

2011 Nisan

[www.guven-kutay.ch](http://www.guven-kutay.ch)

# KAVRAMALAR

## SÜRTÜNME Lİ KAVRAMALAR

14-04

M. Güven KUTAY

## DİKKAT:

İyi niyet, bütün dikkat ve çabama karşın yanlışlar olabilir . Bu nedenle sonucu sorumluluk verecek hesaplarda, ya imalatçının vereceği veya özel deneyler sonucu elde edilen değerlerle hesabın yapılmasını salık verir , hiçbir şekilde maddi, manevi vede hukuki sorumluluk taşımayacağımı belirtirim.

## İÇİNDEKİLER

4.	Sürtünmeli kavramalar .....	3
4.1.	Genel .....	3
4.1.1.	Kavrama ve balata malzemeleri .....	3
4.1.2.	Sürtünmeli kavramada dinamik fazlar .....	5
4.1.3.	Sürtünme momenti " $M_{sü}$ " .....	5
4.1.3.1.	Örnek, Sürtünme momenti .....	9
4.1.4.	Sürtünme işi " $W_{sü}$ " .....	10
4.1.5.	Saatte ortalama sürtünme işi " $W_{süh}$ " .....	10
4.1.5.1.	Örnek, Saatte ortalama sürtünme işi .....	10
4.1.6.	Isınma .....	11
4.1.7.	Kavramanın ömrü .....	12
4.2.	Konik kavramalar .....	13
4.2.1.	Örnek, genel .....	14
4.3.	Düz sürtünmeli kavramalar .....	16
4.3.1.	Lamelli kavramalar .....	16
4.3.2.	Lamelli kavramalarda beraber çalışan malzeme çifti .....	17
4.3.3.	Lamelli kavramalarda konstrüksiyon önerileri .....	17
4.3.4.	Lamelli kavramalarının hesaplanması .....	17
4.3.4.1.	Kavramayı etkileyecek gerekli aksel kuvvet .....	18
4.3.4.2.	Kavramada yüzey basıncı .....	18
4.3.4.3.	Kavramada sürtünme momenti " $M_{sü}$ " .....	19
4.3.4.4.	Kavramada ortalama sürtünme yarı çapı " $r_{or}$ " .....	19
4.3.4.5.	Basit ısı hesabı .....	19
4.3.5.	Örnek, Lamelli kavrama .....	20
4.4.	Kavramanın frenle mukayesesi .....	23
5.	Kaynaklar .....	24
6.	Konu İndeksi .....	25

## 4. Sürtünmeli kavramalar

### 4.1. Genel

Sürtünmeli kavramalar ilke olarak dönme hareketindeki bir parçanın (*Kavrayan*) hareketini sürtünme yolu ile ikinci parçaya (*Kavranan*) ileten makina elemanlarıdır.

Bu elemanla iki halde kullanılırlar:

1. **Durum;** Parçalar hareketsiz iken birbirlerine sürtünme yolu ile bağlanırlar. Bu durumda pek detaylı hesaplara ve düşüncelere girmeye gerek yoktur. Yalnız fonksiyon için gerekli olan torsiyon momenti ( $M_{tGer}$ ) kavramanın oluşturacağı torsiyon momentinden ( $M_{tKav}$ ) belirli bir moment emniyet katsayısı " $S_M$ " kadar küçük olmalıdır.

$$S_{hes} = \frac{M_{tKav}}{M_{tGer}} \geq S_M$$

2. **Durum;** Kavrayan parça işletme devir sayısı ile çalışırken, kavranan parça devreye sokulur. Bu durumun hesabını ve konstrüksiyonunu yapmak için hareketin aşamalarını inceleyelim.

I. Aşama: Kavrayacak parça işletme devir sayısı ( $n_1=n_{i\dot{s}}$ ) ile dönmektedir. Kavranacak parça hareketsizdir ve devir sayısı sıfırdır ( $n_2=0$ ). Parçaların teması yoktur.

II. Aşama: Kavranacak parça her hangi bir hızda işletmeye alınabilir. Bu istek hemen gerçekleşemez. Parçalar arasında önce kaymalı sürtünme başlar ve kavranacak parça ivmelendirilir. Bu kavrayan parçanın enerji kaybına (devir sayısının düşüşüne) sebep olur ve bular enerjiyi ısıya dönüştürür.

III. Aşama: Kavrayan parça ile kavranan parçanın devir sayıları eşitlenmiştir ( $n'_1 = n'_2$ ). İşlemin bu zaman kesimine devreye girme zamanı denir. Fakat bu işletme devir sayısından biraz küçüktür. İki parçanın devir sayıları işletme devir sayısına ulaşıncaya ( $n_1=n_2=n_{i\dot{s}}$ ) ivme olmaz, yani ivme sıfırdır. Burada sürtünme katsayısı da hareketsiz halde geçerli olan sürtünme katsayısıdır.

IV. Aşama: Şartlara veya fonksiyona göre kavranan parça istenilen anda devreden çıkarılır. Bunun işleme, fonksiyona ve kavramaya hiçbir etkisi yoktur.

Bu dört aşama ne kadar sık tekrar ederse kavrama sisteminde;

- a) Isınma
- b) Aşınma

problemlerini oluşturur ve bu problemlerin çözülmesi gerekir.

Sürtünmeli kavramalar işletmeyi durdurmadan istenilen bölümü ayırmak veya tekrar bağlamak için kullanılır. Kavramanın devreye sokulması ve çıkarılması kişiye bağlı ise bu tip kavramalara "*Kumandalı kavramalar*", kendi kendine devreye girip vede devreden çıkıyorsa (örneğin; belli bir devir sayısında), bu tip kavramalara "*Otomatik kavramalar*" denir.

#### 4.1.1. Kavrama ve balata malzemeleri

Torsiyon momenti birbirine bastırılan kavramanın iki yüzeyinin sürtünme kuvveti ile karşılanır. Sürtünme kuvveti sürtünme katsayısı ve yüzeyi etkileyen normal (dik) kuvvetle orantılı olduğundan sürtünme katsayısı yüksek ve sabit olan malzemelerin kullanılması ön görülür.

Böylece seçilecek malzemenin özellikleri şunlar olmalıdır;

- Sürtünme katsayısı yüksek ve sabit,
- Emniyetli yüzey basıncı yüksek,
- Aşınmaya ve ısıya dayanıklı,
- Pislilik ve yağ etkisinde özelliğini kaybetmemek.

Kavramada malzeme seçimi malzeme çifti seçimiyle olur. Malzeme çifti ya **Metal/Metal** veya **Metal/Metal olmayan** malzemeler diye iki gruba ayrılır.

**1.Grup; Metal/Metal** malzeme grubu. Emniyetli yüksek yüzey basıncına ve aşınma mukavemetine, yüksek sıcaklığa dayanmaya, iyi ısı iletkenliğine, pislik ve yağ etkisinde özelliğini kaybetmeye, ıslak ve yağlı ortamda çalışmalarına (yağ iyi bir soğutucudur) karşın, düşük ve sabit olmayan sürtünme katsayılarına sahiptirler ve kuru çalışmada aşınmaları oldukça büyüktür. Bu gruptaki malzemeleri şu şekilde sıralayabiliriz; çelik, çelik döküm, demir, demir döküm, bronz sinterlenmiş ve sinterlenmiş metaller.

**2.Grup; Metal/Metal olmayan** malzeme grubu. Sürtünme katsayıları yüksek olmalarına karşın diğer özellikleri birinci grup malzemelerden küçüktür. Kuru olarak çalışırlar. Bu gruptaki malzemeleri şu şekilde sıralayabiliriz; Asbest (amyant), kösele, tahta.

Bu malzemeler genelde yüksek basınç altında suni reçinelere batırılmış asbestli veya amyantlı dokumalardan yapılır ve devamlı 250 °C , kısa zamanda 500 °C ısıya dayanıklıdır. Bu özellikteki malzemeler genelde **balata** (ara parçası) olarak kullanılır.

Tablo 1, Kavrama çifti malzeme değerleri

Balata	Karşıt malzeme	Sürtünme katsayısı			max Isı °C		Emn. yüzey basıncı $p_{EM}$ N/mm <sup>2</sup>
		Kuru	Hafif yağlı	Yağlı	Kısa zaman	Devamlı	
Reçineli amyant	St, GG	0,4...0,2	0,35...0,15	0,15...0,1	500	250	0,05...1 (8)
Metal yünlü malzeme		0,55...0,45	0,35...0,15	---	300	250	0,05...1 (8)
Deri	Metal	0,6...0,3	0,25	0,15			0,08...0,1
Çelik	Sertleştirilmiş St	---	---	0,1...0,03			0,7...3
Sinterlenmiş bronz		0,17...0,12	---	0,11...0,06	150	100	0,5...3

Parantez içindeki değerler hareketsiz hal için geçerlidir. Hareketsiz halde geçerli olan sürtünme katsayısı  $\mu_0 = 1,25 \cdot \mu$  olarak kabul edilebilir.  
Emniyetli yüzey basıncı  $p_{EM}$  seçimi için aşınma ve ısı çok önemlidir.  
Otomobil disk freni için  $p_{OTO} = (1...2) \cdot p_{EM}$  alınır.

Kavramada çelik çeliğe sürtünüyorsa yüzeylerin birbirini yemesini ve aşınmasını önlemek için, yeteri kadar yağ ile çalışmalarını gerekir. Bronz sinterlenmiş malzeme ile sert çelik sürtünüyorsa kuru olarakta çalışabilir.

Kavramanın sıcaklığı Tablo 1 ile verilen değerleri aşarsa sürtünme katsayısında büyük düşüş meydana gelir ve malzemenin özelliğini değiştirdiğinden aşınma kontrol edilmez hale gelir.

Balataların perçinle bağlantısı "**Nasıl Vinç Yaparım/Balatalı frenler**" kısmında görülmektedir.

Kavramanın fonksiyonu için gereken bası kuvveti şu yollarla kazanılır;

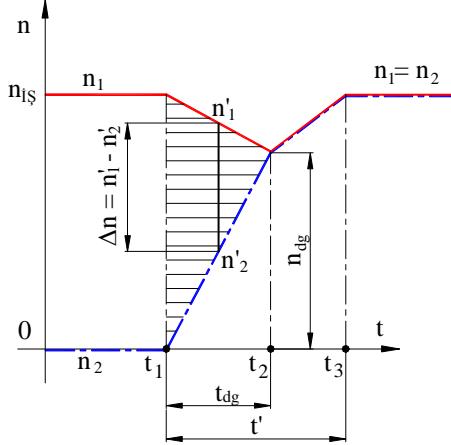
- Mekanik, genelde elastik yaylarla,
- Hidrolik,
- Pnömatik
- Elektrik (Elektro manyetik).

Sürtünme yüzeyinin şekline göre kavramaları şu şekilde gruplara ayırabiliriz;

1. Konik kavramalar,
2. Diskli kavramalar. Bir çok disk olursa Lamelli kavramalar diye adlandırılır.
3. Kasnaklı kavramalar.

