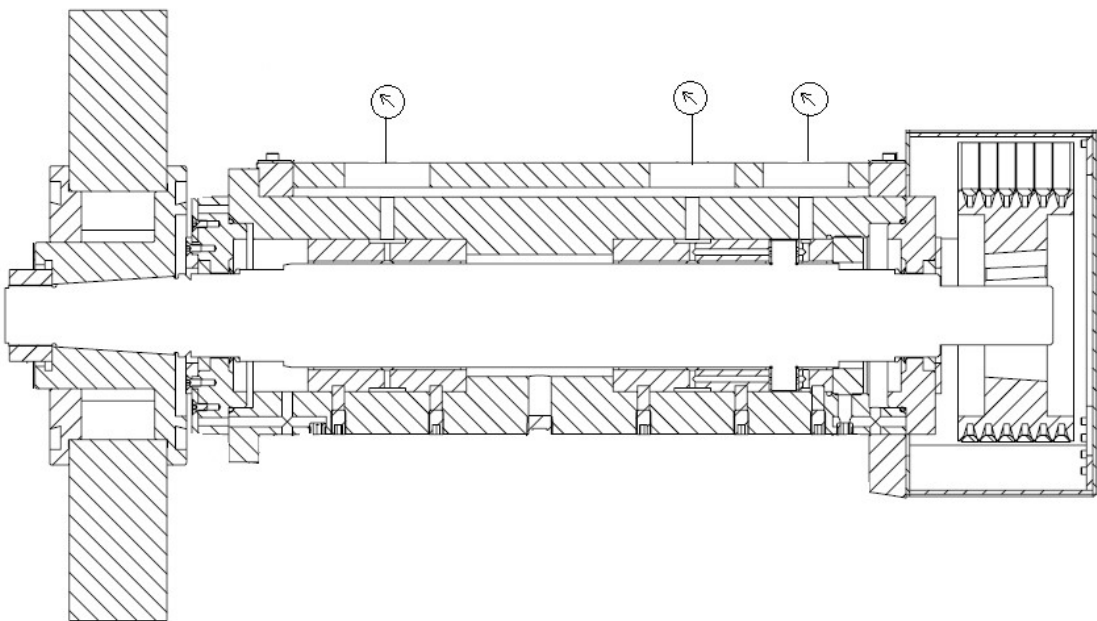
### 4.3. Rulmanlı Sistem Düzeneği ile Hidrodinamik Yataklamalı Sistem Düzeneğinin Karşılaştırılması

Rulmanlı yataklama sisteminin şematik gösterimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.1. Rulmanlı yataklamanın şematik gösterimi (Yenar Döküm San., 2014)

Hidrodinamik yataklama sisteminin şematik gösterimi aşağıdaki gibidir.



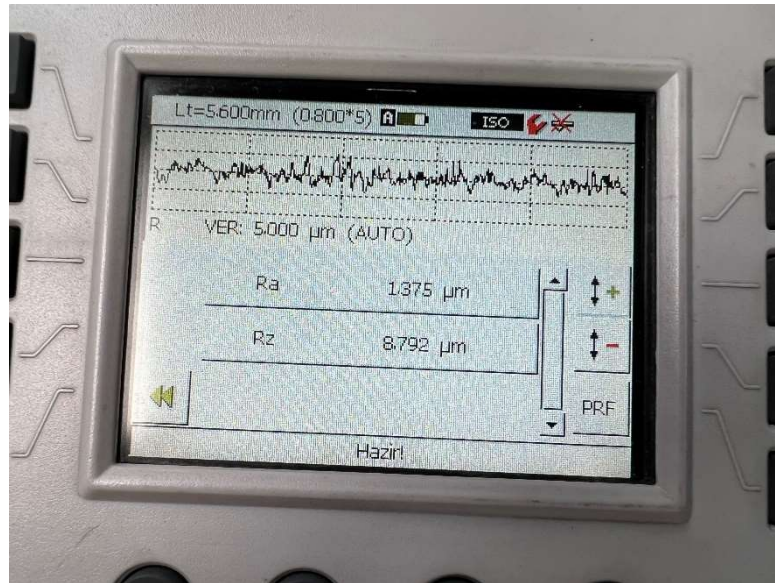
Şekil 4.2. Hidrodinamik yataklamanın şematik gösterimi (Yenar Döküm San., 2022)

#### 4.3.1. Yüzey Kalitesi Seviyesinin Karşılaştırılması

Rulmanlı yataklamalı sistemde fener milinin belirli bir süre çalışmasından sonra, milin rezonansa girmesi ve titremesinden kaynaklı oluşan yüzey kalitesindeki bozukluklar aşağıdaki resimler ile gösterilmiştir. Ölçümlerin sonucunda, rulmanlı yataklamalı sistemde işlenen vals topunun Ra yüzey pürüzlülük değeri  $0,8 - 1,3 \mu\text{m}$  civarlarındadır. Bu değer aynı şekilde hidrodinamik yataklamalı düzenekte  $0,3 - 0,5 \mu\text{m}$  değerlerine inmiştir.



Şekil 4.3. Rulmanlı yataklama ile taşlanan vals topunun yüzey kalitesi (Yenar Döküm San., 2022)



Şekil 4.4. Rulmanlı yataklama ile taşlanan vals topunun sol tarafındaki yüzey pürüzlülük değeri  $1,375 \mu\text{m}$  (Yenar Döküm San., 2022)



Şekil 4.5. Rulmanlı yataklama ile taşlanan vals topunun orta kısımdaki yüzey pürüzlülük değeri 1,14  $\mu\text{m}$   
(Yenar Döküm San., 2022)



Şekil 4.6. Rulmanlı yataklama ile taşlanan vals topunun sağ taraftaki yüzey pürüzlülük değeri 1,21  $\mu\text{m}$   
(Yenar Döküm San., 2022)

### 4.3.2. Kararlılık Analizi

Rulmanlı yataklamada istenilen 35 m/s – 45 m/s arası kesme kuvveti yakalanmış olmasına rağmen üzerinde diş olan vals toplarına karşı kararlı ve gcl bir kesim etkisi olmaması ve yüzeyde titreşimlerin oluşmasından dolayı yüzeyde bozukluklar oluşur.



