



**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**HİDRODİNAMİK  
RADYAL KAYMALI YATAK  
PERFORMANS DENEYİ FÖYÜ**

**HAZIRLAYANLAR**

Prof.Dr. Erdem KOÇ

Yrd.Doç.Dr. Kemal YILDIZLI

**EKİM 2012**

**SAMSUN**

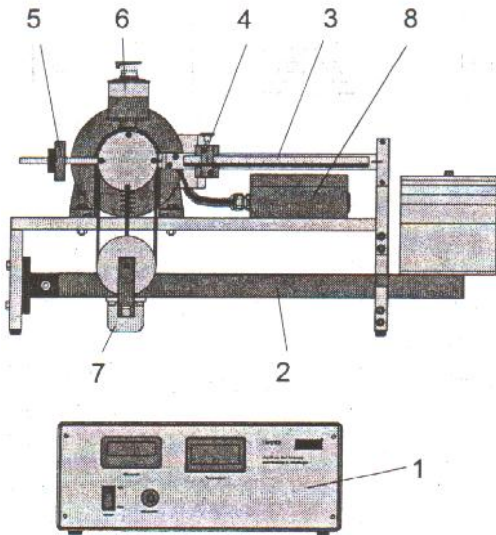
# HİDRODİNAMİK RADYAL KAYMALI YATAK PERFORMANS DENEYİ

## 1. DENEYİN AMACI

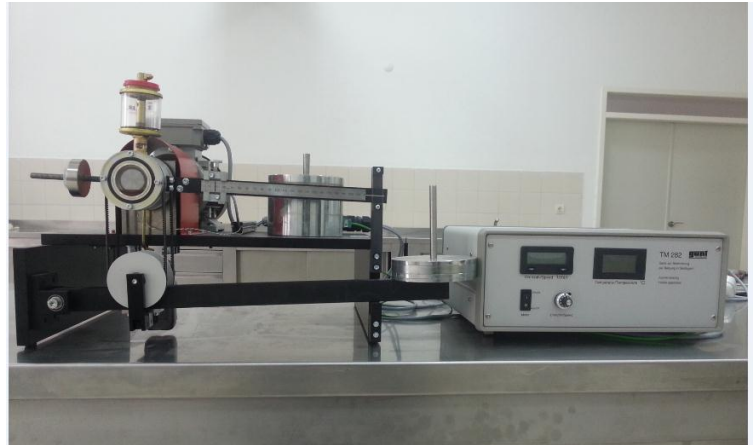
Bu deneyde, hidrodinamik/hidrostatik esaslı radyal tip kaymalı yatakta, yük taşıma kapasitesi, yağ sıcaklığı, mil açısız hızının, sürtünme momenti üzerindeki etkileri gibi tribolojik konular kavratılarak, sürtünme momenti, sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. DENEY TESİSATI

Basit tasarımı nedeniyle ünite, laboratuvar deneyleri için çok uygundur. Yatak yükü, bir kaldıraç kolu yardımıyla iletilir. Ünite, eğitim ve deneysel amaçlar için tasarlanmıştır. Ölçüm, bir cetvel üzerinde hareket edebilen kayar bir yükle alınır. Deney tesisatı, kontrol ünitesi (1), yükleme tertibatı (2), gösterge cetveli (3), kayar yük (4), karşı yük (5), fitil yağlayıcı (6), yağ toplama tankı (7) ve elektrik motoru terminal kutusu (8) dan ibarettir (Şekil 1). Üniteyi oluşturan temel ekipmanlar aşağıda başlıklar altında kısaca toplanmıştır:



(a)

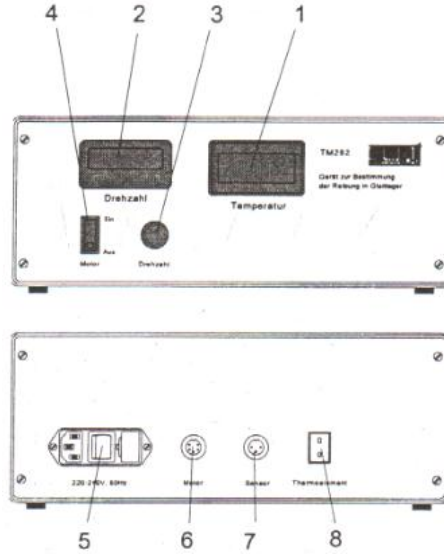


(b)

