



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

**RULMANLI VE KAYMALI YATAKLARDA**  
**SÜRTÜNME VE DİNAMİK DAVRANIŞ**  
**DENEY FÖYÜ**

**HAZIRLAYANLAR**

Prof. Dr. Erdem KOÇ

Arş.Gör. Mahmut Can ŞENEL

**EKİM 2012**

**SAMSUN**

# RULMANLI VE KAYMALI YATAKLARDA SÜRTÜNME VE DİNAMİK DAVRANIŞ DENEYİ

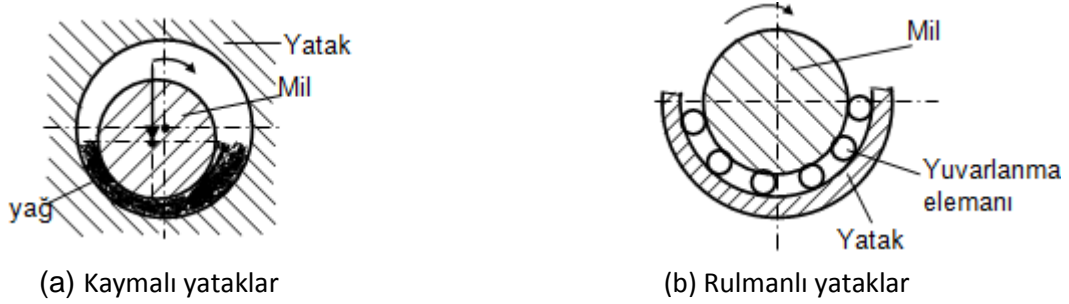
## 1. DENEYİN AMACI

Bu deneyde, farklı tür malzemelerden oluşan kaymalı yatakların yatak boşluklarına yerleştirilerek yüzey çiftleri arasında oluşan sürtünme için sürtünme katsayılarının belirlenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca rulmanlı yataklar yatak yuvalarına yerleştirilip sarkaca yükleme yapılarak da sistemin dinamik davranışı belirlenmeye çalışılmaktadır.

## 2. TEORİK ESASLAR

Yataklar, bir parçanın diğerine göre bir veya birkaç yönde izafi(bağıl) hareketine minimum bir sürtünme ile imkan veren, parçayı harekete uygun biçimde konumlandıran, kuvvet doğrultusunda harekete engel olan makina elemanlarıdır[1].

Yataklar, konstrüksiyonlarına göre kaymalı, yuvarlanma elemanlı(rulmanlı) ve hassas cihaz yatakları olarak üç grupta incelenmektedir. Kaymalı yataklarda yatak elemanlarının bir sıvı yağ filmi ile birbirinden ayrılması ve hareketi sağlaması, rulmanlı yataklarda ise; yüzeyler arasında yuvarlanma elemanları yardımıyla yuvarlanma hareketi sağlanması söz konusudur. Kısacası yatak; birbirine göre izafi hareket eden iki yüzeyi birbirinden ayıran, metal-metal temasını önleyen dönme hareketini kolaylaştıran, sürtünme ve aşınmayı minimum seviyede tutan destek elemanları şeklinde tanımlanmaktadır. Şekil 1'de kaymalı ve rulmanlı yatakların şematik gösterimi verilmiştir[1].

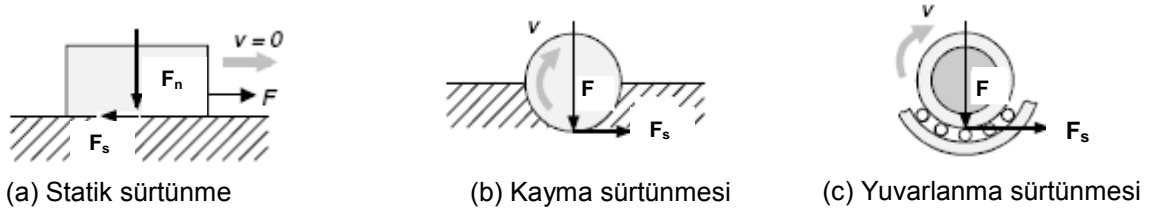


Şekil 1. Kaymalı(a) ve rulmanlı yatakların(b) şematik gösterimi[1]