şekil 4.7. Rulmanlı yataklama ile taşlanan vals topunun sol taraftan 430 mm ötedeki bölgesinde titreşimden dolayı oluşan yüzey bozukluğu (Yenar Döküm San., 2022)



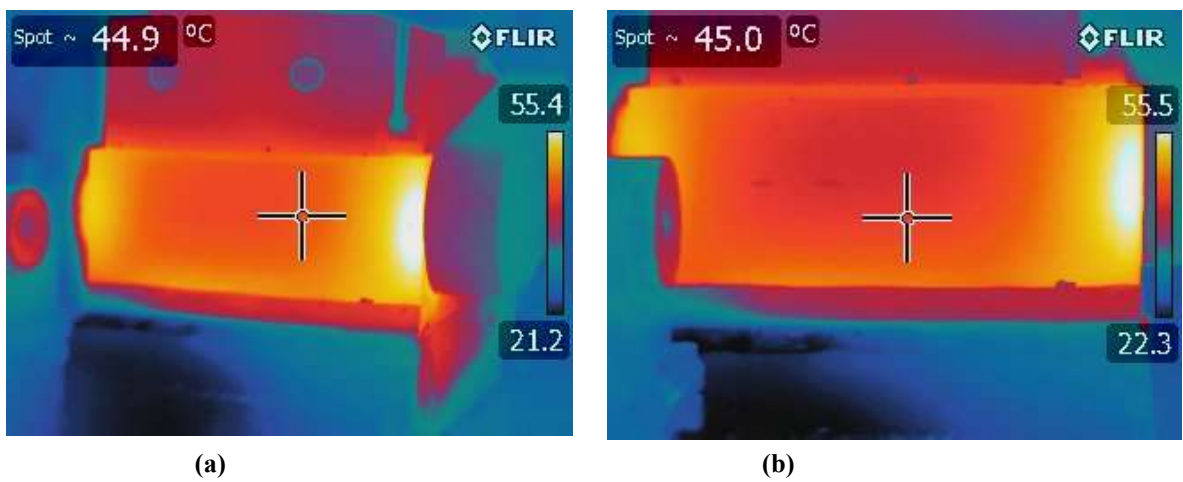
şekil 4.8. Rulmanlı yataklama ile taşlanan vals topunun yüzeyinde çokgenlerin oluşması ve silindiriklik yapının bozukluğu (Yenar Döküm San., 2022)



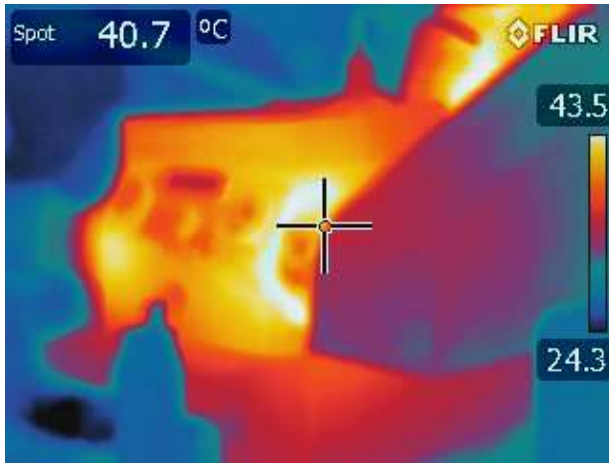
**Şekil 4.9.** Rulmanlı yataklama ile taşlanan başka bir vals topunun orta kısmındaki titreşimden dolayı oluşan yüzey bozukluğu (Yenar Döküm San., 2022)

### 4.3.3. Sıcaklık Karşılaştırması

Aynı ortamda bulunan rulmanlı yataklama ve hidrodinamik yataklamalı spindle düzeneklerin de aynı operator ile, aynı ölçüdeki 4 adet vals değirmen topu taşıma operasyonu sonrasında fener mili gövdesinde ölçülen sıcaklık değerleri aşağıdaki gibidir.



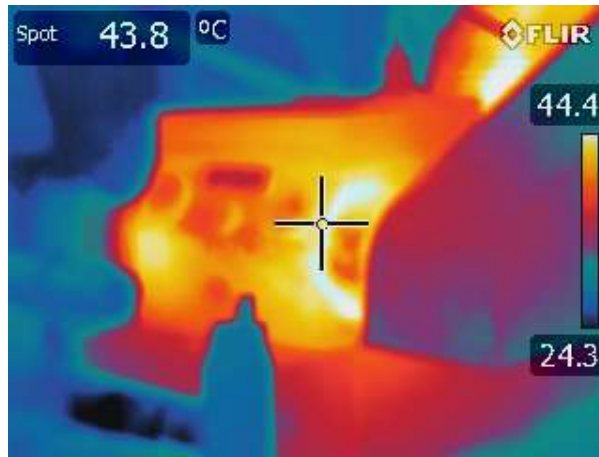
**Şekil 4.10.** Rulmanlı yataklama spindle gövdesindeki sıcaklık değeri ortalama 55°'dir. (Yenar Döküm San., 2022)



(a)



(b)