Şekil 1. Radyal kaymalı yatak deney tesisatı

### 2.1. Kontrol Ünitesi

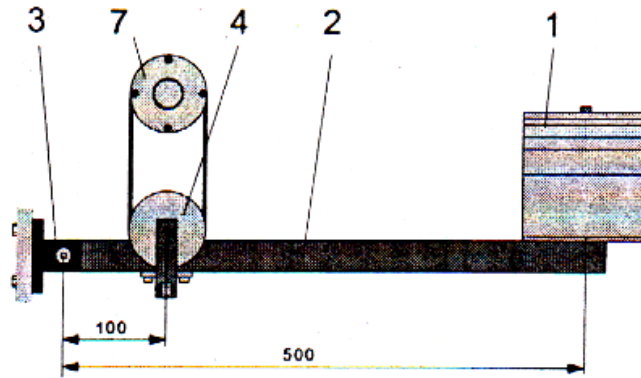
Kontrol ünitesi, motoru kontrol eder, şaftın devir sayısı ve yağ sıcaklığını gösterir. Ön yüzdeki panel üzerinde dijital bir sıcaklık göstergesi (1) mevcuttur. Yatak içerisindeki yağ sıcaklığı, bu göstergeden okunur. İkinci dijital gösterge (2), o andaki motor şaftının dönüş hızını gösterir. Şaftın dönüş hızı, potansiyometre (3) ile 0-3000 rpm (devir/dakika) arasında ayarlanılabilmektedir. Yatak milini hareket ettiren elektrik motoru şalterle (5) açılıp kapatılabilmektedir. Kontrol ünitesinin arka tarafında, ana şalter (4), motorun kutupları (6), dönüş hızı kablo girişi (7) ve ısı çift girişi vardır (Şekil 2).



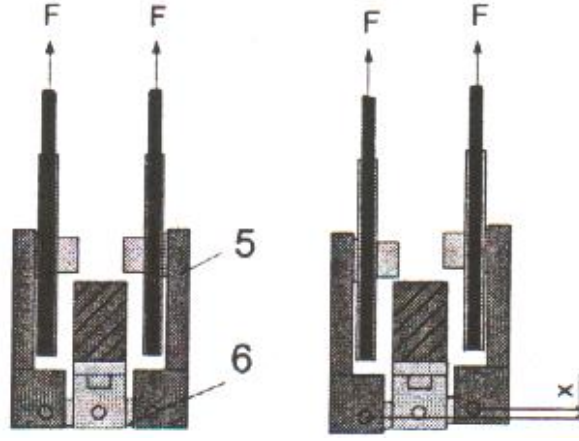
**Şekil 2.**Kontrol ünitesi

## 2.2. Yükleme tertibatı

Yükleme tertibatı, radyal yatak yükünü, bir moment kolu yardımı ile oluşturur. Yükleme tertibatına, disk şeklindeki ağırlıklar takılarak yatak yükü artırılabilir. Kuvvet 5 N'luk artışlarla değiştirilir. Cetvelin 5:1 oranında transmisyonu sonucunda takılan 1 N'luk bir ağırlık, yatağa 5 N'luk bir yük olarak etkimektedir. Ayrıca, yük tertibatının kendi ağırlığı, 25 N'luk bir kuvvete karşılık gelmektedir. Ağırlıklar(1) üzerindeki deliklerden moment kolu ucundaki pime geçirilerek merkezlenmektedir (Şekil 3). Kuvvet, makaralar üzerinden (4) yatağa iletilmektedir. Makaralar denge kolu (6) üzerine yerleştirilmiş olup desteklerle (5) civatalanmıştır. Bu mekanizma, yatak(7) üzerine kuvvetlerin iletilmesini sağlamaktadır (Şekil 4).