Temasta olan ve izafi hareket eden iki cismin temas yüzeylerinin harekete veya hareket ihtimaline karşı oluşan direnç kuvvetine sürtünme kuvveti denilmektedir. Sürtünme kuvveti harekete ters yönde oluşmaktadır. Yüzeyler arasında oluşan sürtünme, sürtünme katsayısı ile ifade edilmektedir. Sürtünme katsayısı( $\mu$ ), sürtünme kuvvetinin büyüklüğünün( $F_s$ ) normal kuvvetin büyüklüğüne( $F_n$ ) oranı olarak ifade edilmekte olup eşitlik (1)'de verilmiştir(Şekil 2).

$$\mu = \frac{F_s}{F_n} \quad (1)$$

Sürtünme kuvvetinin büyüklüğü, sürtünme yüzey alanına bağlı olmayıp yüzey malzemesine(dökme demir, alüminyum, çelik) ve yüzey yapısına(kayma, yuvarlanma durumları) bağlı olarak değişim göstermektedir. Sürtünme de yüzey yapılarına bağlı olarak Şekil 2'de verildiği gibi üç(3) farklı sürtünme hali söz konusudur. Bunlar; statik sürtünme, kayma sürtünmesi ve yuvarlanma sürtünmesidir.



**Şekil 2.** Statik(a), kayma(b) ve yuvarlanma(c) sürtünmesi

Statik sürtünme, izafi hareket halinde olan iki kuru parçanın temas yüzeylerindeki sürtünme durumu olup yüzeyler birbiri üzerinde pürüzleri temas ederek kayar. Yüzeyler arasında üçüncü bir malzeme yoktur(Şekil 2.a). Kayma sürtünmesi, dönme hareketine ters yönde temas yüzeyleri arasında oluşan sürtünmedir(Şekil 2.a). Yuvarlanma sürtünmesi, yuvarlanma hareketine karşı temas yüzeylerinde oluşan dirençtir(Şekil 2.c). Yuvarlanma halindeki sürtünme katsayısı genellikle kayma halindeki daha küçüktür[1].

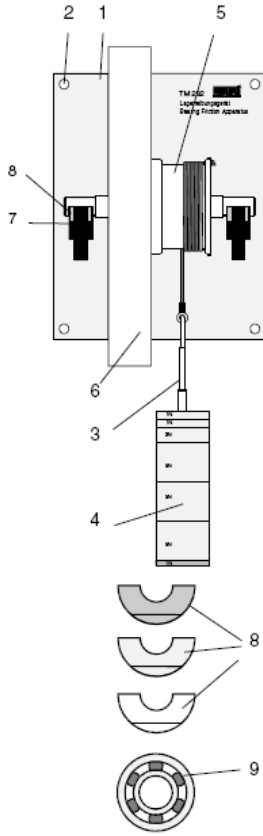
### 3. DENEY DÜZENEGİ

Deney düzeneğinde, farklı tür kaymalı yataklar yerleştirilip uygun yüklemeler yapılarak sürtünme katsayısının belirlenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca yatak boşluklarına rulmanlı yataklar yerleştirilerek dönen elemanlarda dinamik analiz gerçekleştirilmektedir. Kısaca, deney düzeneğiyle iki ayrı deney yapılabilmektedir. Bunlar; kaymalı yataklardaki sürtünme katsayısının ve sistemin dinamik davranışının belirlenmesi deneyleridir.

Deney düzeneği ve elemanları Şekil 3'de verilmiş olup, duvara monte edilebilecek şekilde tasarlanmış mekanik bir yapıdan oluşmaktadır. Deney düzeneği, duvara montaj için 4 sabitleme deliği(2) bulunan bir levha(1), hareketi sağlayan sarkaç(3), sarkaca yerleştirilen yükler(4), moment üretimini sağlayan bir kablo sarıncı(5), üniform kütle dağılımına sahip bir dönel savrulma diski(6), rulmanlı yatak(9) ve kaymalı yatak zarflarının(8) kolayca yerleştirilmesini sağlayan yatak yuvalarından(7) oluşmaktadır. Deney düzeneğinde kullanılan kaymalı yatak zarfları(8) Şekil 3'de görüldüğü gibi yarım daire şeklinde tasarlanmış olup 180° yatağı olarak bilinmekte ve kuru sürtünme prensibine göre çelik mile destek olmaktadır.