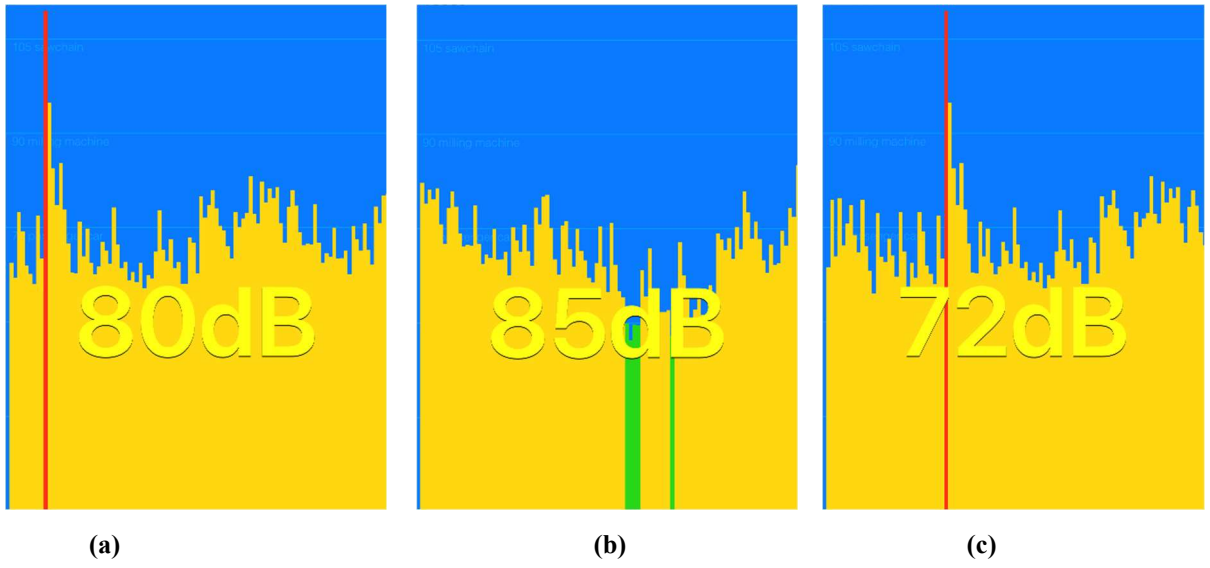


(c)

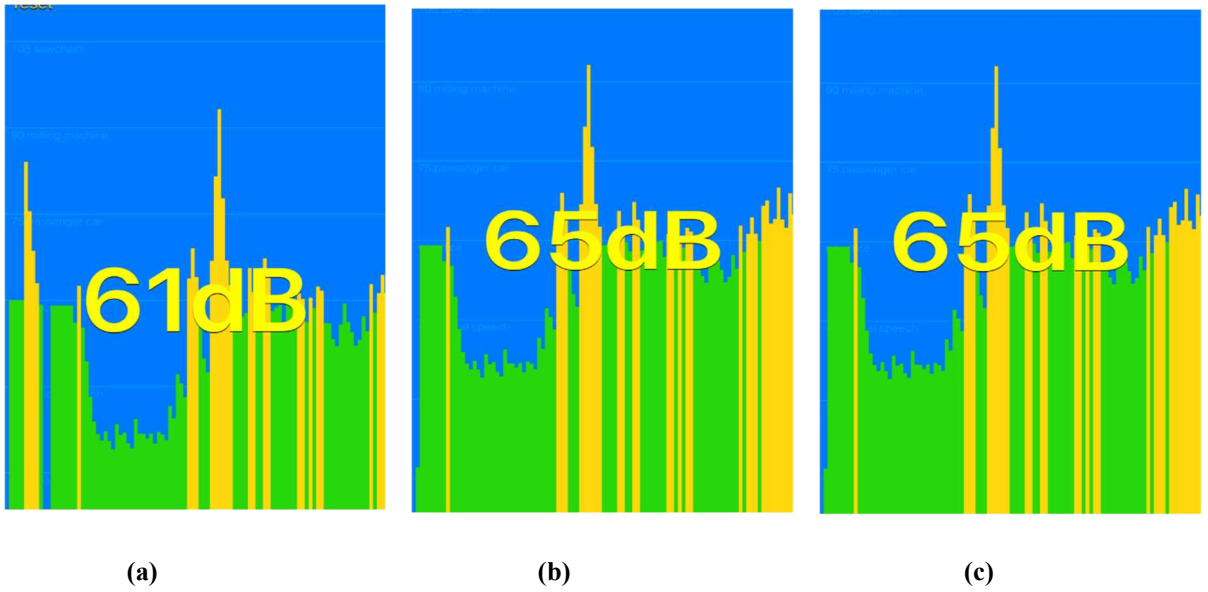
Şekil 4.11. Hidrodinamik kaymalı yataklama sistemindeki spindle gövdesindeki sıcaklık değeri ortalama 45°dir. (Yenar Döküm San., 2022)

#### 4.3.4. Gürültü Karşılaştırması

Aynı ortamda bulunan rulmanlı yataklama ve hidrodinamik yataklamalı spindle düzeneklerin çalışma esnasında çevreye oluşturdukları ses şiddetleri desibel birimleri olarak aşağıda verilmiştir.



**Şekil 4.12.** Rulmanlı yataklama sistemi çalışırken 3 farklı noktastından ölçülen desibel birimleri ortalama 79'dur. (Yenar Döküm San., 2022)



**Şekil 4.13.** Hidrodinamik kaymalı yataklama sistemi çalışırken 3 farklı noktastından ölçülen desibel birimleri ortalama 64'dür. (Yenar Döküm San., 2022)

#### 4.3.5. Bakım ve Onarım Karşılaştırması

Son kullanıcı tarafından gelen, geri bildirimler göz önüne alındığında servis raporlarına göre son bir sene içerisinde rulmanlı yataklamalı sisteme sahip olan makinaların, hidrodinamik yataklamalı sisteme sahip olan makinalara göre 3 kat fazla bakım tekrarı gerektirdiği gözlemlenmiştir.

#### 4.3.6. Spindle Mıyılı Karşılaştırması

Hidrodinamik kaymalı yataklama tasarımı yapılırken mevcutta bulunan rulmanlı yataklama düzeneğine göre spindle mıyılı shaftın yarıçapı 80 mm'den 100 mm' e çıkarılmıştır.