**Şekil 3.** Yükleme tertibatı, önden görünüş

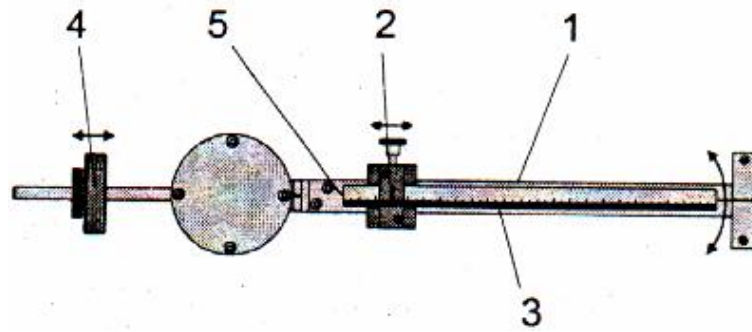


**Şekil 4.** Yükleme tertibatı, yandan görünüş

### 2.3. Ölçüm Aleti

Sürtünme kuvveti, momentlerin dengesi ile hesaplanmaktadır. Sürtünme kuvveti, cetveli (1) döndürebilmek için yatak ve zarf arasında etki etmektedir. Bu dönüş, cetvel üzerinde kayarak hareket ettirilebilen bir yük(2) vasıtasıyla dengelenmektedir. Bu yük, cetvel üzerinde hareket ettirilerek, tekrar dengeye ulaşılan dek yatay cetvel üzerinde hareket ettirilmelidir.

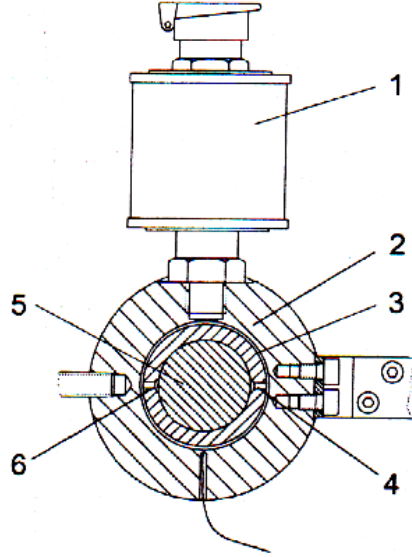
Sıfır noktasına olan mesafe (5), skaladan okunur. Kayıcı yükün tam 1 N hassasiyetinde olması sebebiyle, sürtünme momenti kolayca hesaplanmaktadır. Sürtünme kuvvetini belirlemek amacıyla şaftın çapına gerek duyulur. Böylece, sürtünme momenti, şaft yarıçapına bölünerek sürtünme kuvveti bulunur. Denge ağırlığı (4) ile kayar yük (2) yardımı ile oluşan moment dengelenir (Şekil 5).