Deney düzeneğinde kullanılan kaymalı ve rulmanlı yataklar aşağıda verilmiştir:

- 2 adet dökme demir(GG25) malzemeden kaymalı yatak
- 2 adet pirinç malzemeden kaymalı yatak
- 2 adet PTFE malzemeden kaymalı yatak
- 2 adet rulmanlı yatak(bilyalı)



(a)



(b)

Şekil 3. Deney düzeneğinin genel görünümü ve temel elemanları

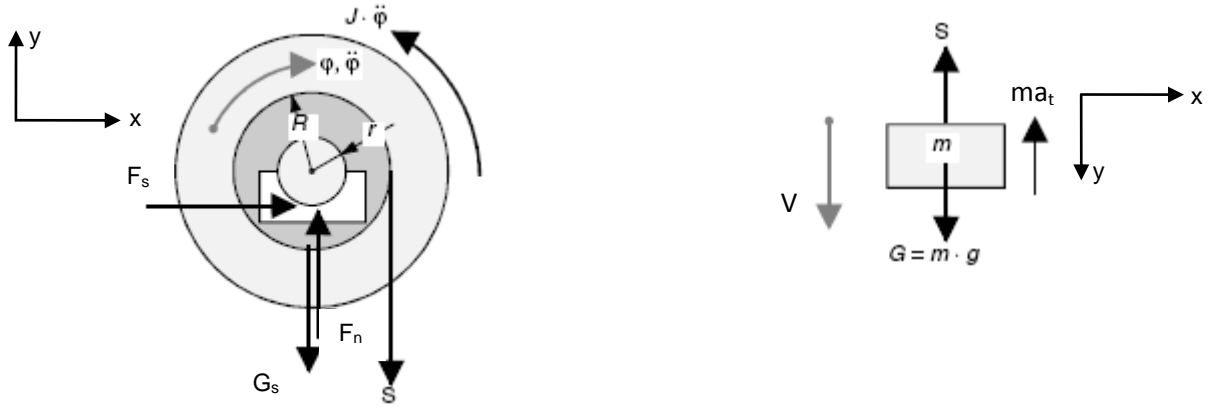
#### 4. DENEY DÜZENEĞİNDE KUVVET VE MOMENT DENGESİ

Deney düzeneğinde, sisteme ait kuvvet ve moment dengesinin oluşturulabilmesi için Şekil 4'de görüldüğü gibi sistemin serbest cisim diyagramının çizilmesi gerekmektedir. Şekil 4'deki serbest cisim diyagramından faydalanılarak savrulma diski, kablo sarıcı ve sarkacın kuvvet ve moment dengesi oluşturulmaktadır. Bu sayede sarkaçta, sadece y doğrultusunda sarkaca eklenen yüklerden(G) dolayı bir kablo çekme kuvvetinin(S) oluştuğu görülebilmektedir.

Deney düzeneğinde kuvvet ve moment dengesinde kullanılacak parametreler aşağıda verilmiştir:

$F_n$ =Normal kuvvet (N)  
 $F_s$ =Sürtünme kuvveti (N)  
 $g$  =Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )  
 $G$  =Yüklerin ağırlığı (N)  
 $G_s$ =Dönen elemanların ağırlığı (N)  
 $J$  = Dönen elemanların kütleli atalet momenti ( $kg.m^2$ )  
 $S$  = Kablo çekme kuvveti (N)

$m$ = Yüklerin kütlesi (kg)  
 $m_s$ =Dönen elemanların(savrulma diski, kablo sarıcı ve mil) kütlesi (kg)  
 $r$  = Yatak yarıçapı (m)  
 $R$ = Kablo sarıcının yarıçapı (m)  
 $\phi$ = Dönme açısı ( $^\circ$ )  
 $\omega$ = Savrulma diskinin açısal hızı (rad/s)  
 $\ddot{\phi}$ = Açısal ivme ( $rad/s^2$ )