#### 4.3.7. Taşlama Taşı Karşılaştırması

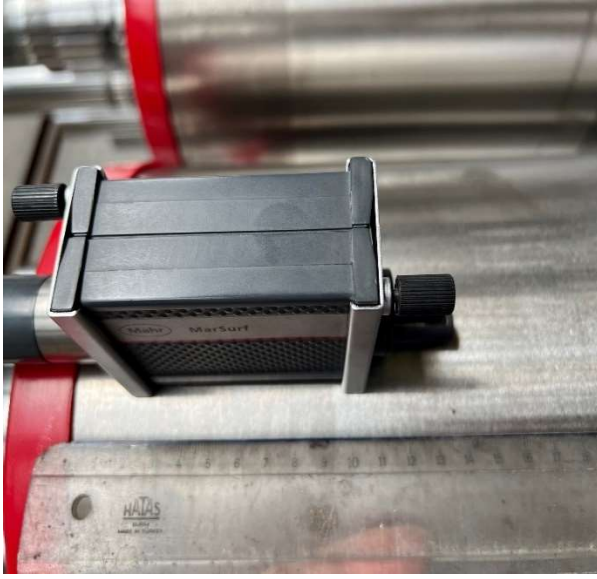
Hidrodinamik kaymalı yataklama düzeneğinde taşlama taşının çapı rulmanlı yataklama düzeneğine göre 500 mm'den 600 mm'ye çıkarılmıştır. Böylelikle taşın çevresel hızı arttırılmıştır ve daha düşük yüzey pürüzlülüğü veriler elde edilmiştir.



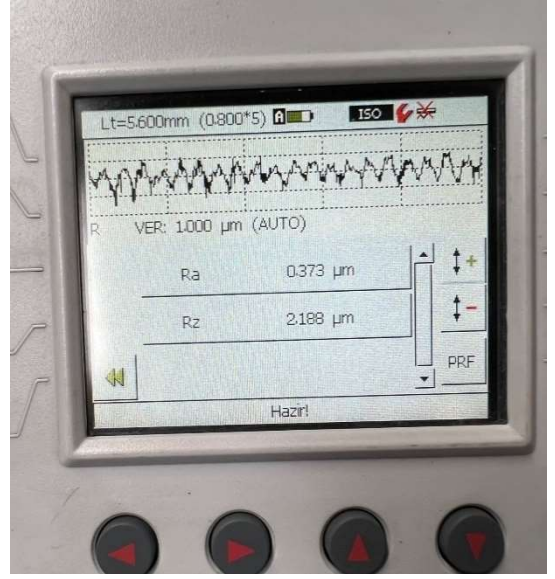
(a)

(b)

**Şekil 4.14.** Hidrodinamik kaymalı yataklama ile taşlanan vals topunun orta bölümündeki yüzey pürüzlülük değerleri 0.287 µm okunmuştur. (Yenar Döküm San., 2022)



(a)



(b)

Şekil 4.15. Hidrodinamik kaymalı yataklama ile taşlanan vals topunun sol bölümünden 100 mm ötesinde yüzey pürüzlülük değerleri 0.373 µm okunmuştur. (Yenar Döküm San., 2022)



Şekil 4.16. Hidrodinamik kaymalı yataklama ile taşlanan vals topunun sağ bölümünden 100 mm ötesinde yüzey pürüzlülük değerleri 0.4 µm okunmuştur. (Yenar Döküm San., 2022)

#### 4.4. Hidrodinamik Yataklama Test Düzenineğin Temel Özellikleri

Şeffaf yağ hortumlar yardımıyla yatağın bütün noktalarındaki yağ gözlemlenebilmektedir. Yatak üzerindeki ayrı ayrı noktadaki basınç dağılımı manometre sistemi ile tespit edilmiştir. Çeşitli yükler ve hızlar altında çalışmak mümkündür. Deney cihazında çelik bir mil, bronz bir yatak ve bir servo motoru bulunmaktadır. Kontrol panosu ile motora bağlı milin devir sayısı ayarlanabilmekte ve motor istenilen yönde mili döndürebilmektedir. Motor hızı kontrol paneli üzerindeki göstergeden okunabilmektedir.

##### 4.4.1. Basınçlı Yağlama Sistemi

Bir yağ silindirini pnömomatik olarak ileri geri çalıştıran çift etkili bir silindirden ibarettir. Devredeki çek valfler silindirin her iki strokta pompalamasına olanak vermek için kullanılır. Evrede bulunan 8 barlık hidrodinamik besleyici pompalama stroku değişirken sistemin basıncını korur. Ayrıca devrede kaymalı yatak ve hidrostatik yastığın besleme basıncını yaklaşık olarak kaymalı yatakta 1,5 bar hidrostatik yastıkta 16 bar değerinde sınırlandıran iki adet basınç emniyet valfi vardır. Kaymalı yatak ve hidrostatik yastıktan sızan yağlar toplanma tablasından tekrar tanka geri döner.



Şekil 4.17. Basınçlı yağlama sistemi

#### 4.4.2. Hız kontrol ünitesi

Hız kontrolü 0/2000 dev/dk aralığında hızı ayarlanabilen bir hız değiştirilebilir kontrol ünitesi ile yapılmaktadır. Bunun için ön paneldeki hız kontrol başlığı kullanılır. Hız göstergesinde okunan değer in sağlıklı olabilmesi için ayrıca bir takometre ile kontrol edilmesi gerekir.



Şekil 4.18. Hız kontrol ünitesi

#### 4.4.3. Moment Ölçümü

Milin dönmesiyle oluşa sürtünme momenti eksen i serbestçe dönebilen yatak gövdesine bağlı yay ibre sistemiyle ölçülmektedir. Bu ölçümde milin dönmesiyle serbest olan yatak gövdesi sürtünme momentine eşit bir momentle ters yönde döndürülmektedir.