**Şekil 5.** Sürtünme momenti ölçüm aleti

### 2.4. Yağ Deposu ve Kullanımı

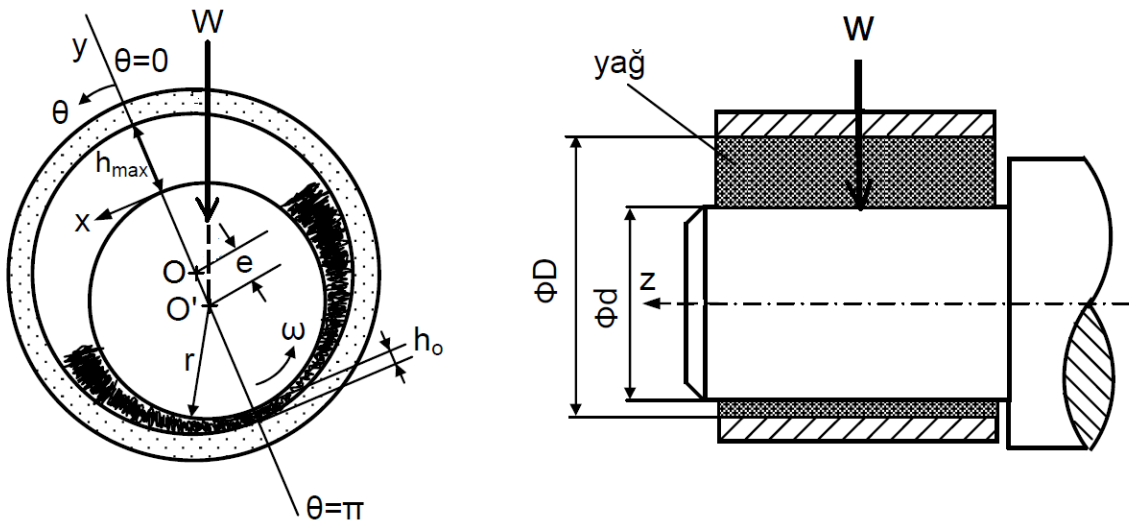
Yağ, damlacık yağlama şeklinde yatağa sağlanmaktadır. Yağ deposu (1), yatak üzerine vidalanarak monte edilmiştir(Şekil 6). Yağ, şafta (5) halka (3) nın üzerindeki iki delikten iletilmektedir. Bu yağlama delikleri (4 ve 6) DIN 1591 standardına göre tasarlanmıştır.



**Şekil 6.** Yatak kesiti, önden görünüş

Yağlama delikleri, basınç alanı içerisinde olması mümkün değildir. Çünkü, yatak yük taşıma kapasitesinde kayda değer azalma meydana getirir. Bu nedenle, yağlama delikleri, basınç bölgesinin akış yönünde ya da akışa ters yönünde olacak şekilde tasarlanır. Düz yağlamalı yataklarda akış sadece akış yönünde değil aynı zamanda yanlamasına da gerçekleşmektedir.

$W$  yatak yüküne maruz, radyal kaymalı yatakta yağ film kalınlığı değişimi Şekil 7’de görülmektedir. Hidrodinamik sıvı sürtünmesinin oluşması ve yük taşıyıcı yağ filminin gerçekleşmesi, yüzeyler arasındaki izafi hız ve hareket yönünde daralan yağ kaması mekanizması oluşumuna bağlıdır. Yağ filmi kalınlığı ( $h$ ) değişimi için,  $O'$  merkezli şaftın,  $O$  merkezli yatağa göre eksantrik bir konum alması ( $e$ ) zorunludur. Bu nedenle, mil yatağa boşluklu olarak monte edilir. Şaft dönmez durumda yatak tabanına temas ederken, şaft belli bir açısal hıza ( $\omega$ ) ulaştığında, sıvı sürtünmesi şartları olduğundan, yağ film kalınlığı  $h_0$  minimum değerine erişerek, radyal yüke direnç gösterecek basınç oluşur, şaft ve yatak yüzeyleri birbirinden ayrılır.



**Şekil 7.** Radyal kaymalı yatakta film kalınlığı değişimi [1]

### 3. DENEYE HAZIRLIK

Doğru ölçüm yapabilmek için, deneye başlamadan evvel, yağ viskozitesini azaltıp (yağın inceltilmesi) düzeneğin yük dengesi için bir kalibrasyon işlemini gerçekleştirmek gerekir. Bu nedenle aşağıdaki işlem sırası takip edilmelidir:

#### 3.1.Yağın Isıtılması

Deneyler yapılmadan önce yağa ön ısıtma yapılmalıdır. Çünkü viskozite, temel olarak sıcaklığa bağlıdır. Ünite çalışma için hazır olduğunda;

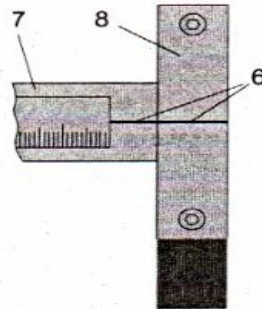
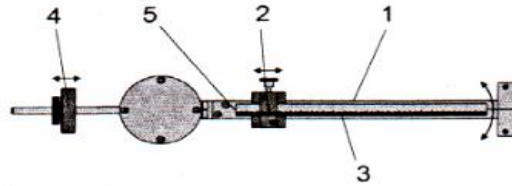
- Yük tertibatına 20 N yerleştirilerek, yatağa 100 N tesir ettirilir.
- Kontrol ünitesinin arkasındaki ana şalter açılır.
- Motor şalteri açılır.
- Potansiyometreden şaftın hızı 2000 d/d' ya yavaşça çıkarılır.