**Şekil 4.** Sistemin serbest cisim diyagramı

Şekil 4'deki sistemin serbest cisim diyagramı dikkate alınarak; savrulma diskinin merkezine göre oluşturulan moment dengesi eşitlik (2)'de verilmiştir:

$$\sum M = 0 = J \cdot \ddot{\varphi} + F_s \cdot r - S \cdot R \quad (2)$$

y yönündeki kuvvet dengesi eşitlik (3)'de ifade edilmiştir:

$$\sum F_y = 0 = F_n - G_s - S \quad (3)$$

Şekil 4'deki sarkaca ait serbest cisim diyagramı dikkate alındığında Newton'un İkinci Kanununa göre sarkacın teğetsel ivmesi ( $a_t = R\ddot{\varphi}$ ) sarkacın açısal ivmesi ile sarkacın yarıçapının çarpımına eşittir. Bu durumda kuvvet dengesi eşitlik (4)'deki gibi;

$$\sum F_y = 0 = G - S - ma_t = G - S - mR\ddot{\varphi} \quad (4)$$

elde edilmiştir. Eşitlik (3) ve (4)'deki kablo çekme kuvvetleri(S) değerlendirildiğinde;

$$F_n - G_s = G - mR\ddot{\varphi} \rightarrow F_n = G_s + G - mR\ddot{\varphi} \quad (5)$$

elde edilmektedir. Eşitlik (1) ve (5)'den sürtünme kuvveti;

$$F_s = (G_s + G - mR\ddot{\varphi})\mu \quad (6)$$

şeklinde yazılır. Bu sürtünme kuvveti( $F_s$ ) eşitliği, eşitlik (2)'de kullanılırsa;

$$\sum M = 0 = J \cdot \ddot{\varphi} + (G_s + G - mR\ddot{\varphi})\mu r - S \cdot R \quad (7)$$

elde edilmektedir. Eşitlik (7)'de gerekli düzenlemelerin yapılmasıyla sistemin dinamik hareket denklemini aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\ddot{\varphi} \cdot (J + m \cdot R^2 - m \cdot \mu \cdot R \cdot r) = R \cdot G - (G_s + G) \cdot \mu \cdot r \quad (8)$$

Deneyde kullanılan geometrik ve fiziksel büyüklükler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Geometrik ve fiziksel büyüklükler

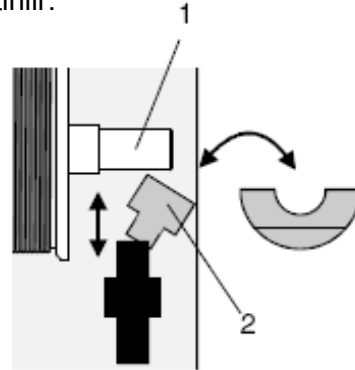
Yatak yarıçapı(r)	$r=8,5 \text{ mm} =0,0085 \text{ m}$
Kablo sarıcı yarıçapı(R)	$R=41 \text{ mm} = 0,041 \text{ m}$
Dönen elemanların kütlesi( $m_s$ ) (savrulma diski, kablo sarıcı ve mil)	$m_s= 23,35 \text{ kg}$
Dönen elemanların ağırlığı ( $G_s$ ) (savrulma diski, kablo sarıcı ve mil)	$G_s=229 \text{ N}$
Dönen elemanların kütleli atalet momenti(J)	$J=0,2506 \text{ kg.m}^2$
Yüklerin kütlesi(m)	$m=0...2,0387 \text{ kg}$
Yüklerin ağırlığı(G)	$G=m.g=0...20 \text{ N}$

## 5. KAYMALI YATAKLARDAKİ SÜRTÜNME KATSAYISININ BELİRLENMESİ

Bu deney düzeneğiyle iki ayrı deney yapılabilmektedir. Bunlar; kaymalı yataklardaki sürtünme katsayısının belirlenmesi ve sistemin dinamik davranışının belirlenmesi deneyleridir. Kaymalı yataklardaki sürtünme katsayısının belirlenebilmesi için piring, PTFE ve dökme demir malzemeden yapılmış kaymalı yatakların( $180^\circ$  yatak) yatak yuvalarına yerleştirilerek deney düzeneği aşağıda anlatıldığı gibi hazırlanır. Deney düzeneği, deney için hazırlandıktan sonra da yükler sarkaca eklenerek dinamik davranış denkleminde açısal ivme( $\ddot{\phi}$ ) 0 olarak alınıp her bir malzeme için sürtünme katsayısı değerleri elde edilebilmektedir.