#### 4.4.4. Basınç Ölçümü

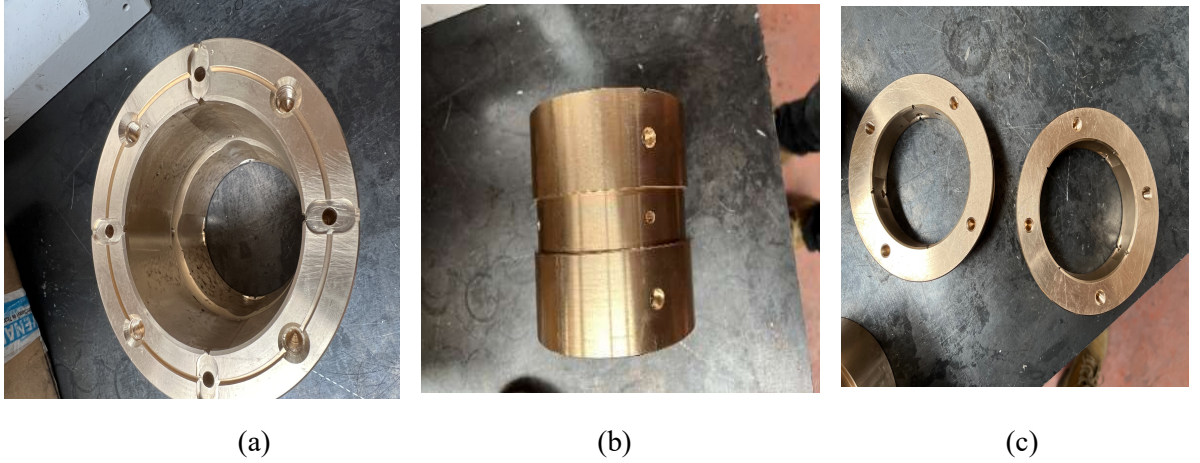
Yağ beslenme basınçlarını gösteren basınçölçerler ön panoda spindle gövdesi yerleştirilmiştir.



Şekil 4.19. Basınç ölçerler

#### 4.4.5. Yataklama

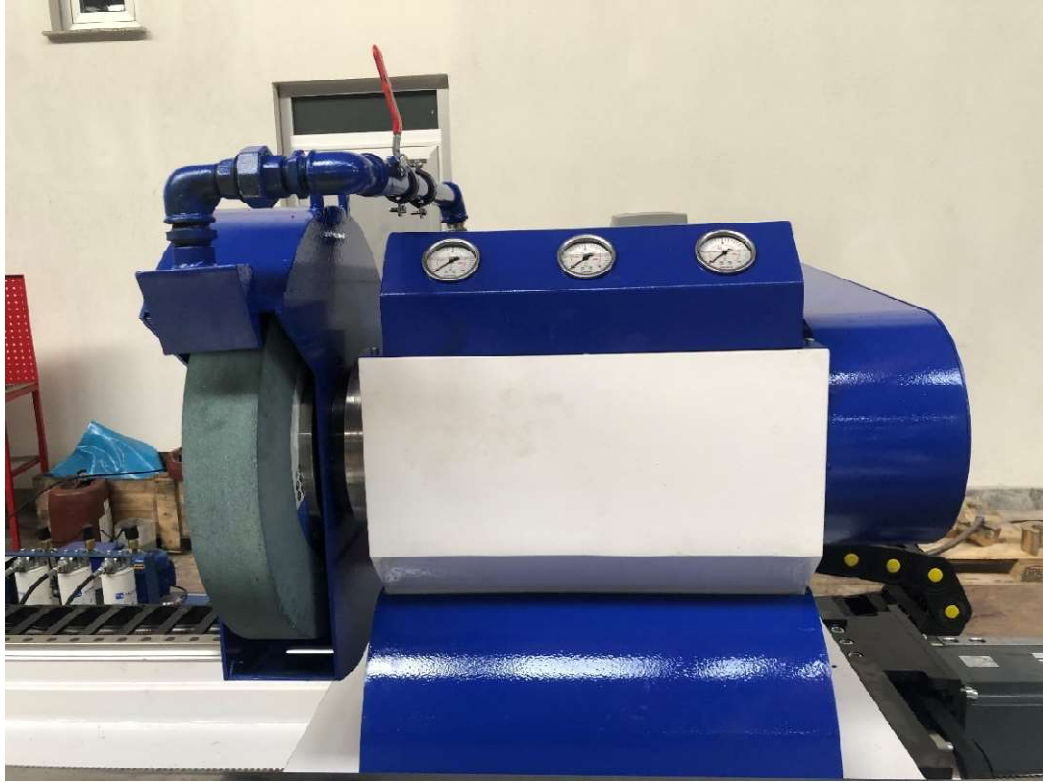
Özel olarak %14 kalay bronz alaşımından yapılmış 2 adet bronz vardır. Bu bronzların içerisine yağ film katsayısı oluşması için kanallar açılmıştır.



Şekil 4.20. %14 kalay alaşımından bronz döküm parçası

#### 4.4.6. Spindle Gövdesi

Sarı yataklar spindle gövdesi ısıtılıp sıkı geçme yapılarak gövdeye yerleştirilmiştir.



Şekil 4.21. Spindle Test Gövdesi

#### 4.4.7. Sonuçlar

Ar-Ge ekibinin problemleri belirlemesi sonucunda Yonar Firması, yapılan prototip silindirik makinesinde spindle mili hidrodinamik yataklama metodu ile yataklanmıştır. Yapılan denemeler sonucu hidrodinamik yataklamanın yüzey kalitesi ve işlem hızı olarak rulmanlı yataklamaya göre çok daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Hidrodinamik yataklamada oluşan yağ filmi talaş kaldırma esnasında oluşabilecek vibrasyonları belli ölçüde sönmüştür. Talaş kaldırma işlemi rulmanlı yataklamaya göre daha kararlı bir yapıya dönüşmüştür. Kararlı yapıda talaş kaldırılması sayesinde daha kısa sürede istenen yüzeye ve ölçüye ulaşılmasını sağlayabilmektedir. Bu yataklama metodu kullanılarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ( $R_a$ )  $0,4 \mu\text{m}$  seviyelerine indirilebilmiştir. Bu seviye sektörde kullanılan vals topları için gayet iyi bir yüzey

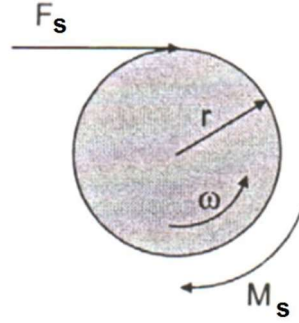
kalitesidir ancak yüzey kalitesini daha iyiye götürmek ve işlem hızını düşürmek, kaliteyi artırmak amaçları önceliklendirilerek yataklama uygulamalarında en farklı ve çözüm odaklı seçenek olan hidrostatik yataklama tasarımına geçilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Bu tip yataklama sayesinde kullanılan malzeme tanımında hemen hemen sonsuz ömür, yüksek hız, yüksek kalite, düşük sürtünme ile beraber az enerji tüketimine ulaşılacağı hedeflenmiş olup bu dönüşüm, proje önerisinin ana fikrini oluşturmuştur.