Çalışma sıcaklığı, kontrol panosu ön paneli üzerinde bulunan dijital sıcaklık göstergesinden takip edilir. Sıcaklık, yaklaşık olarak 50°C - 55°C ulaştığında gerçek deneyler yapılabilir.

#### 3.2.Kalibrasyon İşlemi

Deneylere başlanmadan önce, yük dengesi kurulmalıdır. Bunu yapmak için ;

- Yük tertibatındaki tüm yükler çıkartılır.
- Şaftın dönüş hızı, 250-300 devir/dakika ya çıkarılır.
- Kayar yük (2) soldaki durdurma limitine (5) çekilir.
- Kol (7) ve sınırlayıcı (8) üzerindeki siyah çizgiler (6) çakışınca kadar denge ağırlığı (4) sağa/sola hareket ettirilerek denge kurulmaya çalışılır (Şekil 8).
- Denge sağlandığından emin olduğunda, denge ağırlığı (4) tırtıllı somun ile kilitlenir.



**Şekil 8.** Denge kolu ve sınırlayıcı üzerindeki çizgilerinin çakıştırılması (Denge hali)

#### 4. DENEYİN YAPILIŞI

Radyal yatak içerisinde oluşan sürtünme kuvveti farklı parametrelere bağlıdır. Bu ünite de dönüş hızı, yük, sıcaklık ve yağlayıcının yatak performansına etkileri incelenmektedir. Deneyin yapılış aşamaları aşağıdaki gibidir:

- Yağın ısıtılması ve kalibrasyon işlemi Bölüm 3'de bahsedildiği gibi yapılır.
- İstenilen yük seçilir ve yerleştirilir.
- İstenilen dönüş hızı seçilir ve ayarlanır.
- Kayar yükü hareket ettirerek denge konumu (a mesafesi) belirlenir ve kaydedilir.
- Dönüş hızı ve/veya yük değiştirilir.
- Her bir şart için, a mesafeleri kaydedilerek Tablo 1.'deki gibi bir çizelge oluşturulur.

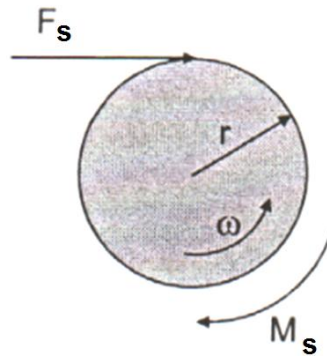
Örnek ölçümlerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Farklı yük ve dönüş hızları için a mesafeleri

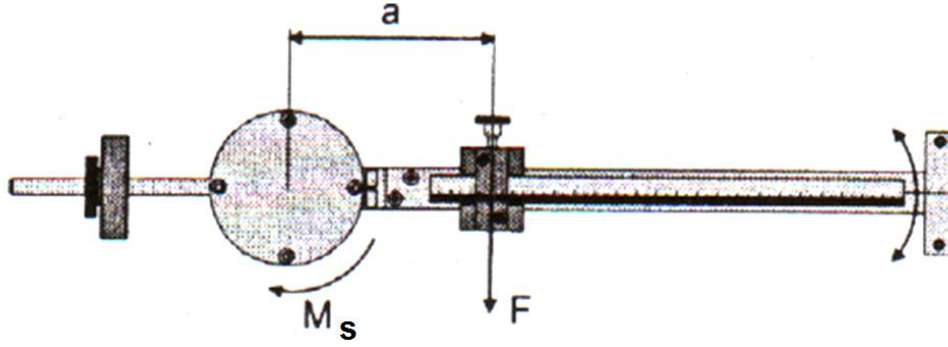
Yük		0 N	10 N	20 N	50 N	100 N
Hız						
500 d/d.	a	34	39	44	68	91
	t	41°C	40°C	40°C	40°C	40°C
1000d/d.	a	100	110	118	149	174
	t	39°C	40°C	40°C	40°C	40°C
1500d/d.	a	137	145	154	172	211
	t	41°C	41°C	42°C	42°C	43°C
2000d/d.	a	143	158	166	192	215
	t	44°C	45°C	45°C	46°C	46°C
2500d/d.	a	144	158	167	198	220
	T	48°C	48°C	48°C	49°C	49°C