### 5.1. Deney Düzeneğinin Hazırlanması

Deney düzeneğinde sürtünme katsayısının belirlenebilmesi için iki kaymalı yatağın( $180^\circ$  yatak)(2), savrulma diskinin her iki yanında yer alan yatak yuvalarına şekil 5'deki gibi yerleştirilmesi gerekmektedir. Kaymalı yatakları yatak yuvalarına yerleştirebilmek için ilk önce savrulma diski; kablo sarıcının ucunda bulunan çelik milden(1) tutularak yavaşça yukarı doğru kaldırılır. Yatak yuvalarındaki kaymalı yataklar(2) çıkarılıp yerine yeni yataklar yerleştirilir. Savrulma diski ve kablo sarıcı yavaşça yataklar üzerine oturtularak deney düzeneği deney için hazır hale getirilir.

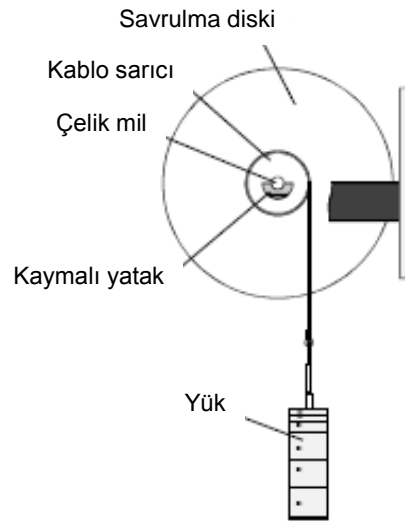


**Şekil 5.** Kaymalı yatakların yatak yuvalarına yerleştirilmesi

## 5.2. Deneyin Yapılışı

Kaymalı yataklardaki sürtünme katsayısının belirlenmesi deneyinin yapılışı aşağıda kısaca anlatılmıştır(Şekil 6):

- Deney düzeneğinde iki ayrı kaymalı yatak “5.1 Deney Düzeneğinin Hazırlanması” bölümünde anlatıldığı gibi yatak yuvalarına yerleştirilir.
- Sarkaç, harekete başlayana kadar yükler sarkaca sırasıyla eklenir. Her bir kaymalı yatak için ne kadarlık bir yüklemenin yapılması gerektiği Tablo 2’de verilmiştir.
- Dönel savrulma diskinin harekete başladığı yük(G) not edilir.
- Eşitlik 10’daki dinamik davranış denkleminde açısal ivme( $\ddot{\phi}$ ) 0 alınarak yerleştirilen kaymalı yatak için sürtünme katsayısı hesaplanır.
- Farklı malzemelerde üretilmiş diğer kaymalı yataklar da yatak yuvalarına yerleştirilip deney tekrarlanarak Tablo 2’deki gibi sürtünme katsayısı tablosu oluşturulur.



Şekil 6. Kaymalı yataklardaki sürtünme katsayısının belirlenmesi deney düzeneği

Her bir kaymalı yatak için yüklerin ağırlığı(G), kayma sürtünme katsayısı ve literatürde yer alan sürtünme katsayısı değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan yatak türleri için yüklerin ağırlığı ve sürtünme katsayısı değerleri

Yatak türü	Yüklerin Ağırlığı [N] (G)	Kayma Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ )	Literatürde verilen sürtünme katsayısı ( $\mu_L$ )
Pirinç malzemeden üretilmiş kaymalı yatak	<9	<0,18	0,18
PTFE malzemeden üretilmiş kaymalı yatak	<10	<0,20	0,04...0,22
Dökme demir(GG25) malzemeden üretilmiş kaymalı yatak	<11	<0,22	0,18...0,24

### 5.3. Kaymalı Yataklardaki Sürtünme Katsayısının Hesabı

Kaymalı yataklardaki sürtünme katsayısının belirlenebilmesi için hızın sabit olması yani ivmenin 0 olması gerekmektedir. Bu nedenle eşitlik (8)'deki ana denklemde açısal ivmenin( $\ddot{\varphi}$ ) 0 alınmasıyla eşitlik (9)'daki denklem elde edilmiştir.

$$\ddot{\varphi} = 0 \rightarrow R.G - (G_S + G). \mu . r = 0 \quad (9)$$

Eşitlik 9'daki denklemden  $\mu$  sürtünme katsayısının çekilmesiyle;

$$\mu = \frac{R.G}{r.(G_S + G)} \quad (10)$$

elde edilmektedir. Eşitlik (10)'daki denklemden sürtünme katsayısı( $\mu$ ), kablo sarıcının yarıçapının(R) artmasıyla artarken; yatak yarıçapının(r) artmasıyla azalmaktadır. Ayrıca, dönen elemanların ağırlığı( $G_S$ ) ve yüklerin ağırlığı(G) da sürtünme katsayısını etkilemektedir. Her bir kaymalı yatak için sarkacı harekete geçiren kuvvet farklı olduğundan sürtünme katsayısı değerleri de farklılık göstermektedir.