#### 4.1.2. Sürtünmeli kavramada dinamik fazlar

Hareketsiz duran makina parçasını hareketli bir mil ile harekete geçirmek bir an içinde olamaz. Bu bir işleme ve zamana bağlıdır. Bu işleme **kavrama işlemi** denir (Şekil 1) ve analizi şöyledir.



Şekil 1, Kavrama diyagramı

a)  $t_1$  anında kavrama (sürtünme) işlemi başlar. Hareketli parça işletme devir sayısı ile dönmektedir,  $n_{iş} = n_1$ . Kavranacak parça hareketsiz,  $n_2=0$  dir ve sıfırdan  $n_1$  devir sayısına (ivmelendirilmelidir) getirilmelidir.

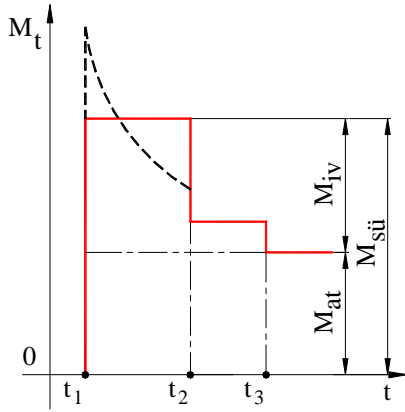
b)  $t_2$  anına kadar parçalar göreceli olarak kayarlar. Bu araya **devreye girme zamanı** " $t_{dg}$ " denir ( $\Delta t_{dg} = t_2 - t_1$ ). Kayma bu arada vardır ve  $t_2$  anından itibaren parçaların göreceli kayması durur. Bu arada  $n_1$  devir sayısında frenlendiğinden, bir miktar düşüş gösterir. Devir sayısı, tahrik momentinin ivmelendirilen kütleye oranına göre düşer.  $t_2$  anında kavrayan parça ile kavranan parça aynı devir sayısına  $n_{Ka}$  gelmiş ve kavrama işlemi bitmiştir.

c)  $n_{Ka}$  dan  $n_1 = n_2 = n_{iş}$  ye kadar geri kalan son işlem parçaların tam kavranmış halleriyle devam eder. Belli bir  $t'$  zamanından sonra parçalar aynı devir sayısı ile dönerler ve  $n_1 = n_2 = n_{iş}$  olur.

Şekil 1 da taranmış kısım ısı değerini gösterir. İkinci, aynı zamanda kavranan, parçanın devir sayısının artışı gösteren  $t_1 t_2$  arasındaki çizgi sabit ivme altında bir doğru olur.

#### 4.1.3. Sürtünme momenti " $M_{sü}$ "

Kavrama işlemi esnasında parçalar göreceli kayarlar ve aralarında kayan sürtünme momenti teatisi olur. Sürtünme momenti statik ve dinamik karşı koyma momentlerini karşılayıp kavrama fonksiyonunu oluşturmak ister. Sürtünme momenti  $M_{sü}$  konstrüksiyon değerleriyle bağıntılıdır. Kuvvet büyüklüğü ve etki çapı, sürtünme yüzeyi, malzemesi ve kalitesi (sürtünme katsayısı  $\mu$ ) gibi. Kavrama işleminin bitişinde etkili olan tutuk sürtünme momentidir " $M_{sü0}$ " ve normal sürtünme momentinden büyüktür. Bu düşünceler emniyet kavramaları içinde geçerlidir. Buna göre sürtünme momenti;



Şekil 2, Kavramada moment diyagramı

$$M_{sü} = M_{at} + M_{iv} \quad F(1)$$

$M_{sü}$	Nm	Sürtünme momenti
$M_{at}$	Nm	Atalet momenti (statik moment)
$M_{iv}$	Nm	İvme momenti (dinamik moment)

Formül F ( 1 ) ile ivme momentini hesaplırsak;  $M_{iv} = M_{sü} - M_{at}$

Burada sürtünme momenti " $M_{sü}$ " ve atalet momenti " $M_{at}$ " sabit olduğundan, ivme momenti " $M_{iv}$ " de sabit olur. Kavranan parçanın devir sayısında linear büyür. Böylece  $t_1 t_2$  arasındaki çizgi sabit ivmede olacağı gibi bir doğru olur. Genel olarak atalet momenti " $M_{at}$ ", normal torsiyon momenti " $M_t$ " dir;

$$M_{at} = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{P_2}{2 \cdot \pi \cdot n_2} = 0,1592 \cdot \frac{P_2}{n_2} \quad F(2)$$

$P_2$	W	Kavranan parçadaki güç
$\omega_2$	$s^{-1}$	Kavranan parçadaki açısal hızı
$n_2$	$s^{-1}$	Kavranan parçanın devir sayısı

İvmenin sabit olması durumunda ivme momenti " $M_{iv}$ ";

$$M_{iv} = J_m \cdot \alpha \quad F(3)$$

$J_m$	$\text{kgm}^2$	Dönel kütlelerin kütleseleylemsizlik momenti
$\alpha$	$\text{ms}^{-2}$	Açısal ivme

Kavrama miline indirgenmiş dönel kütlelerin kütleseleylemsizlik momenti " $J_m$ ";

$$J_m = m \cdot i^2 \quad F(4)$$

$m$	$\text{kg}$	Kavranan parçanın kütle ağırlığı "G"
$i$	$\text{m}$	Atalet (eylemsizlik) yarı çapı. Atalet (eylemsizlik) çapı $D = 2 \cdot i$

Bu değerleri forülde yerleştirirsek;

$$J_m = m \cdot i^2 = m \cdot \frac{D^2}{4} = \frac{GD^2}{4 \cdot g}$$

$$J_m = \frac{GD^2}{4 \cdot g} \quad F(5)$$

$GD^2$	$\text{Nm}^2$	Savurma momenti
$M_{iv} = \frac{GD^2}{4 \cdot g} \cdot \alpha$		

$$M_{iv} = \frac{GD^2 \cdot \pi \cdot n}{2 \cdot g \cdot t_{dg}} \quad F(6)$$

$J_m$	$\text{kgm}^2$	Dönel kütlelerin kütleseleylemsizlik momenti
$\alpha$	$\text{ms}^{-2}$	Açısal ivme

Diğer taraftan açısal ivme " $\alpha$ ";

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

Devreye girme zamanını ( $t_{dg}$ ) ivme işinden bulabiliriz. Bu kinetik enerjinin artışıyla eşittir.

$$W_{iv} = \int_0^{t_{dg}} M_{iv} \cdot d\phi$$

Burada  $\omega_2 = \frac{d\phi}{dt}$  bağıntısından  $d\phi = \omega_2 \cdot dt$  ve açısal hız " $\omega$ "  $\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot n_2$

$$W_{iv} = \int_0^{t_{dg}} M_{iv} \cdot \omega_2 \cdot dt = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{t_{dg}} M_{iv} \cdot n_2 \cdot dt$$

" $n_2 \cdot dt$ " değeri Şekil 1 de taranmış kısım (ısı değerini) ve " $2 \cdot \pi \cdot n_2 \cdot dt$ " değeri devreye girme zamanında, radyan birimiyle kavranan parçanın dönme açısını " $2 \cdot \pi \cdot n_2 = \omega_2$ " gösterir. Sabit ivme momenti etkisinde kavranan parçanın devir sayısı " $n_2 \cdot dt = 0,5 \cdot n_{dg} \cdot t_{dg}$ " olduğundan ivmenin oluşturduğu kinetik enerji " $W_{iv}$ ";

$$W_{iv} = \pi \cdot M_{iv} \cdot n_{dg} \cdot t_{dg}$$

Burada devir sayısı  $n_{dg} = \omega / (2\pi)$  yerleştirilirse;

$$W_{iv} = 0,5 \cdot M_{iv} \cdot \omega_2 \cdot t_{dg}$$

Bu formülden *devreye girme zamanı* " $t_{dg}$ "

$$t_{dg} = \frac{2 \cdot W_{iv}}{\omega_2 \cdot M_{iv}} \quad F(7)$$

Diğer taraftan sabit ivmeli işlemlerde açısal ivme " $\alpha$ "  $\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega}{t_{dg}}$

*Açısal ivme* " $\alpha_{iv}$ " ;

$$\alpha_{iv} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{t_{dg}} \quad F(8)$$

ve buradan ;

$$M_{iv} = J_m \cdot \frac{\omega}{t_{dg}}$$

Bu değeri

$$W_{iv} = 0,5 \cdot M_{iv} \cdot \omega_2 \cdot t_{dg} \quad \text{formülünde yerleştirirsek;}$$

İvme enerjisi " $W_{iv}$ " ;

$$W_{iv} = 0,5 \cdot J_{m2} \cdot \omega_2^2 \quad F(9)$$

$J_{m2}$        $\text{kgm}^2$   
 $\omega_2$          $\text{ms}^{-1}$

Kavranan parçanın kütleli eylemsizlik momenti  
Kavranan parçanın açısal hızı

Devreye girme zamanını azaltmak için (bak F ( 7 )) ivme momentini, dolayısıyla sürtünme momentini büyötmek gerekir. Sürtünme momentinin artmasıyla enerji kaybı büyür ve motor bu momentini karşılayamaz olur. Bu darbelere, parçaların çabuk yıpranmasına ve motorun durmasına sebep olur. Buna en güzel örnek otomobildir. Devreye girme zamanını kısaltırsak motor ya durur veya silkinerek titreyerek çalışır. Buna sebep vitesi sert şekilde atmaktır. Eğer vites tatlıca geçirilirse bu haller olmaz.