#### 4.1. Sürtünme Momenti Hesabı

Sürtünme kuvveti, şaftın dönüş yönünün tersi yönünde oluşur. Şekil 9'da r yarıçapında  $\omega$  açısal hızı ile dönen şaftta etkiyen sürtünme kuvveti ( $F_s$ ) ve sürtünme momenti ( $M_s$ ) gösterilmektedir.



**Şekil 9.** Şaftta etkiyen sürtünme kuvveti ve momenti



**Şekil 10.** Sürtünme momenti ölçümü

Sürtünme momenti ( $M_s$ ), her bir deney için Şekil 10'da görüldüğü gibi  $a$  mesafeleri bulunarak aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$M_s = F \cdot a$$

$F$  = kayar yük (1 N)

$a$  = şafta olan mesafe (mm)

Örnek:  $n = 1000$  dev./dak.;  $a = 118$ mm ( $G = 20$  N takılı ağırlığa karşılık gelen mesafe)

$$M_s = 1 \text{ N} \cdot 118 \text{ mm}$$

$$M_s = 118 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

#### 4.2. Sürtünme Kuvveti Hesabı

$r = 15$  mm sabit şaft yarıçapı bilindiğine göre, yapılan her deney için sürtünme kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$F_s = \frac{M_s}{r}$$

$$F_s = \frac{118 \text{ Nmm}}{15 \text{ mm}}$$

$F_s = 7.86$  N olarak bulunur.

Hesaplanan sürtünme kuvvetleri, ağırlık ve dönüş hızına bağlı olarak Tablo 2'deki gibi toplu halde gösterilir.

**Tablo 2.** Sürtünme kuvveti  $F_s$  [N]

Şaftın dönüş hızı	Takılı ağırlık [N]				
	$G = 0$	$G = 10$	$G = 20$	$G = 50$	$G = 100$
<b>500 d/d</b>	2.26	2.6	2.93	4.53	6.06
<b>1000 d/d</b>	6.66	7.33	7.86	9.93	11.6
<b>1500 d/d</b>	9.13	9.66	10.26	11.46	14.06
<b>2000 d/d</b>	9.53	10.53	11.06	12.8	14.33
<b>2500 d/d</b>	9.6	10.53	11.13	13.2	14.66



### 4.3. Sürtünme Katsayısı Hesabı

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

$$\mu = \frac{F_S}{F_T}$$

Şekil 3'de görülen yük tertibatında 3 numaralı pime göre kurulan moment dengesi gereği, yatağa etkiyen toplam kuvvet ( $F_T$ )

$F_T = F_o + 5 G$  formülünden bulunur.

Burada,  $F_o = 25$  N olup, yükleme kolunun kendi ağırlığından kaynaklanan ilk yatak yüküdür.  $G$  ise moment kolu sağ ucuna yerleştirilen deney ağırlığıdır. Böylece, sürtünme katsayısı aşağıda örnekteki gibi hesaplanır.

Örnek:

$$F_S = 7.86 \text{ N}$$

$$G = 20 \text{ N}$$

$$F_o = 25 \text{ N}, \quad F_T = 25 + 5 \times 20 = 125 \text{ N ile}$$

$$\mu = \frac{7.86 \text{ N}}{25 \text{ N} + 5 \times 20 \text{ N}} = \frac{7.86 \text{ N}}{125 \text{ N}} = 0.063 \quad (\mu = 0.063) \text{ olarak bulunur.}$$

1000 dev./dak. shaft hızında ve yağ sıcaklığı yaklaşık  $40^\circ\text{C}$ 'de iken aşağıdaki sonuçlar alınmıştır.