**Örnek:** Deney düzeneğinde yatak yuvasına dökme demir(GG25) malzemedan üretilmiş bir kaymalı yatak yerleştirilerek yüzeyler arasında oluşan sürtünme katsayısının değeri hesaplanmak istenmektedir. Bunun için eşitlik (10)'daki denklemden yararlanılmaktadır. Deney düzeneğiyle ilgili fiziksel ve geometrik büyüklükler: kablo sarıcının yarıçapı(R) 41 mm, yatak yarıçapı(r) 8.5 mm, dönel savrulma diski, kablo sarıcı ve milden oluşan dönen elemanların ağırlığı( $G_S$ ) 229 N olarak bilinmektedir. Kaymalı yatağın yerleştirilmesiyle savrulma diskini harekete geçiren kuvvetin(G) 9 N olduğu görülmüştür. Bu durumda sürtünme katsayısı:

$$\mu = \frac{R.G}{r.(G_S + G)} = \frac{41 \times 9}{8,5 \times (229 + 9)} = 0,182$$

olarak bulunur. Diğer kaymalı yataklar için de deneyler yapılarak sürtünme katsayısı tablosu oluşturulur ve sürtünme katsayısı değerleri Tablo 2'deki katalog değerleriyle karşılaştırılır.

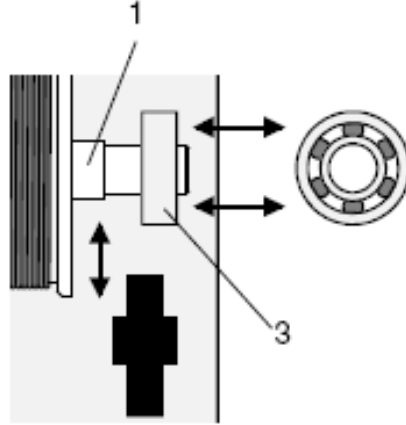
## 6. SİSTEMİN DİNAMİK DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

Deney düzeneğiyle yapılabilecek ikinci deney ise; sistemin dinamik davranışının belirlenmesi deneyidir. Bunun için rulmanlı yatakların yatak yuvasına yerleştirilerek deney düzeneği aşağıda anlatıldığı gibi hazırlanır. Deney düzeneği, deney için hazırlandıktan sonra da sarkaca yükleme yapıp eşitlik (8)'deki dinamik davranış denkleminde sürtünme katsayısı( $\mu$ ) 0 alınır. Böylece açısal ivme( $\ddot{\varphi}$ ), açısal hız( $\omega$ ), çizgisel hız(V), geçen süre(t) gibi parametreler teorik ve deneysel olarak hesaplanarak sistemin dinamik davranışı belirlenir.

### 6.1. Deney Düzeneğinin Hazırlanması

Deney düzeneğinde sistemin dinamik davranışının belirlenebilmesi için iki rulmanlı yatağın(3), savrulma diskinin her iki yanında yer alan yatak yuvalarına Şekil 7'deki gibi yerleştirilmesi gerekmektedir. Rulmanlı yatakları yatak yuvalarına yerleştirebilmek için ilk önce savrulma diski; kablo sarıcının ucunda bulunan milden(1) tutularak yavaşça yukarı doğru kaldırılır. Yatak yuvalarındaki yataklar çıkarılıp yerine rulmanlı yataklar(3) yerleştirilir. Savrulma diski ve kablo sarıcı yavaşça yataklar üzerine oturtularak deney düzeneği deney için hazır hale getirilir.