Hesaplamalarda devreye girme zamanı " $t_{dg}$ " ve savurma momenti " $GD^2$ " bilinmiyor ve hesaplanamıyorsa sürtünme momenti " $M_{sü}$ " atalet (torsiyon) momentinin sürşarj (fazla yükleme) katsayısı " $\varphi$ " ile büyöltölerek hesaplanır;

$$M_{sü} = \varphi \cdot M_{at} \quad F(10)$$

$M_t$       Nm  
 $\varphi$         1

Atalet/Torsiyon momenti  
Sürşarj (fazla yükleme) katsayısı

Sürşarj (fazla yükleme) katsayısı " $\varphi$ " tecrübelerine göre seçilir. Fakat bu değer üç faktörden oluşur;

$$\varphi = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \quad F(11)$$

$\varphi_1$       1  
 $\varphi_2$       1  
 $\varphi_3$       1

Çalışma saati katsayısı  
Kuvvet makinası cinsi ve işletme katsayısı  
İlk hareket katsayısı

Seçimi kolaylaştırmak için Tablo 2 ile Tablo 4 de  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  değerleri verilmiştir,

Tablo 2, Çalışma saati katsayısı " $\varphi_1$ "

	Günlük çalışma saatine göre $\varphi_1$ katsayısı			
	0 ... 2	2 ... 8	8 ... 16	16 ... 24
Bir gündeki çalışma saati "h"	0 ... 2	2 ... 8	8 ... 16	16 ... 24
Çalışma saati katsayısı " $\varphi_1$ "	0,9	1,0	1,12	1,25

Tablo 3, Kuvvet makinası cinsi ve işletme katsayısı " $\varphi_2$ "

Tahrik makinasının cinsi						
Patlamalı motorlar (1 ila 3 silindirli)						
Patlamalı motorlar (4 ila 6 silindirli), su türbinleri						
Elektrik motorları ve buhar türbinleri						
	İlk hareket momenti	İşletme şekli	İş makinasının (tahrik edilen makinanın) cinsi			
a)	Küçük	Düzgün	Santrifuj pompalar, ışık jeneratörleri, vantilatörler ( $P/n \leq 0,05$ ), transmisyenler, küçük marangoz tezgahları	1,0	1,2	1,4
b)	Küçük	Düzgün	Sac bükme makinaları, genel hafif iş makinaları, aspiratörler ve vantilatörler ( $P/n \leq 0,05 \dots 0,1$ ), eşit yayılı yük konveyörleri, sıvı karıştırıcıları, küçük tekstil makinaları, turbo vantilatör ve kompresörleri, takım tezgahları	1,2	1,4	1,7
c)	Orta	Düzgün olmayan	Orta iş tezgahları, basım ve boyahane makinaları, parça yük konveyörleri, mal sevk eden tamburları, jeneratörler, orta marangoz tezgahları, yarı sıvı için santrifuj pompalar, karıştırıcılar, paçavra parçalama makinaları, iplik makinaları, yarı sıvı karıştırıcıları, zımpara ve taşlama tezgahları, titreşimli elekler, yem makinaları, kurutucu ocak ve tamburlar, inşaat vinçleri, vantilatörler ( $P/n > 0,1$ ), yük asansörleri	1,4	1,7	2,0
d)	Orta	Düzgün olmayan, hafif darbeleri	Beton karıştırıcıları, harman makinaları, kazık çakan çekiçler, maden ocağı vantilatörleri, asma raylı transportörler, vargel planyaları, kağıt baskı silindirleri, zincirli transmisyenler, toprak makinaları, hamur makinaları, pistonlu pompalar, kompresörler, vinçler, değirmenler, pres pompaları, insan asansörleri, makaralı hafif transportörler, gemi milleri, tel halat makinaları, iplik bükme makinaları, yol silindirleri, sanayi çamaşır makinaları, büyük ve devamlı çalışan dokuma tezgahları, santrifujler	1,7	2,0	2,4
e)	Büyük	Düzgün olmayan, orta darbeleri	Ekskavatörler (Kazaratlar), kurşun hadde tezgahları, tel çekme makinaları, lastik haddeler, çekiçli değirmenler, şahmerdanlar, hafif volanlı pistonlu pompalar, öğütücüler, presler, sondaj matkapları, titreşimli elekler, titreşimli makinalar, makaslar, demirhane presleri, zimbalar, şeker kamışı kırıcıları, kırıcılar	2,0	2,4	2,8
f)	Çok büyük	Düzgün olmayan, ağır darbeleri	Hizlarlar, volansız pistonlu pompa ve kompresörler, makaralı ağır transportörler, kaynak jeneratörleri, taş kırıcıları, mıcır makinaları, metal hadde tesisleri, tuğla ve kiremit presleri	2,4	2,8	3,3
g)			Kağıt makinaları	3,1	3,6	4,3

Tablo 4, İlk hareket katsayısı " $\varphi_3$ "

Saatteki hareket sayısı	1	1...20	20...40	40...80	80...160	> 160	
Tablo 3 ile gösterilen çalışma şekline göre	a)	1,0	1,20	1,30	1,50	1,60	2,00
	b)	1,0	1,09	1,18	1,37	1,46	1,80
	c)	1,0	1,08	1,17	1,25	1,33	1,65
	d)	1,0	1,07	1,15	1,23	1,23	1,55
	e)	1,0	1,07	1,12	1,18	1,18	1,32
	f+g)	1,0	1,06	1,08	1,10	1,10	1,10



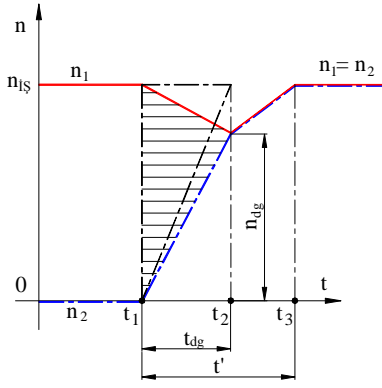
#### 4.1.3.1. Örnek, Sürtünme momenti

Sürtünme kavramasıyla aşağıda verilen değerleri olan bir parça sabit ivme ile kavranacaktır.

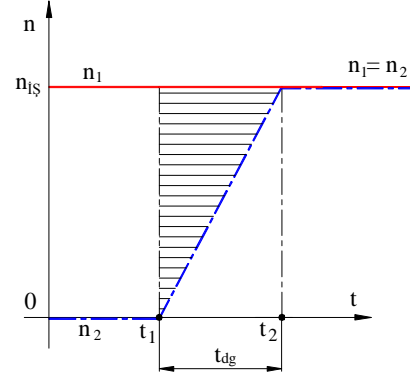
Atalet momenti	$M_{at} = 190 \text{ Nm}$
Devreye girme zamanı	$t_{dg} = 2 \text{ s}$
Müşterek işletme devir sayısı	$n_{i\dot{s}} = 500 \text{ d/dak} = 8,33 \cdot \text{s}^{-1}$
Kavranacak parçadaki savurma momenti	$GD^2 = 250 \text{ Nm}^2$

Kavramanın sürtünme momenti " $M_{sü}$ " ne kadar olmalıdır?

**Çözüm;**



Şekil 3, Teorik diyagram



Şekil 4, Basitleştirilmiş diyagram

Yukarıda Şekil 3 ile teorik ve Şekil 4 ile pratik için basitleştirilmiş kavrama diyagramı görülmektedir. Taranmış ısı değerini gösteren kısım Şekil 4 de daha büyüktür. Bu büyüklük seçilecek kavramayı (freni) daha emniyetli yapmasının yanında, pratik çözümdede çok kolaylık sağlayacaktır. Pratikte kavrayan parçanın (motorun) devir sayısının düşüşü, ya çok zor hesaplanır veya hesaplanamaz. Bunun içinde pratikte hemen hemen her zaman basitleştirilmiş diyagram kullanılır. Devreye girme zamanındaki devir sayısının yüksek alınması açısıl ivmeyi, buda daha büyük sürtünme momentini oluşturur. Böylece problemin basitleştirilmiş diyagramla çözülmesi kavramada (frende) saklı bir emniyet katsayısı oluşturur.

**Genel çözüm prensibini buradada uygulayalım. Problemi genel çözümünden detaya doğru, teorik olarak, yukarıdan aşağıya doğru bilinen değerlere kadar çözelim. Sonra bilinen değerleri aşağıdan yukarıya sayısal olarak yerleştirip problemi sayısal çözelim.**

$$\text{Sürtünme momenti; } M_{sü} = M_{at} + M_{iv}$$

$$\text{Atalet momenti; } M_{at}$$

$$\text{İvme momenti; } M_{iv} = J_m \cdot \alpha$$

$$\text{Kütlesel eylemsizlik momenti; } J_m = \frac{GD^2}{4 \cdot g}$$

$$\text{Açısıl ivme ; } \alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{t_{dg}}$$

$$M_{sü} = 190 + 166,851 = 356,851$$

$$M_{iv} = 6,373 \cdot 26,18 = 166,851$$

$$J_m = \frac{250}{4 \cdot g}$$

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,33}{2}$$

$$\mathbf{M_{sü} = 357 \text{ Nm}}$$

$$M_{at} = 190 \text{ Nm}$$

$$M_{iv} = 166,85 \text{ Nm}$$

$$J_m = 6,373 \text{ kgm}^2$$

$$\alpha = 26,18 \text{ s}^{-2}$$

Sürşarj katsayısı  $\phi$ ,  $GD^2$  ve  $t_{dg}$  değerleri verilmemiş olduğunu ve makinanın tek vardiya çalışan elektrik motoru tahrikli vinç olduğu ve saatteki hareket sayısının 15 kabul edelim. Sürtünme momenti  $M_{sü}$  yi bulalım.

$$\phi = \phi_1 \cdot \phi_2 \cdot \phi_3 = 1,0 \cdot 1,7 \cdot 1,07 = 1,819$$

$$M_{sü} = M_{at} \cdot \phi = 190 \cdot 1,819 = 345,61 \text{ Nm}$$

Çalışma saati katsayısı, tek vardiya Tablo 2 den

$$\phi_1 = 1,0$$

İşletme katsayısı, elektrik motoru, vinç Tablo 3 den

$$\phi_2 = 1,7$$

İlk hareket katsayısı, Tablo 3 de d) ve hareket sayısının 15, Tablo 4 den  $\phi_3 = 1,07$

**Dikkat ;** Her nekadarda burada fark az görünüyorsa  $\phi$  ile yapılan hesaplarda büyük farklar olabilir.

#### 4.1.4. Sürtünme işi "W<sub>sü</sub>"

Kavramanın devreye girme zamanındaki (t<sub>dg</sub>) devir sayıları farkından (Δn) oluşan sürtünme işi (W<sub>sü</sub>) ya ısıyla veya aşınma ile kaybolur. Kavramanın ısı olarak dışarıya vereceği iş, eğer sürtünme momenti sabit ise veya sabit kabul edilebiliniyorsa şu şekilde ifade edilebilir:

$$W_{sü} = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{t_{dg}} M_{sü} \cdot \Delta n \cdot dt \quad F ( 12 )$$

M <sub>sü</sub>	Nm	Sürtünme momenti
Δn	s <sup>-1</sup>	Parçaların devir sayıları farkı
		Δn = n <sub>1</sub> - n <sub>2</sub>

Burada "Δn . dt" değeri Şekil 1 da taranmış olan ısı değeridir. Bu sürtünmeden oluşan ısı miktarını gösterir. Sabit ivmeli harekette bu değer; "Δn . dt = 0,5 . n<sub>1</sub> . t<sub>dg</sub>" olarak bulunur ve değerleri F ( 12 ) formülüne yerleştirirsek sürtünme işinin değerini buluruz;

$$W_{sü} = 2 \cdot \pi \cdot M_{sü} \cdot 0,5 \cdot n \cdot t_{dg}$$

Açısal hız "ω";

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad F ( 13 )$$

$$W_{sü} = 0,5 \cdot M_{sü} \cdot \omega \cdot t_{dg} \quad F ( 14 )$$

M <sub>sü</sub>	Nm	Sürtünme momenti
ω	s <sup>-1</sup>	Açısal hız
t <sub>dg</sub>	s	Devreye girme zamanı

#### 4.1.5. Saatte ortalama sürtünme işi "W<sub>süh</sub>"

Kavramanın bir saatte devreye kaç kere alındığını bilirsek, kavramanın bir saatte ne kadar ortalama sürtünme işi ürettiğini veya kaybettiğini bulabiliriz.

$$W_{süh} = z_{dg} \cdot W_{sü} \quad F ( 15 )$$

z <sub>dg</sub>	h <sup>-1</sup>	Saatte devreye girme sayısı
-----------------	-----------------	-----------------------------

##### 4.1.5.1. Örnek, Saatte ortalama sürtünme işi

Saatte devreye girme sayısı z<sub>dg</sub> = 40 h<sup>-1</sup> ise, Örnek 4.1.3.1 de verilen kavrama bir saatte ne kadar ortalama sürtünme işi üretir?