Hidrostatik yataklama da mil ile göbek arasında yağ basıncı oluşturulduğu için mil, yağ teması vardır. Hidrolik yağların sürtünme katsayıları çok düşüktür. Sürtünmenin olmadığı ortamlarda hareketi sağlamak için kuvvet ihtiyacı da azalır. Bu durum daha düşük güçte motor kullanımı demektir. Ayrıca sürtünme katsayısının düşük olması yüksek hızlara çıkabileceğimiz anlamına gelmektedir. Dönme hareketi esnasında milin yağa temas etmesi demek oluşabilecek her türlü kararsız hareketi ortadan kaldıracakları öngörüsünü ortaya çıkarmaktadır. Çünkü hidrolik yağların hareketleri, darbeleri sönmüleyebilme özelliği vardır. Bu kadar parametre göz önünde bulundurulduğunda hidrostatik yağlama etkinliğindeki yataklamaya geçişin proje önerisine ayrı bir katma değer sağlayacağı öngörüsünde bulunulmuştur.

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 5.1. Sürtünme Kuvvetini Yenecek Momentin Hesabı

Sürtünme kuvveti, milin dönüş yönünün tersi yönünde oluşur.  $r$  yarıçapında  $\omega$  açısal hızı ile dönen şaftta etkiyen sürtünme kuvveti ( $F_s$ ) ve sürtünme kuvvetini yenecek moment ( $M_s$ ) gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Şaftta etkiyen sürtünme kuvveti ve kuvveti yenecek momentin gösterimi

$$M_s = F \cdot a \quad (3.17)$$

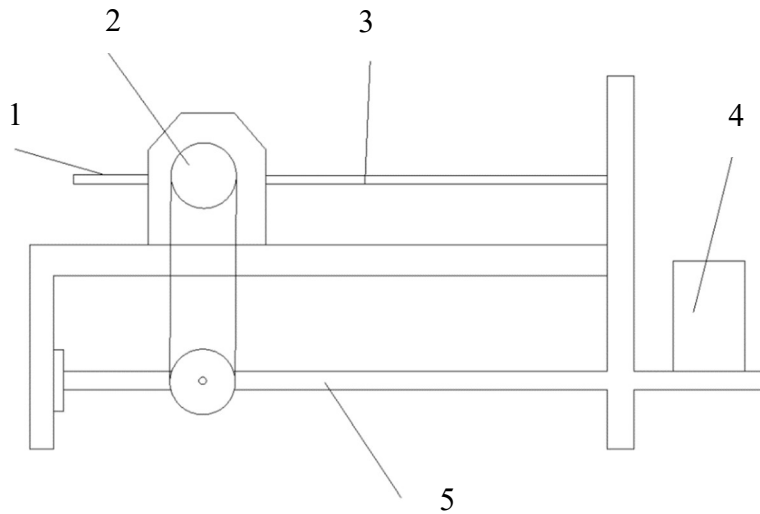
$F$  ; kayar yük (10 N)

$a$  ; şaftta olan mesafe (mm)

$n = 1000$  dev/dak

$a = 120$  mm ( $G = 40$  N takılı ağırlığa karşılık gelen mesafe)

$$M_s = (10) \cdot (120) = 1200 \text{ N} \cdot \text{mm}$$



1. Karşı yükün bağlantı yeri
2. Spindle Mili
3. Cetvel
4. Sisteme takılan ağırlık
5. Yükleme tertibatı

Şekil 5.2. Sistem düzeneğinin şematik gösterimi

## 5.2. Sürtünme Kuvveti Hesabı

$r = 20$  mm sabit mil yarıçapı bilindiğine göre, sürtünme kuvveti yapılan her deney için aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$F_s = (1200)/(60) = 60 \text{ N} \quad (3.18)$$

olarak bulunur.

**Tablo 5.1.** Sürtünme kuvveti  $F_s$

Şaftın dönüş hızı (dev/dk)	Radyal Yükleme (N)				
	G = 0	G = 20	G = 40	G = 100	G = 200
500	4.30	4.7	5	6.6	8.1
1000	8.70	9.4	9.9	12	13.7
1500	11.2	11.7	11.3	13.5	16.1
2000	11.6	12.6	13.1	14.9	16.4
2500	11.7	12.6	13.2	15.3	16.7

## 5.3. Sürtünme Katsayısı Hesabı

Sürtünme kuvvetinin yatağa etkileyen toplam kuvvete ( $F_T$ ) bölünmesi ile sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) hesaplanır.

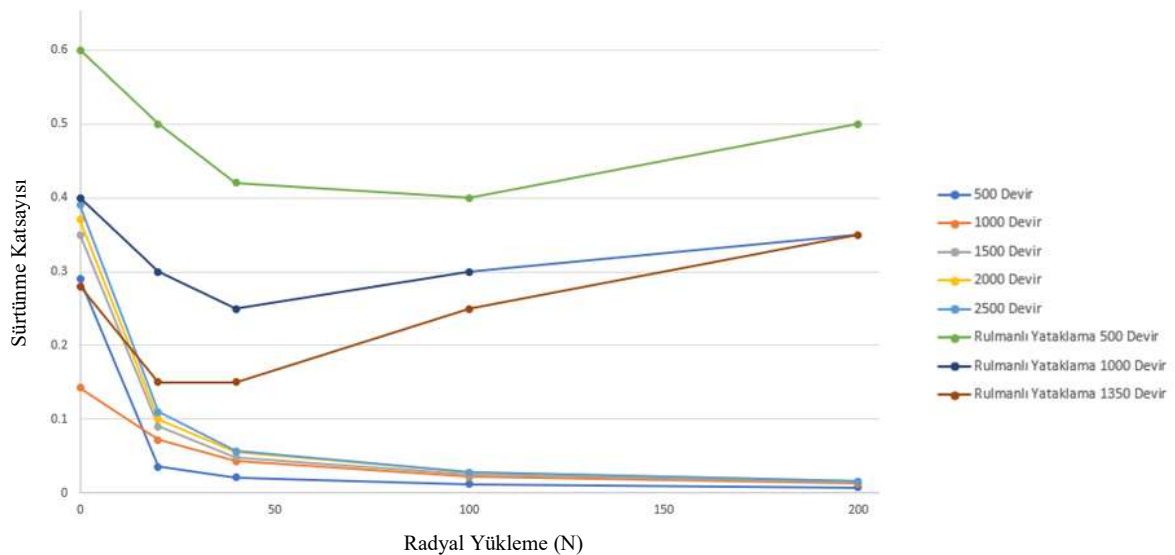
Yatağa etkileyen toplam kuvvet ( $F_T$ )