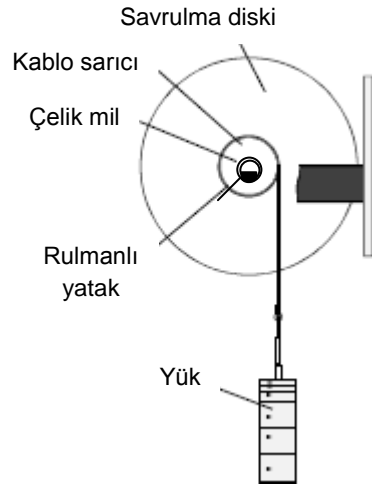


Şekil 7. Rulmanın yataklara yerleştirilmesi

## 6.2. Deneyin Yapılışı

Sistemin dinamik davranışının belirlenmesi deneyinin yapılışı aşağıda kısaca anlatılmıştır(Şekil 8):

- Deney düzeneği, “6.1 Deney Düzeneğinin Hazırlanması” bölümünde anlatıldığı şekilde rulmanlı yatak savrulma diskinin miline yerleştirilerek yatak yuvasına düzgün bir şekilde oturtulur.
- Sarkaca belirli bir yük yüklenerek savrulma diskinin bir tur dönmesi için geçen süre tutulur.
- Fiziksel ve geometrik büyüklükler( $G$ ,  $R$ ,  $J$ ,  $m$ ) kullanılarak teorik olarak açısal ivme( $\ddot{\phi}$ ) ile geçen süre( $t$ ) hesaplanır ve deneysel olarak geçen süreyle karşılaştırılır.
- Uygun denklemlerden faydalanılarak teorik ve deneysel açısal hız( $\dot{\phi}$ ) ve çizgisel hız( $V$ ) hesaplanılıp karşılaştırılır. Yük( $G$ ) değişimine karşılık değişim grafikleri elde edilir.



Şekil 8. Sistemin dinamik davranışının belirlenmesi deney düzeneği

Sistemin dinamik davranışının belirlenebilmesi için sarkaca yüklenen yük en az 1 N ağırlığında olması gerekmektedir.

### 6.3. Dinamik Büyüklükler ve Hesabı

Sistemin dinamik davranışını belirleyebilmek için rulmanlı yatakların, yatak yuvalarına yerleştirilmesi gerekmektedir. Rulmanlı yataklardaki sürtünme katsayısı çok küçük olduğundan eşitlik (8)'deki dinamik davranış denkleminde sürtünme katsayısı( $\mu$ ) 0 olarak alınmıştır.

$$\mu = 0 \rightarrow \ddot{\varphi} \cdot (J + m \cdot R^2) = R \cdot G \quad (11)$$

Eşitlik (11)'den açısal ivmenin( $\ddot{\varphi}$ ) çekilmesiyle aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir.

$$\ddot{\varphi} = \frac{R \cdot G}{J + m \cdot R^2} \quad (12)$$

Açısal ivmenin( $\ddot{\varphi}$ ) belirlenmesiyle savrulma diskinin çizgisel hızı(V), savrulma diskinin dönüş açısı( $\varphi$ ), savrulma diskinin açısal hızı( $\omega$ ) ve savrulma diskinin bir tur dönmesi için geçen süre(t) belirlenebilmektedir. Dönme hareketi için açısal ivmeye karşılık gelen dönüş açısı eşitlik (13)'de verilmiştir:

$$\varphi = \frac{1}{2} \cdot \ddot{\varphi} \cdot t^2 \quad (13)$$

Eşitlik (13)'den savrulma diskinin bir tur dönmesi için geçen süre(t) çekilip savrulma diskinin bir tur dönüşü  $\varphi = 2\pi$  olarak alınırsa; teorik olarak geçen süre(t) hesaplanabilmektedir. Savrulma diskinin bir tur dönmesi için geçen sürenin deneysel olarak da belirlenmesiyle teorik ve deneysel süreler karşılaştırılabilmektedir.

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot \varphi}{\ddot{\varphi}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2\pi}{\ddot{\varphi}}} \quad (14)$$

Eşitlik (12)'den açısal ivmenin( $\ddot{\varphi}$ ) ve eşitlik (14)'den savrulma diskinin bir tur dönüşü için geçen sürenin(t) bulunmasıyla açısal hız( $\omega$ ) hesaplanabilmektedir.

$$\omega = \ddot{\varphi} \cdot t \quad (15)$$

Açısal hızın( $\omega$ ), kablo sarıcının yarıçapıyla(R) çarpılmasıyla çizgisel hız(V) bulunmaktadır.