**Çözüm;**

Ortalama sürtünme işi; W<sub>süh</sub> = z<sub>dg</sub> · W<sub>sü</sub>

$$W_{süh} = \frac{40 \cdot 357}{3600}$$

$$W_{süh} = 207,6 \text{ W}$$

Saatte devreye girme sayısı; z<sub>dg</sub>

$$z_{dg} = 40 \text{ h}^{-1}$$

Sürtünme işi; W<sub>sü</sub> = 0,5 · M<sub>sü</sub> · ω<sub>2</sub> · t<sub>dg</sub>

$$= 0,5 \cdot 357 \cdot 53,36 \cdot 2$$

$$W_{sü} = 18685 \text{ Nm}$$

Sürtünme momenti; M<sub>sü</sub>

$$M_{sü} = 357 \text{ Nm}$$

Açısal hız; ω<sub>2</sub> = 2 · π · n<sub>2</sub>

$$\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot 500/60$$

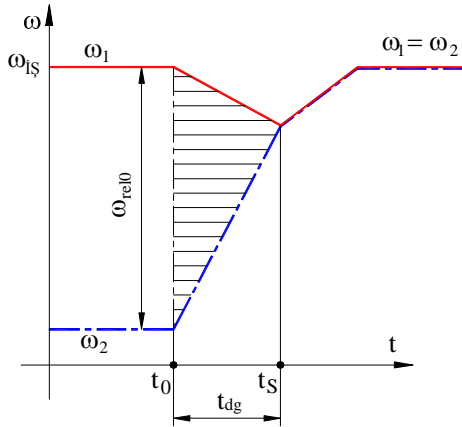
$$\omega_2 = 53,36 \text{ s}^{-1}$$

Devreye girme zamanı; t<sub>dg</sub>

$$t_{dg} = 2 \text{ s}$$

#### 4.1.6. Isınma

Aşağıda Şekil 5 de gösterilen iş diyagramına göre kavramanın zaman biriminde üreteceği ısı miktarı şu formülle hesaplanır, bak F ( 15 ).



Şekil 5, İş diyagramı

$$Q_{sü} = \frac{Z_{dg} \cdot M_{sü} \cdot \omega_{rel0} \cdot t_{dg}}{2} \quad F ( 16 )$$

$Z_{dg}$	$h^{-1}$	Saatte devreye girme sayısı
$M_{sü}$	Nm	Sürtünme momenti
$\omega_1$	$s^{-1}$	Açısal hız
$t_{dg}$	s	Devreye girme zamanı

Kavrama ısınması emniyet sınırlarını aşmaması isteniyorsa, şu bağıntı sağlanmalıdır;

$$Q_{sü} \leq Q_{süEM}$$

Emniyetli kavrama ısı derecesi  $Q_{süEM}$  kavrama imalatçıları tarafından verilmektedir. Eğer kavramayı kendimiz üretiyorsak bu değeri ya kendimiz hesaplarız veya diğer hesap yollarını seçeriz. Isının diğer hesaplama yollarının seçimi konstrüktörün elindeki bilinen değerlere, maksada, duruma ve hesabın hassasiyetine bağlıdır.

##### a) Devreye girme sayısı azsa

Böyle kavramalara ısı deposu denir ve devreye girme ara molası uzun olduğundan oluşan ısı çabucak çevreye verilir. Emniyetli sürtünme ısısı " $Q_{süEM}$ " hesabı şu formülle yapılır;

$$Q_{süEM} = m \cdot c \cdot (\vartheta_{EM} - \vartheta_0) \quad F ( 17 )$$

m	kg	Isıyı alan parçanın kütlesi
c	J/kg	Özgül ısı, çelik için 420 J/kg
$\vartheta_{EM}$	°C	Kavrama için ortalama emniyetli ısı
$\vartheta_0$	°C	Çevre ısısı

Kavrama için ortalama emniyetli ısı  $\vartheta_{EM}$  balatanın veya sürtünme yüzeyi malzemesinin kaldırabileceği emniyetli ısı değeridir.

##### a) Devreye girme sayısı çok veya devamlı girip-çıkma

Bu tarzda çalışan kavramaların konstrüksiyonu *ısı değiştirici* olarak yapılmalıdır. Kavramanın çevreye vereceği ısı miktarı " $Q_A$ ."

$$Q_A = q_A \cdot A_a \cdot (\vartheta_{EM} - \vartheta_0) \quad F ( 18 )$$

$q_A$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Isı verme katsayısı Konveksiyon, ışınlama ve temasla iletilen ısı için. Bu değer deneylerle bulunur. Hava için öneriler; Çevre hızı $v_{çe} < 1 \text{ m/s} \Rightarrow q_A \approx 5 \dots 9 \text{ W}/(m^2 \cdot ^\circ C)$ Çevre hızı $v_{çe} \geq 1 \text{ m/s} \Rightarrow q_A \approx 9 \cdot v_{çe}^{0,2} \dots 9 \cdot v_{çe}^{0,7} \text{ W}/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$A_a$	$m^2$	Kavramanın ısı veren dış yüzey alanı
c	J/kg	Özgül ısı, çelik için 420 J/kg
$\vartheta_{EM}$	°C	Kavrama balatasının ortalama emniyetli ısı değeri
$\vartheta_0$	°C	Çevre ısısı

Devreye girme sayısı çok veya devamlı girip-çıkma olursa enerji sarfiyatı ona göre artar. Bunu şu basit örnekle görebiliriz. Otomobilde motor devamlı çalışır ve sık sık dur kalkta, bilhassa şehir içi trafikte bu çok yaşanır, benzin sarfiyatı oto yolda harcanan benzin sarfiyatından oldukça fazla olur.

Bu işlemlerle sistem faydalı enerjiyi kaybeder. Fakat bildiğimiz gibi enerji kaybı, enerjinin ısıya dönüşmesi demektir. Isının artması; aşınmanın fazlalaşmasını, sürtünme katsayısının küçülmesine, malzemenin özelliklerinin değişmesine ve buda parçanın fonksiyonun tam yerine getirememesine sebep olur.

#### 4.1.7. Kavramanın ömrü

Kavramanın ömrü sürtünme yüzeyinin aşınma ve dayanmasıdır ve saat olarak " $L_h$ " şu formülle hesaplanır.

$$L_h = \frac{V_{AŞEM} \cdot \rho_{Wsü}}{W_{sü}}$$

$$W_{süh} = W_{sü} \cdot 3,6 \cdot 10^6$$

$$W_{sü} = \frac{W_{süh}}{3,6 \cdot 10^6}$$

$$L_h = \frac{3,6 \cdot 10^6 \cdot V_{AŞEM} \cdot \rho_{Wsü}}{W_{sü}}$$

F ( 19 )

$V_{AŞEM}$	$m^3$	Emniyetli aşınma hacmi
$\rho_{Wsü}$	$kWh/m^3$	Özgül aşınma işi
$W_{sü}$	$kW$	Ortalama sürtünme işi

Burada özgül aşınma işi deneylerle bulunan bir büyüklüktür. Bu değer ya balata üreticileri tarafından verilir veya kaba olarak bir çok literatürde verilmiş olan ve burada Tablo 5 ile verilen değerler kabul edilir. Tablo 5 ile verilmiş olan değerler tam karar verilecek hesaplar için kullanılmaz. Eğer aşağı yukarı balata ömrünü hesaplamak isteyenler için bir öneri olarak verilmiştir. Sihhatli hesap için özgül aşınma işi değerini tam bilmek gerekir,

Tablo 5, Özgül aşınma işi " $\rho_{Wsü}$ "

Balata	Karşıt malzeme	$\rho_{Wsü}$ kWh/m <sup>3</sup>	
		Kuru	Yağlı
Reçineli amyant	St, GS, GG, GGG	3,5 ... 6	≤ 15
Metal yünlü malzeme	St, GS, GG, GGG	3,5 ... 6	≤ 15
Bronz	Bronz	≤ 15	≤ 22
Sinterlenmiş bronz	Sertleştirilmiş St	≤ 15	≤ 22
GS, GG, GGG	GS, GG, GGG	≤ 15	≤ 22
St	GS, GG, GGG	≤ 15	≤ 22
Sinterlenmiş bronz	St	≤ 18	≤ 22
St (Sertleştirilmiş)	St (Sertleştirilmiş)	≤ 22	≤ 30

St = Çelik

Emniyetli aşınma hacmi " $V_{AŞEM}$ " şöyle hesaplanır:

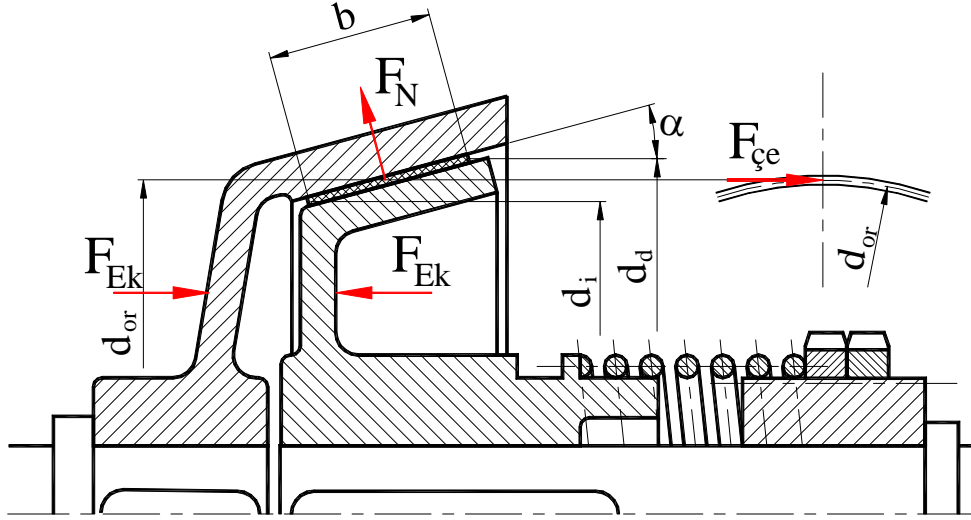
$$V_{AŞEM} = h_{EM} \cdot A_{fa}$$

F ( 20 )

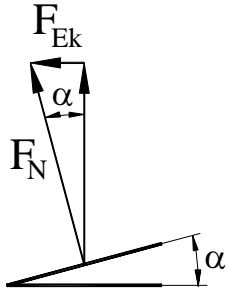
$V_{AŞEM}$	$m^3$	Emniyetli aşınma hacmi
$h_{EM}$	$m$	Emniyetli aşınma yüksekliği. Balatanın aşınma sınırı
$A_{fa}$	$m^2$	Balatanın faydalı sürtünme yüzeyi alanı

#### 4.2. Konik kavramalar

Konik sürtülmeli kavramalar kısa olarak "**Konik kavramalar**" diye adlandırılır ve Şekil 6 ile gösterilmiştir. Konik kavramadaki bağlantılar şu şekildedir.