$$F_T = F_0 + 5. G \quad (3.19)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada,  $F_0 = 30 \text{ N}$  olup, yükleme kolunun kendi ağırlığından kaynaklanan ilk yatak yüküdür.  $G$  ise moment kolu sağ ucuna yerleştirilen deney ağırlığıdır. Böylece, devir sayısına ve deney ağırlığına göre elde edilen sürtünme katsayısı hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 5.2'de verilmiştir.

**Tablo 5.2.** Sürtünme kuvveti  $F_s$ 

Devir Sayısı (dev/dk)	Radyal Yükleme (N)	Sürtünme Katsayısı $\mu$
500	0	0,29
	20	0,036
	40	0,021
	100	0,012
	200	0,0078
1000	0	0,143
	20	0,072
	40	0,043
	100	0,022
	200	0,013
1500	0	0,373
	20	0,09
	40	0,049
	100	0,025
	200	0,015
2000	0	0,386
	20	0,096
	40	0,056
	100	0,028
	200	0,015
2500	0	0,39
	20	0,096
	40	0,057
	100	0,028
	200	0,016

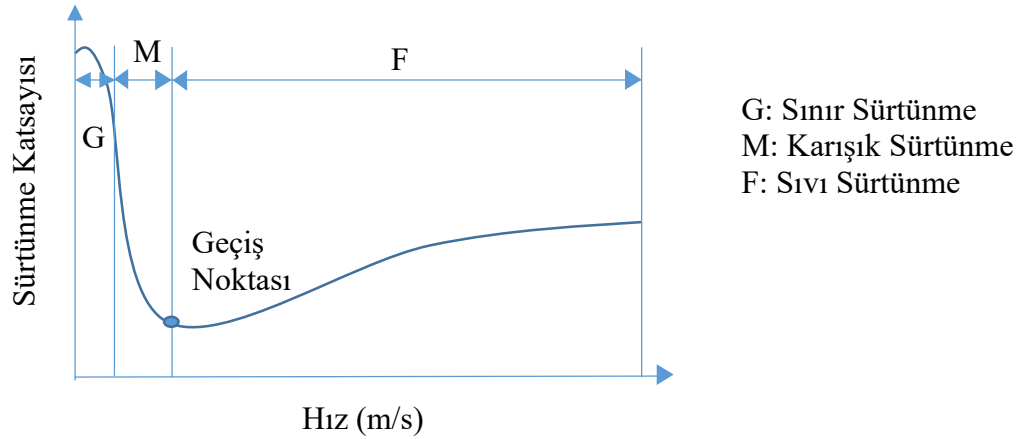
**Şekil 5.3.** Sürtünme katsayısının, hız ve radyal yükü göre değişimi

Şaftın dönüş devir aralığı sağ tarafta verilmiştir.

Formüllerden yola çıkarak sürtünme kuvvetlerine karşılık gelen sürtünme katsayıları bulunmuştur. Yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi takılan ağırlıkların, farklı devirlerde verilere göre sürtünme kuvvetinin değişimi görülmektedir.

Şekil 5.2. den yola çıkarak şaftın farklı devirlerinde şaftın dönüş hızı arttıkça sürtünme katsayısının da azaldığı yorumunda bulunabiliriz.

#### 5.4. Farklı Sürtünme Koşullarının (Sınır, Karışık, Sıvı) Hıza Etkisi:



Şekil 5.4. Sürtünmelerin hıza etkisi gösterilmiştir.

Şekil 5.4. den de anlaşılacağı üzere hidrolik radyal kaymalı yataklarda sınır sürtünmesinden ( $G$ ), sıvı sürtünmesine ( $F$ ) geçtikçe hız da artış gösterir.

#### 5.5. Farklı Viskozitelerin Geçiş Noktasına Etkisi

Stribeck eğrisi farklı viskoziteli yağların etkisini göstermektedir. Diyagram, viskozite ne kadar yüksek olursa, sıvı sürtünmenin ulaştığı geçiş noktasının daha hızlı olduğunu göstermektedir. Sıvı sürtünmesi, kaymalı yatak ve milin tam akışkan bir film ile aşınmaya karşı güvenilir bir şekilde korunabildiği en yüksek hıza bağlı güvenli durumdur. Bununla birlikte, yüksek dönme hızlarında, yüksek viskoziteli bir yağın kullanılması durumunda iç sürtünme önemli ölçüde artabilir.

Yüksek sürtünme, yüksek sıcaklık oluşumu ile sonuçlanabilir ve bu da yağın yaşlanma davranışını ve çalışma ömrünü olumsuz yönde etkiler. Hidrodinamik sürtünme koşullarında çalışan kaymalı yataklar için daha düşük viskoziteli bir yağlayıcı

kullanılmalıdır. Daha düşük hızlarda çalışan bir kaymalı yatak için daha yüksek viskoziteli bir yağlayıcı seçilmelidir.