- $G = 0$  N ağırlık için, sürtünme momenti,  $M_{S0} = 100$  N.mm

$$\text{Sürtünme kuvveti, } F_{S0} = 100/15 = 6,66 \text{ N}$$

$$F_T = 25 + 0 = 25 \text{ N}$$

$$\mu_0 = \frac{6.66}{25} = 0,266$$

- $G = 20$  N ağırlık için, sürtünme momenti,  $M_{S20} = 118$  N.mm

$$\text{Sürtünme kuvveti, } F_{S20} = 118/15 = 7,86 \text{ N}$$

$$F_T = 25 + 5 \cdot 20 = 125 \text{ N}$$

$$\mu_{20} = \frac{7.86}{125} = 0,063$$

- $G = 100$  N ağırlık için, sürtünme momenti,  $M_{S100} = 104$  N.mm

$$\text{Sürtünme kuvveti, } F_{S100} = 174/15 = 11,6 \text{ N}$$

$$F_T = 25 + 5 \cdot 100 = 525 \text{ N}$$

$$\mu_{100} = \frac{11.6}{525} = 0,022 \text{ olarak bulunur.}$$

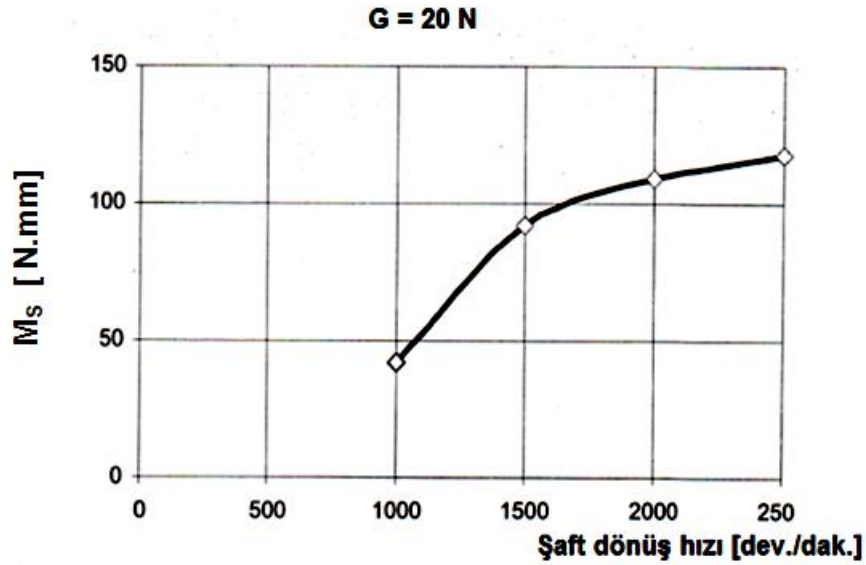
Yapılan her bir deney için, sürtünme katsayıları hesaplandıktan sonra aşağıda verilen şekilde bir tablo oluşturulur(Tablo 3).

**Tablo 3.** Sürtünme katsayısı ( $\mu$ )

Şaftın dönüş hızı	Takılı ağırlık [N]				
	G = 0	G = 10	G = 20	G = 50	G = 100
500 d/d	0.09	0.034	0.023	0.0164	0.011
1000 d/d	0.26	0.097	0.063	0.036	0.022
1500 d/d	0.36	0.128	0.082	0.041	0.026
2000 d/d	0.38	0.140	0.084	0.046	0.027
2500 d/d	0.38	0.140	0.089	0.048	0.028