Şekil 6, Konik kavrama



Kavramadaki hesaplanan sürtünme momenti " $M_{sühe}$ " Şekil 6 ile;

$$M_{sü} = 0,5 \cdot d_{or} \cdot F_{çe}$$

Burada çevre kuvveti " $F_{çe}$ ";

$$F_{çe} = \mu \cdot F_N$$

Normal kuvvet " $F_N$ ";

$$F_N = F_{Ek} / \sin \alpha$$

Bu değerleri yerleştirirsek;

$$M_{sühe} = 0,5 \cdot d_{or} \cdot \mu \cdot F_N$$

$$M_{sühe} = 0,5 \cdot d_{or} \cdot \mu \cdot F_{Ek} / \sin \alpha$$

**Konik kavrama için gerekli veya kavramanın eksenel kuvveti " $F_{Ek}$ ";**

$$F_{Ek} = \frac{2 \cdot M_{sü} \cdot \sin \alpha}{\mu \cdot d_{or}}$$

F (21)

$d_{or}$	m	Ortalama sürtünme çapı " $d_{or}$ " = $0,5 \cdot (d_d + d_i)$
$\mu$	1	Balatanın sürtünme katsayısı

**Kavrama balatasındaki yüzey basıncı " $p_{Ka}$ ";**

$$p_{Ka} = \frac{F_N}{A} = \frac{F_{Ek}}{A \cdot \sin \alpha}$$

$$A = \pi \cdot d_{or} \cdot b$$

$$p_{Ka} = \frac{F_{Ek}}{\pi \cdot d_{or} \cdot b \cdot \sin \alpha}$$

F (22)

$F_{Ek}$	N	Eksenel kuvvet
$d_{or}$	m	Ortalama sürtünme çapı
$b$	m	Balata genişliği
$\alpha$	1	Koniklik açısı

**Koniklik açısı " $\alpha$ ";**

Kavramanın kolayca açılabilmesi ve blokajı önlemek için koniklik açısı çok küçük seçilmemelidir. Koniklik açısı için şu büyüklük önerilir;

$$\alpha = 10^\circ \dots 25^\circ$$

**Isınma, özgül sürtünme gücü " $P'_{Sü}$ "**

Tam ve garantili olarak ısınma hesabının teorik olarak yapılması oldukça zordur. Pratikte özgül sürtünme gücünü " $P'_{Sü}$ " hesaplamakla yetinilir.

$$F_N = p_{Ka} \cdot A$$

$$P_{Sü} = F_{çe} \cdot v_{çe} = \mu \cdot F_N \cdot v_{çe} = \mu \cdot p_{Ka} \cdot A \cdot v_{çe}$$

$$P'_{Sü} = P_{Sü} \cdot A^{-1} = \frac{\mu \cdot p_{Ka} \cdot A \cdot v_{çe}}{A} = \mu \cdot p_{Ka} \cdot v_{çe}$$

$$v_{çe} = \frac{d_{or} \cdot \omega}{2} = d_{or} \cdot \pi \cdot n$$

Özgül sürtünme gücü " $P'_{Sü}$ " ;

$$P'_{Sü} = \mu \cdot p_{Ka} \cdot v_{çe}$$

F ( 23 )

$\mu$	1	Balatanın sürtünme katsayısı
$p_{Ka}$	$N/m^2$	Kavramada (balatada) yüzey basıncı
$v_{çe}$	$m/s$	Ortalama çevresel hız
$n$	$1/s$	Ortalama devir sayısı

Pratikte tecrübelerle bulunan şu değer emniyetli özgül sürtünme gücü olarak önerilir;

$$P'_{SüEM} = \mu \cdot p_{Ka} \cdot v_{çe} = (1 \dots 3) \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$$

**Sürtünme katsayıları " $\mu$ " ;**

Sürtünme yüzeyleri taşlanmış; GG ile GG ve hafif yağlanmış  $\mu = 0,05 \dots 0,1$  ve  $\alpha \geq 10^\circ$

Sürtünme yüzeyleri taşlanmış; GG ile sert doku ve hafif yağlanmış  $\mu = 0,15 \dots 0,35$  ve  $\alpha \geq 20^\circ$

**4.2.1. Örnek, genel**

Konstrüksiyon taslağına göre, bir iş makinası devir sayısı  $n = 700$  d/dak olan, 8 kutuplu elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Motor devamlı çalıştırılacak ve iş makinası saatte 12 defa işletmeye alınacaktır.

İşletmeye alma zamanı her seferinde  $t_{dg} = 3$  saniye olmalı ve makinanın dönen kütlesi 3 saniye sonunda sıfırdan ( $n_2 = 0$ ) motor devir sayısına ( $n_2 = n_1 = 700$  d/dak) ulaşmalıdır. Makinanın kavramaya getirilmiş atalet momenti  $M_{at} = 200$  Nm ve kütleli atalet momenti  $J_m = 7$  Nms<sup>2</sup> olarak bilinmektedir. Bilinen veya kabul edilen diğer değerler şöyledir;

Balata	Suni reçineli amyant.
Balatanın sürtündüğü malzeme	Çelik
Sürtünme durumu	Kuru sürtünme, önerilen sürtünme katsayısı $\mu = 0,35$
Koniklik açısı	$\alpha = 25^\circ$
Kavramanın ortalama çapı	$d_{or} = 550$ mm
Emniyetli yüzey basıncı	$p_{EM} = 0,08$ N/mm <sup>2</sup>

Aranan değerler;

1. Sürtünme momenti " $M_{sü}$ ",
2. Kavrama için gereken aksenal kuvvet " $F_{Ek}$ ",
3. Balata genişliği " $b$ ",
4. Saatteki ortalama sürtünme gücü (işi) " $W_{süh}$ ".

### Çözüm 1 Sürtünme momenti;

Sürtünme momenti F ( 1 );

$$M_{sü} = M_{at} + M_{iv}$$

Atalet momenti (biliniyor)

İvme momenti F ( 3 );

$$M_{iv} = J_m \cdot \alpha_{iv}$$

Kütle atalet momenti  $J_m$  (biliniyor)

Açısal ivme F ( 8 );

$$\alpha_{iv} = \omega \cdot t_{dg}$$

$$= 200 + 171,04$$

$$M_{sü} = 371,04 \text{ Nm}$$

$$M_{at} = 200 \text{ Nm}$$

$$= 7 \cdot 24,435$$

$$M_{iv} = 171,04 \text{ Nm}$$

$$J_m = 7 \text{ Nms}^2$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot 700 / (60 \cdot 3)$$

$$\alpha_{iv} = 24,435 \text{ s}^{-2}$$

### Çözüm 2 Kavrama için gereken aksenal kuvvet;

Eksenal kuvvet F ( 21 );

$$F_{Ek} = \frac{2 \cdot M_{sü} \cdot \sin \alpha}{\mu \cdot d_{or}}$$

$$= \frac{2 \cdot 371,04 \cdot \sin 25^\circ}{0,35 \cdot 0,55}$$

$$F_{Ek} = 1629 \text{ N}$$

Bütün değerler biliniyor

### Çözüm 3 Balata genişliği;

Formül F ( 22 ) den balata genişliği bulunur

$$b = \frac{F_{Ek}}{\pi \cdot d_{or} \cdot \rho_{Ka} \cdot \sin \alpha}$$

$$= \frac{1629 \cdot 10^3}{\pi \cdot 550 \cdot 0,08 \cdot \sin 25^\circ} = 27,888$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

Bütün değerler biliniyor

### Çözüm 4 Saatteki ortalama sürtünme gücü (işi);

Saatteki ortalama sürtünme gücü F ( 15 );

$$W_{süh} = \frac{z_{dg} \cdot W_{sü}}{3600 \cdot s} \quad s = \text{saniye}$$

$$= \frac{12 \cdot 40'798}{3600 \cdot s}$$

$$W_{süh} = 136 \text{ W}$$

Saatte işletmeye alınma sayısı

$$z_{dg} = 12$$

Saatte ortalama sürtünme işi F ( 14 );

$$W_{sü} = 0,5 \cdot M_{sü} \cdot \omega_1 \cdot t_{dg}$$

Çözüm 1 den

$$M_{sü} = 371,04 \text{ Nm}$$

Açısal hız;  $\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot n_2$

$$\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot 700 / 60$$

$$\omega_2 = 73,3 \text{ s}^{-1}$$

Devreye girme zamanı;  $t_{dg}$

$$t_{dg} = 3 \text{ s}$$

**Isınma kontrolü;**

Özgül sürtünme gücü " $P'_{Sü}$ " F ( 23 );

$$P'_{Sü} = \mu \cdot p_{Ka} \cdot v_{çe}$$

Sürtünme katsayısı (biliniyor)

Emniyetli yüzey basıncı

Açısal hız;  $v_{çe} = d_{or} \cdot \pi \cdot n_2$

Devreye girme zamanı;  $t_{dg}$

$$= 0,55 \cdot \pi \cdot 700/60$$

$$\underline{\underline{P'_{Sü} = 564439 \text{ W/m}^2}}$$

$$\mu = 0,35$$

$$p_{EM} = 80'000 \text{ N/m}^2$$

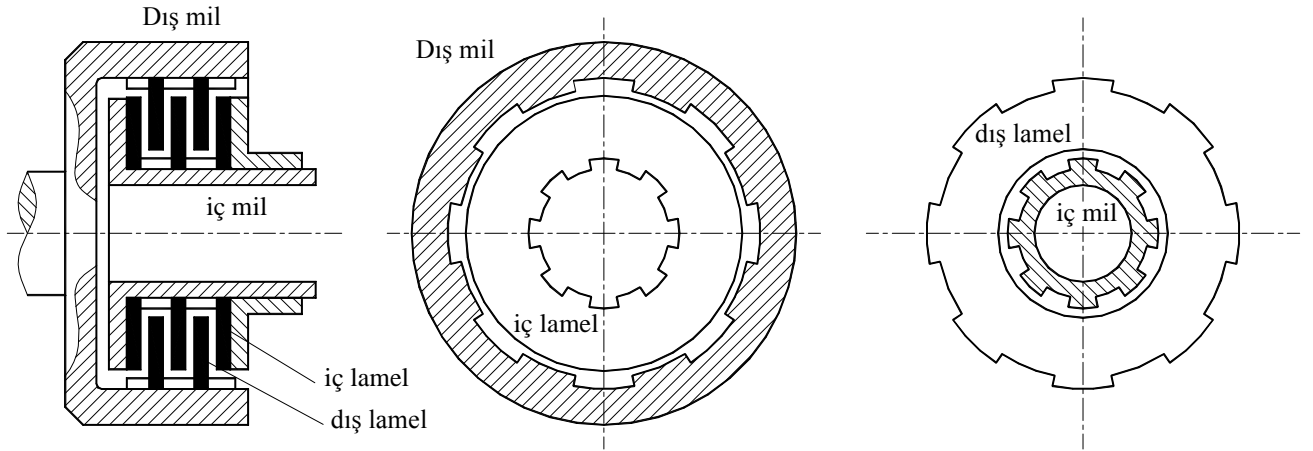
$$v_{çe} = 20,159 \text{ m/s}$$

$$t_{dg} = 3 \text{ s}$$

$P'_{Sü} = 0,56 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2 < P'_{SüEM} = 1 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$  olduğundan kavrama fonksiyonunu yerine getirecektir.