### **5.6. Farklı Yağlayıcıların Kayma Hızlarına Etkisi**

Hidrodinamik koşullar yaklaşık 1m/s hızlarda gerçekleşir. Karışık sürtünmenin etkin olduğu yerlerde, yüzeye iyi bir şekilde yağlama tabakası oluşturduğundan gresler tercih edilmektedir. Katı yağlayıcılar ile tamamen kuru yağlama, sınırlı sürtünme ısısı ile düşük hızlarda tercih edilebilir. Diğer durumlarda, aşırı ısı koşullarına maruz kalan kaymalı yataklar işletme ömrünün kısılmasına neden olabilir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Verimlilik artırmaya yönelik hidrodinamik yağlamalı yataklama projesi ile sıvı sürtünmenin sürekli olarak sağlandığı, kuru ve sınır sürtünmenin bulunmadığı bir yağlama sayesinde yüzeyler arasında metal-metal temasının engellendiği, mil ve yatak yüzeyleri arasında aşınmanın minimize edilerek fener mili uyumuyla yatak ömrünün daha uzun olduğu bir yataklama sisteminin geliştirilmesi öncelikle amaçlanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar sayesinde;

- Elde edilen çıktılar sayesinde hidrostatik yağlamalı yataklama sistemine geçiş için altyapı oluşturulmuştur.

- Yataklama sistemine uyumlu fener mili tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir,

- Sektörel kapsamda faaliyetteki firmalara karşı daha ciddi rekabet gücü elde edilmiştir,

- Aşınma ömrü ve yağlayıcı yetenekleri gibi konularda firma bünyesindeki teknik personel yetkinliği arttırılacak ve yataklama alternatifleri arasında silindirik taşıma makinelerinin karşılaştırmalı ömür özellikleri belirlenmiştir.

Ürün sektörel çözüme sahip imalatlarını gerçekleştirdiği makinelerin ülkemizdeki üretimlerinde kullanılmıyor olması ve bu imalatın gerçekleştirilmesi ile ulusal bilgi birikimine farkındalık katacak seviyede bir katkı sağlanarak uluslararası boyutta satış ağının geliştirilmesi yenilikçi yön olarak önceliklendirilmiştir. Ömür beklentilerinde ciddi oranda anlamda geliştirme hedeflenmektedir.

## KAYNAKLAR

Adatepe H., Cengil M., Güneş B. Teknolojik Araştırmalar: MTED 2012 (9) 25-34 Statik Yük Altındaki Kaymalı Yataklarda Sürtünme Katsayısının Teorik ve Deneysel Olarak Belirlenmesi.

Anil S. , Prashant P. , Pakija S. ( 2018 ) Hydrodynamic Journal Bearing with Partial Tex

Bekir Ü , Enver A. 2009, Evaluation of Effect of Alloy Elements In Copper Based Cusn10 and Cuzn30 Bearings on Tribological and Mechanical Properties, A Celal Bayar University, Vocational High School, Department of Machinery, 45400-Turgutlu, Manisa, Turkey.

B.S. Ünlü, E. Atik / Materials And Design 31 (2010) 2690–2696 Investigation of Tribological Properties of Boronized Fe-Based SAE 1020 and TS-DDK 40 Journal Bearings at High Loads

B.S. Ünlü Et Al. / Journal of Alloys and Compounds 487 (2009) 225–230 Tribological and Mechanical Properties of Al Alloyed Bearings

E. Feyzullahoglu, Z. Saffak / Materials And Design 29 (2008) 205–211 The Tribological Behaviour of Different Engineering Plastics Under Dry Friction Conditions.

E. Feyzullahog˘lu, N. Sakirog˘lu / Materials And Design 31 (2010) 2532–2539 The Wear of Aluminium-Based Journal Bearing Materials Under Lubrication

Fathima S., Naduvinamani N.B., Hiremath P.S., Hydrodynamic Lubrication of Rough Slider Bearing With Couple Stress Fluids. Tribology International.

G. Gao et al. / Tribology International 75 (2014) 31–38 Numerical Analysis of Plain Journal Bearing Under Hydrodynamic Lubrication By Water

Galda L., Sep J., Zochowski T., Olszewski A., Experimental Investigation İnto Surface Texture Effect On Journal Bearing Performance. Tribology International.

Gengyuan G., Zhongwei Y., Dan J., Xiuli Z. (2015) Cfd Analysis of Load-Carrying Capacity of Hydrodynamic Lubrication On A Water-Lubricated Journal Bearing.

Güler Ö. , Ertuğrul D. (2021) Statik Yüklü Radyal Kaymalı Yataklarda Hidrodinamik Yağlamanın Analizi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Isparta, Türkiye.

Güllü E., Yılmaz T., (2018) Investigation of Pressure Distribution İn Hydrodynamic Radial Journal Bearings With Finite Difference Method.

Gültekin K., (2018) Grafit ve Bronz Dolgulu Bir Ptfе Kaymalı Yatağın Kuru Sürtünme Özelliklerinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi.

H. Cuvalcı, H. Bas, Tribology International 37 (2004) 433–440 Investigation of The Tribological Properties of Silicon Containing Zinc–Aluminum Based Journal Bearings

Hori Y., 2016, “Hydrodynamic Lubrication”, University of Tokyo

K. Gungor Et Al./ Isites2015 Valencia –Spain Ptfе Kaplanmış Gözenekli Kaymalı Yatağın Sürtünme ve Aşınma Davranışları \* 1 Vocational School of Hendek, Department of Mechanical and Metal Technologies, Sakarya University, Turkey

Kumar V., Tiwari P. (2012) Analysis of Hydrodynamic Journal Bearing: A Review. International Journal of Engineering Research & Technology, 1

Stefani, F., 2011, “Fem Applied To Hydrodynamic Bearing Design”, Mechanics and Machine Design

T.P. Gundarneeeya and D.P. Vakharia Performance Analysis of Journal Bearing Operating On Nanolubricants with Tio<sub>2</sub>, Cuo And Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles As Lubricant Additives , A Mechanical Engineering Department, Government Engineering College, Surat 395001, India.

Wang Y., Yin Z., Jiang D., Gao G., Zhang X. (2016) Study of The Lubrication Performance of Water-Lubricated Journal Bearings with CFD and FSI Method Industrial Lubrication and Tribology.