$$V = \omega \cdot R \quad (16)$$

**Örnek:** Deney düzeneğinde, rulmanlı yataklar yatak yuvalarına yerleştirilerek sistemin dinamik davranışı belirlenmek istenmektedir. Deney düzeneğinde sarkaça 2 N'luk bir yük asılmıştır. Deney düzeneğiyle ilgili fiziksel ve geometrik büyüklükler: kablo sarıcının yarıçapı(R) 0,041 m, dönen elemanların kütsel atalet momenti(J) 0,2506 kg.m<sup>2</sup>, yüklerin kütseli(m) 0,204 kg ve yüklerin ağırlığı(G) 2 N olduğuna göre; savrulma diskinin açısal ivmesini( $\ddot{\varphi}$ ), savrulma diskinin bir tur dönmesi için geçen süreyi(t), savrulma diskinin açısal hızını( $\omega$ ) ve çizgisel hızını(V) teorik ve deneysel olarak hesaplayınız.

Savrulma diskinin açısal ivmesi( $\ddot{\varphi}$ ):

$$\ddot{\varphi} = \frac{R \cdot G}{J + m \cdot R^2} = \frac{0,041 \times 2}{0,2506 + 0,204 \times 0,041^2} = 0,327 \text{ rad/s}^2$$

bulunur. Savrulma diskinin bir tur dönmesi için geçen süre(t):

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot \varphi}{\ddot{\varphi}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2\pi}{\ddot{\varphi}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2\pi}{0,327}} = 6,2 \text{ s}$$

olarak hesaplanır. Deneysel olarak savrulma diskinin bir tur dönmesi için geçen süre( $t_1$ ):

$$t_1 = 6,5 \text{ s}$$

olarak belirlenmektedir. Teorik açısal hız( $\omega$ ) ve deneysel açısal hız( $\omega_1$ ):

$$\omega = \dot{\varphi} \cdot t = 0,327 \times 6,2 = 2,03 \text{ rad/s}$$

$$\omega_1 = \dot{\varphi} \cdot t_1 = 0,327 \times 6,5 = 2,13 \text{ rad/s}$$

olarak belirlenir. Teorik çizgisel hız( $V$ ) ve deneysel çizgisel hız( $V_1$ ):

$$V = \omega \cdot R = 2,03 \times 0,041 = 0,083 \text{ m/s}$$

$$V_1 = \omega_1 \cdot R = 2,13 \times 0,041 = 0,087 \text{ m/s}$$

olarak hesaplanır. Farklı yükler için aynı hesaplamalar tekrarlanarak Tablo 3 oluşturulur.

**Tablo 3.** Sistemin dinamik davranışını belirlenmesi deneyinde bulunan teorik ve deneysel parametreler

Yük (N)	$\dot{\varphi}$ [rad/s <sup>2</sup> ] (Açısal İvme)	t [s] (Teorik süre)	$t_1$ [s] (Deneysel süre)	$\omega$ [rad/s] (Teorik açısal hız)	$\omega_1$ [rad/s] (Deneysel açısal hız)	V [m/s] (Teorik çizgisel hız)	$V_1$ [m/s] (Deneysel çizgisel hız)
1	0,169	8,77	9	1,48	1,521	0,060	0,06
2	0,327	6,2	6,5	2,03	2,13	0,083	0,09
3	0,490	5,06	5	2,48	2,45	0,100	0,10
4	0,653	4,39	4,5	2,867	2,939	0,118	0,12
5	0,815	3,93	4	3,203	3,260	0,131	0,134
10	1,625	2,78	3	4,518	4,875	0,185	0,20

## 7. İSTENENLER

- Tablo 2'deki gibi farklı kaymalı yatak malzemeleri için sürtünme katsayılarını hesaplayarak sürtünme katsayısı tablosu oluşturunuz.
- Literatürde yer alan sürtünme katsayısı değerleriyle karşılaştırarak her bir yatak için hata miktarını bulunuz.
- Rulmanlı yataklardaki dinamik davranış deneyinde farklı yükler için Tablo 3'te verilen teorik ve deney parametreleri hesaplayarak Tablo 3'ü oluşturunuz.
- Yük değişimine karşılık açısal ivme, teorik ve deneysel süre, açısal hız ve çizgisel hız grafiklerini çiziniz.

## 8. KAYNAKLAR

[1] E.KOÇ. Makina Elemanları Cilt-II, 2. Baskı, Nobel Yayınları, Adana, 2006

[2] GUNT TM 232, Experimental Instructions, Bearing Friction Apparatus, Hamburg, Germany, 2010.