**4.3. Düz sürtünmeli kavramalar****4.3.1. Lamelli kavramalar**

Düz sürtünmeli kavramalara "**Diskli kavramalar**" da denilir. Bu tip kavramaların en büyük avantajı gayet kolay ayarlanmaları ve fonksiyonlarını darbesiz yapmalarıdır. Yüzey basma kuvvetleri büyük olduğunda sürtünme alanları disk sayısı çoğaltılarak büyütülür ve yüzey basıncı azaltılır. Böylece çok diskli "**Lamelli kavramalar**" oluşur. Görüldüğü gibi diskli kavramalar çoğunlukla lamelli kavramalar olarak kullanılır. Lamelli kavramalar daha ekonomiktir.



Şekil 7, Lamelli kavrama

Bir lamelli kavrama Şekil 7 ile gösterilmiştir. İç mile bağlanan kavrama parçasının dışı kamalı veya dişli mil olarak, dış milin içi kamalı veya dişli göbek olarak işlenir. Göbekte mil arasına ardışık olarak iç ve dış lameller yerleştirilir. İç lamellerin içi kamalı veya dişli göbek, dış lamellerin dışı kamalı veya dişli mil olarak işlenir. Böyle yerleştirilen lameller sıkıştırılmadıkları durumda aksel yönde serbest hareket eder ve bir birlerini etkilemezler. Normal olarak iç mil parçası, seçilen konstrüksiyona göre, lamelleri sıkıştıran ve aksel yükü sürtünme fonksiyonunu oluşturan konstrüksiyonu taşır. Kavrama için lameller sıkıştırılır ve aksel kuvvet " $F_{EK}$ " ile fonksiyon için gerekli sürtünme momenti oluşturulur. Böylece fonksiyon momenti bir milden diğer mile iletilir.

Lamelli kavramalar konik kavramalara karşın avantajları çok az yer kaplamaları, gayet yüksek devir sayısında kullanılmaları ve daha sık devreye alınabilmeleridir.



### 4.3.2. Lamelli kavramalarda beraber çalışan malzeme çifti

Tablo 6, Malzeme çifti

Çelik/Çelik, sertleştirilmiş	Yalnız ıslak veya yağlı çalışma.
Çelik/Asbest (Amyant)	Yalnız kuru çalışma. İç ve dış lameller sertleştirilmemiş. Dış lamellere asbest (amyant) balata yapıştırılmış.
Çelik/Sinterlenmiş bronz	Islak, yağlı veya kuru çalışma. Aşınmaya karşı önlem olarak dış lameller bronzla sinterlenmiş, iç lameller sertleştirilmiştir. Sinterlenmiş sürtünme yüzeylerine verilecek şekil ile torsiyon momenti ayarlanır.

Çelik/Kırdöküm (GG) çiftide çok kullanılmaktadır.

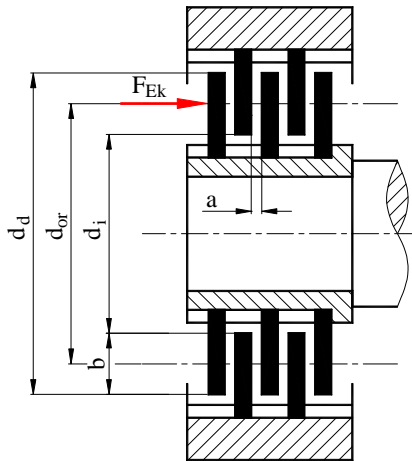
### 4.3.3. Lamelli kavramalarda konstrüksiyon önerileri

Diskli ve Lamelli kavramaların konstrüksiyonunda şu durumlar dikkate alınmalıdır.

- Sürtünmeden oluşan ısının giderilmesi için soğutma kaburgaları veya fazla ısı için yağ ile soğutma önlemleri alınmalıdır.
- Manivela ile devreye sokulan lamelli kavramalarda iç lamellerin yüzeyleri dalgalı "Sinus şekilli" yapılarak yay etkisi oluşturmalı ve boşa çalışırken yapışma önlenmelidir.
- Emniyet kavramaları olarak lamelli kavramalar diğer kavrama tiplerine karşın genelde tercih edilmelidir.
- Genelde kullanıldıkları yerler; Hemen hemen her türlü makinalarda. Özellikle Takım tezgahlarının, Kaldırma ve taşıma makinalarının tahriklerinde kullanılırlar. Bunun yanında İnşaat makinaları, Ambalajlama makinaları ve Tekstil makinaları tahriklerindedeki çok kullanılırlar.
- Genellikle göbeğe takılan lamel sayısına " $n_{Ld}$ " dersek mile takılan lamel sayısı  $n_{Lm} = n_{Ld} + 1$  olur. Sürtünme yüzeyi sayısı  $n_{sü} = 2 \cdot n_{Ld}$  dir.
- Yağlı veya sıvılı ortamda çalışacak lamellere yapışmalarını önlemek için spiral, eğik veya çapraz hafif oluklar açılır.

### 4.3.4. Lamelli kavramalarının hesaplanması

Aşağıda Şekil 8 ile gösterilen lamelli kavramadaki tanımlamalar şöyledir;



$F_{Ek}$	N	Kavramayı etkileyen aksel kuvvet
$n_{Ld}$	1	Dış lamel sayısı
$n_{sü}$	1	Sürtünme yüzeyi sayısı
$F_{çe}$	N	Ortalama çaptaki çevre kuvveti
a	m	Lameller arası boşluğu
$L_{dg}$	m	Toplam devreye girme yolu
		$L_{dg} = a \cdot n_{sü}$
b	m	Sürtünme yüzeyi (balata) genişliği

Önerilen tecrübe değerleri;

$$n_{sü} = 4 \dots 20$$

$$b/d_{or} = 0,1 \dots 0,25$$

Şekil 8, Lamelli kavrama (fren)

Lamelli kavramalarının hesaplanması konik kavramalar gibi yapılır. Yalnız burada  $\alpha = 90^\circ$  ve  $\sin \alpha = 1$  dir.

#### 4.3.4.1. Kavramayı etkileyecek gerekli eksenel kuvvet

$$M_{sü} = 0,5 \cdot F_{çe} \cdot d_{or}$$

$$d_{or} = 0,5 \cdot (d_d + d_i)$$

Bu  $d_{or}$  hesabı kabaca hesaptır. Normal olarak daire halkasının ağırlık merkezi hesaplanmalıdır.

$$F_{çe} = \mu \cdot F_{Ek} \cdot n_{sü}$$

$$M_{sü} = 0,5 \cdot \mu \cdot F_{Ek} \cdot n_{sü} \cdot d_{or}$$

Kavramada gerekli eksenel kuvvet " $F_{EkGer}$ ";

$$F_{EkGer} = \frac{2 \cdot M_{süGer}}{\mu \cdot n_{sü} \cdot d_{or}} \quad F (24)$$

$M_{süGer}$	Nm	Kavramada gerekli sürtünme momenti
$\mu$	1	Balatanın sürtünme katsayısı
$n_{sü}$	1	Sürtünme yüzeyi sayısı
$d_{or}$	m	Ortalama sürtünme çapı

Burada hesaplanan eksenel kuvvet yalnız kavrama çerçevesinde hesaplanan kuvvettir. Kavrama bağlantısında mil ile kavrama herhangi bir konstrüksiyonla bağlanmış ise, örneğin, uydu kamalı bağlantı, bu bağlantıdan oluşacak eksenel kuvvet hesaplanıp kavramanın gerekli eksenel kuvvetine ilave edilmelidir. Böylece kavramanın toplam eksenel kuvveti " $F_{Ektop}$ " bulunmalıdır.

$$F_{Ektop} = F_{EkGer} + F_x \quad F (25)$$

$F_{EkGer}$	N	Kavramada gerekli eksenel kuvvet
$F_x$	N	Ek konstrüksiyon eksenel kuvveti

#### 4.3.4.2. Kavramada yüzey basıncı

Yüzey basıncını bulmak için sürtünme alanının bilinmesi gerekir.

Genelde toplam sürtünme (balata) alanı;  $A' = \pi \cdot d_{or} \cdot b \cdot n_{sü}$

Faydalı sürtünme (balata) alanı;  $A_{fa} = k_y \cdot A' = k_y \cdot \pi \cdot d_{or} \cdot b \cdot n_{sü}$  F (26)

Burada " $k_y$ " faydalı alan katsayısıdır ve genel olarak tecrübelerle dayanılarak  $k_y = 0,7$  alınır.

Ortalama yüzey basıncı şöyle hesaplanır:

Bir sürtünme yüzeyi için;  $p = \frac{F_{Ek}}{A_{fa}} = \frac{F_{Ek}}{k_y \cdot \pi \cdot d_{or} \cdot b}$

Çevre kuvveti;  $F_{çe} = \mu \cdot F_{Ek}$  buradan  $F_{Ek} = F_{çe} / \mu$

$F_{Ek}$  yerleştirilirse yüzey basıncı " $p$ " bulunur;

$$p = \frac{F_{çe}}{\mu \cdot A_{fa}} \quad F (27)$$

$F_{çe}$	N	Çevre kuvveti
$\mu$	1	Balatanın sürtünme katsayısı
$A_{fa}$	m <sup>2</sup>	Faydalı sürtünme yüzeyi alanı

**4.3.4.3. Kavramada sürtünme momenti "M<sub>sü</sub>"**

Çevre kuvveti;  $F_{\text{çe}} = p \cdot \mu \cdot A$  bulunur.

Sürtünme momenti;  $M_{\text{sü}} = 0,5 \cdot F_{\text{çe}} \cdot d_{\text{or}}$

$$M_{\text{sü}} = 0,5 \cdot \mu \cdot p \cdot A \cdot d_{\text{or}} \quad F ( 28 )$$

$\mu$	1	Balatanın sürtünme katsayısı
$p$	$N/m^2$	Özgül yüzey basıncı
$A$	$m^2$	Faydalı sürtünme yüzeyi alanı
$d_{\text{or}}$	m	Ortalama sürtünme çapı

**4.3.4.4. Kavramada ortalama sürtünme yarı çapı "r<sub>or</sub>"**

Yukarıdada bahis ettiğimiz gibi ortalama sürtünme çapı daire halkasının ağırlık merkezi çapı olarak hesaplanmalıdır. Daire halkasının ağırlık merkezinin yarı çapı;

$$r_{\text{or}} = \frac{2 \cdot (r_d^3 - r_i^3)}{3 \cdot (r_d^2 - r_i^2)} \quad F ( 29 )$$

$r_d$	m	Balatanın/Sürtünme yüzeyinin dış yarı çapı
$r_i$	m	Balatanın/Sürtünme yüzeyinin iç yarı çapı

Ortalama sürtünme yarı çapı hesaplanırken eğer  $r_d$  ile  $r_i$  nin farkı  $r_i/r_d \geq 0,75$  olursa, ortalama yarı çap değerini  $r_{\text{or}} = 0,5 \cdot (r_d + r_i)$  olarak hesaplayıp kabul edebiliriz ve değerler doğruya çok yakın çıkar. Pratikte bu fark rol oynamaz.  $r_i/r_d = 0,75$  olursa kaba hesap hassas hesaptan %0,68 küçük olur.