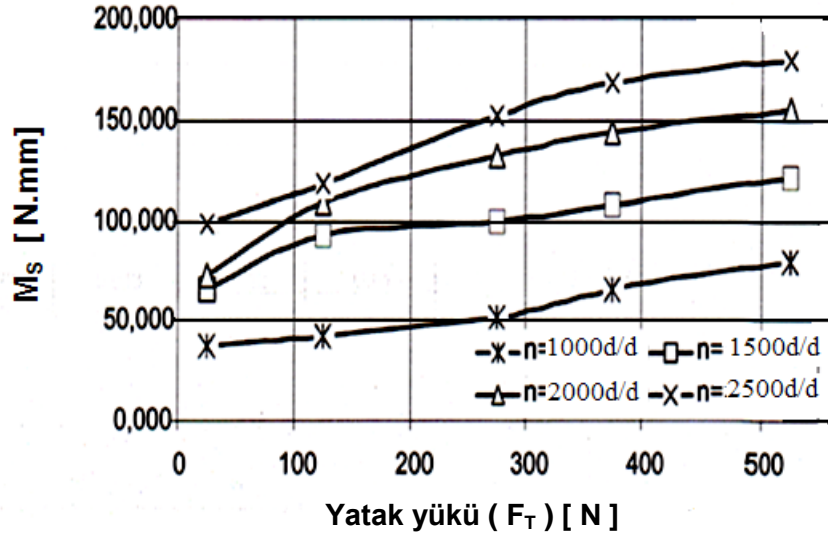
## 5. DENEY RAPORUNDA İSTENENLER

- 1) Deneysel ölçümlere göre, sürtünme momenti, sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayılarını hesaplayınız.
- 2) Şekil 11'de görüldüğü gibi şaft dönüş hızı-sürtünme momenti değişim grafiğini çiziniz.



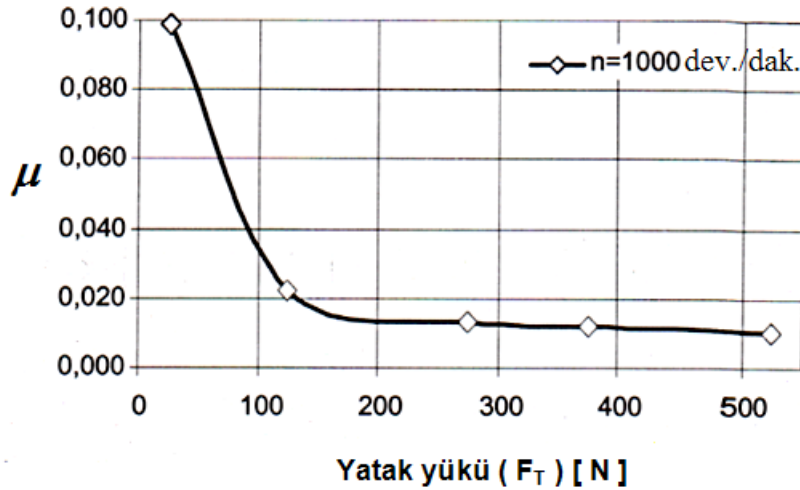
**Şekil 11.** Şaft dönüş hızının bir fonksiyonu olarak sürtünme momenti ( $M_s$ ) grafiği

3) Şekil 12'de görüldüğü gibi, yatak yükü-sürtünme momenti değişim grafiğini çiziniz.



Şekil 12. Sürtünme momentinin yatak yükü ile değişim grafiği

4) Şekil 13'de görüldüğü gibi, sürtünme katsayısı-yatak yükü değişim grafiğini çiziniz.



Şekil 13. Sürtünme katsayısının yatak yükü ile değişim grafiği

5) Elde edilen sonuçlara göre, hangi parametrelerin sürtünme katsayısı üzerine etkilerinin büyük hangi parametrelerin etkilerinin küçük olduğunu açıklayınız.

## 6. KAYNAKLAR

1. E.KOÇ. Makina Elemanları Cilt-II, 2. Baskı, Nobel Yayınları, Adana, 2006.
2. GUNT TM 282, Experimental Instructions, Journal Bearing Friction Apparatus, Hamburg, Germany, 2010.