**4.3.4.5. Basit ısı hesabı**

Burada Niemann'a göre basite indirgenmiş ısı hesabını yapabiliriz. Hesaplar için kavramanın bir saatte ne kadar ortalama sürtünme işi ürettiğini  $F ( 15 ) W_{\text{süh}} = z_{\text{dg}} \cdot W_{\text{sü}} / 3600$  ve çevre hızını  $v_{\text{çe}} = d_{\text{or}} \cdot \pi \cdot n$  bilmemiz gerekir.

**Dikkat: basite indirgenmiş formüllerde ( bak F ( 30 ) gibi ), kabul edilen birim sistemiyle değerleri yalnız sayısal olarak kullanalım. Sabit sayı içinde birim kayıpları olabilir!**

$$K_{\text{Thes}} = \frac{1,36 \cdot W_{\text{süh}}}{b \cdot d_{\text{or}} \cdot n_{\text{sü}} \cdot \sqrt{v_{\text{çe}}}} \quad F ( 30 )$$

$K_{\text{Thes}}$	$W/m^2$	Kavramada hesaplanan ısı değeri
$W_{\text{süh}}$	W	Kavramanın bir saatte ürettiğini sürtünme işi
$b$	m	Balata genişliği
$d_{\text{or}}$	m	Ortalama sürtünme çapı
$n_{\text{sü}}$	1	Sürtünme yüzeyi sayısı
$v_{\text{çe}}$	m/s	Ortalama sürtünme çapında çevre hızı

Teçrübelerle göre emniyetli ısı değeri "  $K_{\text{TEM}}$  ";

$K_{\text{TEM}}$	$(0,45 \dots 0,65) \cdot 10^4$	$W/m^2$	kuru çalışma
$K_{\text{TEM}}$	$(0,45 \dots 1,0) \cdot 10^4$	$W/m^2$	hafif yağlı
$K_{\text{TEM}}$	$(2,0 \dots 4,5) \cdot 10^4$	$W/m^2$	Devamlı yağlı veya yağ banyosunda. Lamelle oyuklu.

### 4.3.5. Örnek, Lamelli kavrama

Konstrüksiyon taslağına göre 8 kutuplu elektrik motoru ile tahrik edilen bir iş makinasının devir sayısı  $n = 750$  d/dak dır. Motor devamlı çalıştırılacak ve iş makinası saatte  $z_{dg} = 60$  defa işletmeye alınacaktır.

İşletmeye alma zamanı her seferinde  $t_{dg} = 1$  saniye olmalı ve makinanın dönen kütlesi 1 saniye sonunda sıfırdan ( $n_2 = 0$ ) motor devir sayısına ( $n_2 = n_1 = 750$  d/dak) ulaşmalıdır.

Makinanın ivmelenen dönen parçalarının savurma momenti  $GD^2 = 295 \text{ Nm}^2$  dir.

Bilinen veya kabul edilen diğer değerler şöyledir;

Atalet momenti	$M_{at} = 140 \text{ Nm}$
Çevre ısısı	$T_{çe} = 25 \text{ °C}$
Balatanın malzeme çifti	Sertleştirilmiş çelik/Sinterlenmiş bronz, helis oyuklu ve hafif yağlı
Sürtünme katsayısı	$\mu = 0,1$
Genişlik/çap oranı	$b/d_{or} = 0,2$
Sürtünme yüzeyi sayısı	$n_{sü} = 10$
Faydalı alan katsayısı	$k_y = 0,7$
Emniyetli ısı değeri	$K_{TEM} = 0,7 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$

Aranan değerler;

- İşletme esnasında tahrik gücü " $P_{i\mathcal{I}}$ ",
- İvme momenti " $M_{iv}$ ",
- Sürtünme momenti " $M_{sü}$ ",
- Her devreye girişte sürtünme işi " $W_{sü}$ ",
- Saatteki ortalama sürtünme gücü (iş) " $W_{süh}$ ",
- Ortalama lamel çapı " $d_{or}$ ",
- Balata genişliği " $b$ ",
- Kavramayı etkileyen eksenel kuvvet " $F_{Ek}$ ",
- Ortalama yüzey basıncı " $p_{or}$ ".

#### Çözüm a) İşletme esnasında tahrik gücü " $P_{i\mathcal{I}}$ ";

İşletme esnasında tahrik gücü " $P_{i\mathcal{I}}$ " ; $P_{i\mathcal{I}} = M_{at} \cdot \omega$	$= 140 \cdot 78,54$	$P_{i\mathcal{I}} = 10,996 \text{ kW}$
Açısal hız F ( 13 ); $\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot n_2$	$\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot 750/60$	$\omega_2 = 78,54 \text{ s}^{-1}$

#### Çözüm b) İvme momenti " $M_{iv}$ ";

İvme momenti F ( 3 ); $M_{iv} = J_m \cdot \alpha_{iv}$	$= 7,52 \cdot 78,54$	$M_{sü} = 590,65 \text{ Nm}$
Kütle atalet momenti $J_m$ F ( 5 ) $J_m = \frac{GD^2}{4 \cdot g}$	$= \frac{295}{4 \cdot g}$	$J_m = 7,52 \text{ kgm}^2$
Açısal ivme F ( 8 ); $\alpha_{iv} = \omega \cdot t_{dg}$	$= 2 \cdot \pi \cdot 750 / (60 \cdot 1)$	$\alpha_{iv} = 78,54 \text{ s}^{-2}$

#### Çözüm c) Sürtünme momenti " $M_{sü}$ ";

Sürtünme momenti F ( 1 ); $M_{sü} = M_{at} + M_{iv}$	$= 140 + 590,65$	$M_{sü} = 730,65 \text{ Nm}$
Atalet momenti (biliniyor)		$M_{at} = 140 \text{ Nm}$
İvme momenti Çözüm b) de bulundu		$M_{iv} = 590,65 \text{ Nm}$

**Çözüm d) Her devreye girişte sürtünme işi " $W_{sü}$ ";**

Her devreye girişte sürtünme işi F ( 14 )

$$W_{sü} = 0,5 \cdot M_{sü} \cdot \omega_1 \cdot t_{dg}$$

Sürtünme momenti Çözüm c) de bulundu

Açısal hız Çözüm a) da bulundu

İşletmeye alma zamanı (biliniyor)

$$= 0,5 \cdot 730,65 \cdot 78,54 \cdot 1$$

Her devreye girişte

$$W_{sü} = 28,69 \text{ J}$$

$$M_{sü} = 730,65 \text{ Nm}$$

$$\omega_2 = 78,54 \text{ s}^{-1}$$

$$t_{dg} = 1 \text{ s}$$

**Çözüm e) Saatteki ortalama sürtünme gücü (iş) " $W_{süh}$ ";**

Saatteki ortalama sürtünme gücü F ( 15 )

$$W_{süh} = z_{dg} \cdot W_{sü}$$

Saatte devreye girme sayısı (biliniyor)

Her devreye girişte sürtünme işi d) de bulundu

$$= 60 \cdot 28,69$$

$$W_{süh} = 478,21 \text{ W}$$

$$z_{dg} = 60 \text{ h}^{-1}$$

$$W_{sü} = 28,69 \text{ J}$$

**Çözüm f) Ortalama lamel çapı " $d_{or}$ ";**Isı için verilmiş olan F ( 30 ) formülünü  $d_{or}$  için çözelim.

$K_{Thes} = K_{TEM}$  ,  $b/d_{or} = 0,2$  den  $b = 0,2 d_{or}$  ve  $v_{çe} = d_{or} \cdot \pi \cdot n$  yerleştirelim ve iki tarafı  $d_{or} \cdot \sqrt{d_{or}}$  ile çarpalım:

$$K_{Thes} = \frac{1,36 \cdot W_{süh}}{b \cdot d_{or} \cdot n_{sü} \cdot \sqrt{v_{çe}}}$$

$$d_{or} \geq \frac{1,36 \cdot W_{süh}}{0,2 \cdot d_{or} \cdot K_{TEM} \cdot n_{sü} \cdot \sqrt{d_{or}} \cdot \sqrt{\pi \cdot n}}$$

$$d_{or}^{\frac{5}{2}} \geq \frac{6,8 \cdot W_{süh}}{K_{TEM} \cdot n_{sü} \cdot \sqrt{\pi \cdot n}}$$

Ortalama lamel çapı;

$$d_{or} \geq \sqrt[5]{\left(\frac{6,8 \cdot W_{süh}}{K_{TEM} \cdot n_{sü} \cdot \sqrt{\pi \cdot n}}\right)^2}$$

$$\geq \sqrt[5]{\left(\frac{6,8 \cdot 478,21}{0,7 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot \sqrt{\pi \cdot 12,5}}\right)^2}$$

$$d_{or} = 140,34 \text{ mm}$$

Saatteki ortalama sürtünmegücü e) den

Emniyetli ısı değeri (biliniyor)

Sürtünme yüzeyi sayısı (biliniyor)

motor devir sayısına  $n_1 = 750$  d/dak

$$W_{süh} = 478,21 \text{ W}$$

$$K_{TEM} = 0,7 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$$

$$n_{sü} = 10$$

$$n_1 = 12,5 \text{ s}^{-1}$$

**Çözüm g) Balata genişliği " $b$ ";**Balata genişliği;  $b = 0,2 \cdot d_{or}$ 

Ortalama lamel çapı f) de hesaplandı

$$= 0,2 \cdot 140,34 = 28,068$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$d_{or} = 140,34 \text{ mm}$$

**Çözüm h) Kavramayı etkileyen aksenal kuvvet " $F_{Ek}$ ";**Eksenal kuvvet  $F$  ( 24 );

$$F_{EkGer} = \frac{2 \cdot M_{süGer}}{\mu \cdot n_{sü} \cdot d_{or}}$$

$$= \frac{2 \cdot 730,65}{0,1 \cdot 10 \cdot 140,34}$$

$$F_{EkGer} = 10412 \text{ N}$$

Sürtünme momenti Çözüm c) de bulundu

$$M_{sü} = 730,65 \text{ Nm}$$

Sürtünme katsayısı (biliniyor)

$$\mu = 0,1$$

Sürtünme yüzeyi sayısı (biliniyor)

$$n_{sü} = 10$$

Ortalama lamel çapı  $f$  de hesaplandı

$$d_{or} = 140,34 \text{ mm}$$

**Çözüm i) Ortalama yüzey basıncı " $p_{or}$ ";**Formül  $F$  ( 28 ) yüzey basıncı " $p$ " ye çözülür;

$$M_{sü} = 0,5 \cdot \mu \cdot p \cdot A \cdot d_{or}$$

Ortalama yüzey basıncı " $p_{or}$ ";  $p = \frac{2 \cdot M_{sü}}{\mu \cdot A \cdot d_{or}}$ 

$$= \frac{2 \cdot 730,65}{0,1 \cdot 86630 \cdot 140,34}$$

$$p = 1,2 \text{ N/mm}^2$$

Sürtünme momenti Çözüm c) de bulundu

$$M_{sü} = 730,65 \text{ Nm}$$

Sürtünme katsayısı (biliniyor)

$$\mu = 0,1$$

Kullanılan faydalı sürtünme (balata) alanı;

$$F ( 26 ) \quad A_{fa} = k_y \cdot \pi \cdot d_{or} \cdot b \cdot n_{sü}$$

$$A = 0,7 \cdot \pi \cdot 140,34 \cdot 30 \cdot 10$$

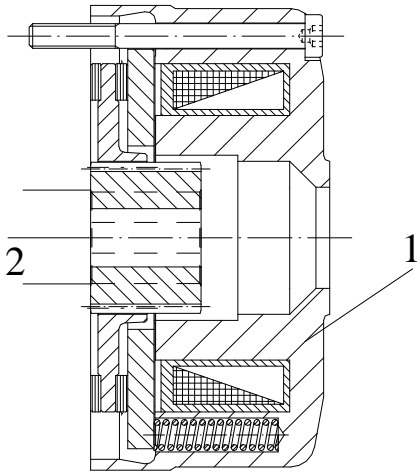
$$A = 86630 \text{ mm}^2$$

Ortalama lamel çapı  $f$  de hesaplandı

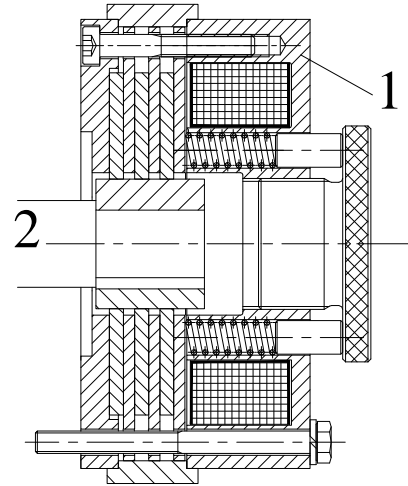
$$d_{or} = 140,34 \text{ mm}$$

**Sonuç;** Tablo 1 ile verilmiş olan emniyetli yüzey basıncı  $p_{EM} = 0,5 \dots 3 \text{ N/mm}^2 > p = 1,2 \text{ N/mm}^2$  olduğundan hesaplara göre kavrama fonksiyonunu yapar.

#### 4.4. Kavramanın frenle mukayesesi



Şekil 9, Tek diskli fren



Şekil 10, Lamelli fren

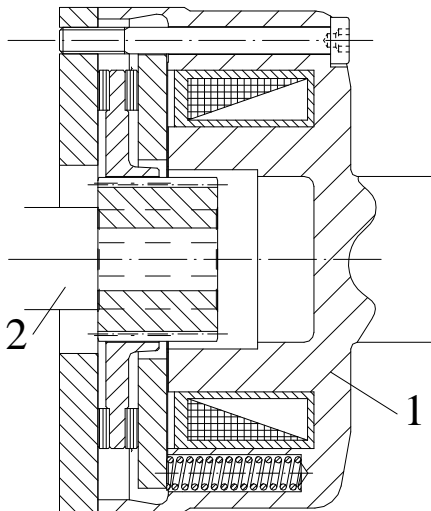
Yukarıda Şekil 9 ve Şekil 10 ile elektromanyetik diskli frenler görülmektedir.

Şekil 9 da tek diskli iki sürtünme yüzü ve balata aşınmasında ayarlanamayan bir elektromanyetik fren görülmektedir.

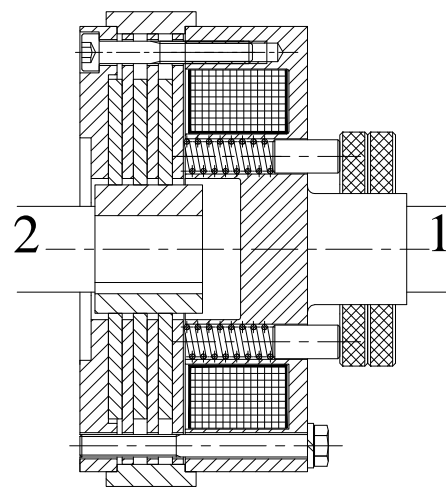
Şekil 10 da üç dış diskli lamelli elektromanyetik fren görülmektedir. Bu tipte balata aşınmasına göre arkadaki vidalı tapa ile aşınan balata boyu ayarlanabilmektedir. Elastiki yayların ittiği disk dış disk kabul edilemez. Bu disk manyetik gövdenin aksenal hareketli bir parçasıdır. Bu parça balata aşınmalarını ayarlamak ve yayların balataya basmasını önlemek için konstrüsiyona ilave edilmiştir.

Yukarıda verilen frenlerle elektro manyetik kumandalı tek diskli ve lamelli kavramalar arasında çok az fark vardır. Şöyleki;

Frenlerde Poz 1 sabittir ve Poz 2 hareket eder. Eğer bu tip konstrüsiyonu kavrama olarak kullanmak istersek Şekil 11 ile Şekil 12 ye bakmamız yeterlidir. Burada Poz 1 hareketlidir. Elastik yay diski veya lamelleri sıkıştırınca Poz 1 de hareket eder.



Şekil 11, Tek diskli kavrama



Şekil 12, Lamelli kavrama

**5. Kaynaklar**

- [ 1 ] Akkurt Mustafa / Kent Malik Makina Elemanları, Birinci Cilt, 2.Baskı  
Birsen Yayınevi, 1986
- [ 2 ] Bachmann / Lohkamp / Strobl Maschinenelemente, Band 1, Grundlagen und  
Verbindungselemente, Vogel- Buchverlag, Würzburg
- [ 3 ] Bargel/Schulze Werkstoffkunde,  
VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf
- [ 4 ] Böge, A. Das Techniker Handbuch, 16. überarbeitete Auflage,  
Friedr. Vieweg&Sohn, 2000
- [ 5 ] Decker, K-H. Maschinenelemente, Gestaltung und Berechnung  
Carl Hanser Verlag, München Wien, 8.Auflage
- [ 6 ] Dubbel, H. Taschenbuch für den Maschinenbau,  
17. Auflage, Springer Verlag, 1990
- [ 7 ] Gieck, K. Technische Formelsammlung,  
27. erweiterte Auflage, Gieck Verlag, 1981
- [ 8 ] Hütte Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften  
29. völlig neubearbeitete Auflage, Springer Verlag, 1991
- [ 9 ] Köhler / Rögnitz Maschinenteile, Teil 1 und Teil 2  
B.G.Teubner, Stuttgart
- [ 10 ] Kutay, M. Güven Ders Notları,  
Berner Fachhochschule, Bern 1970-2003
- [ 11 ] Langer, E. Maschinenelemente, Berechnung und Gestaltung  
Dümmler
- [ 12 ] Matek, W. / Muhs, D. /  
Wittel, H. / Becker, M. Roloff/Matek, Maschinenelemente  
Vieweg Verlag
- [ 13 ] Niemann, G. MASCHINENELEMENTE, Band I, III  
Springer-Verlag, 2.Auflage 1981
- [ 14 ] Okday Şefik Makina Elemanları, Birinci Cilt, 4.Baskı  
Birsen Yayınevi, 1979
- [ 15 ] Pahl, G. / Beitz, W. Konstruktionslehre,  
Springer Verlag, 1976
- [ 16 ] Wellinger, K. / Dietmann, H. Festigkeitsberechnung,  
Grundlagen und technische Anwendung,



## 6. Konu İndeksi

**A**

Açısal hız " $\omega$ " .....	6, 10
Açısal ivme " $\alpha$ " .....	6
Açısal ivme " $\alpha_{iv}$ " .....	7
atalet momenti " $M_{at}$ " .....	5
Atalet momenti " $M_{at}$ " .....	5

**B**

Balata malzemeleri .....	3
Basit ısı hesabı .....	19
Basitleştirilmiş kavrama diyagramı .....	9

**Ç**

Çalışma saati katsayısı " $\phi_1$ " .....	7
Çevre kuvveti " $F_{ce}$ " .....	13
Çevreye verilen ısı miktarı " $Q_A$ " .....	11

**D**

Devreye girme zamanı .....	3
Devreye girme zamanı " $t_{dg}$ " .....	5, 7
Diskli kavramalar .....	16
Düz sürtünmeli kavramalar .....	16

**E**

eksenel kuvveti " $F_{Ek}$ " .....	13
Emniyetli aşınma hacmi " $V_{AŞEM}$ " .....	12
emniyetli ısı değeri " $K_{TEM}$ " .....	19
Emniyetli sürtünme ısı " $Q_{süEM}$ " .....	11

**F**

Faydalı alan katsayısı " $k_y$ " .....	18
Faydalı balata alanı " $A_{fa}$ " .....	18
Faydalı sürtünme alanı " $A_{fa}$ " .....	18
Fazla yükleme katsayısı " $\phi$ " .....	7

**G**

Gerekli aksenal kuvvet " $F_{EkGer}$ " .....	18
--	----

**H**

Hesaplanan sürtünme momenti " $M_{sühe}$ " .....	13
--	----

**I**

İlk hareket katsayısı " $\phi_3$ " .....	8
iş diyagramı .....	11
Isınma .....	11
İşletme katsayısı " $\phi_2$ " .....	8
İvme enerjisi " $W_{iv}$ " .....	7
İvme momenti " $M_{iv}$ " .....	6, 7

**K**

Kavrama çifti malzeme değerleri .....	4
Kavrama işlemi .....	5
Kavrama malzemeleri .....	3
Kavramada hesaplanan ısı değeri " $K_{Thes}$ " .....	19
Kavramanın ömrü .....	12
Kinetik enerji " $W_{iv}$ " .....	6
Konik kavramalar .....	13
Koniklik açısı " $\alpha$ " .....	14
Kumandalı kavramalar .....	3
kütleli eylemsizlik momenti " $J_m$ " .....	6

**L**

Lamelli kavramalar .....	16, 17
--------------------------	--------

**M**

Malzeme çifti .....	4
Moment emniyet katsayısı " $S_M$ " .....	3

**N**

Normal kuvvet " $F_N$ " .....	13
-------------------------------	----

**O**

Ortalama sürtünme çapı " $d_{or}$ " .....	13
Ortalama sürtünme yarı çapı " $r_{or}$ " .....	19
Otomatik kavramalar .....	3
Özgül aşınma işi " $\rho_{Wsü}$ " .....	12
Özgül sürtünme gücü " $P'_{sü}$ " .....	14

**S**

Saatte devreye girme sayısı .....	10
Saatte ortalama sürtünme işi " $W_{süh}$ " .....	10
Savurma momenti " $GD^2$ " .....	6
Sürşarj katsayısı " $\phi$ " .....	7
Sürtünme katsayıları " $\mu$ " .....	14
Sürtünme işi " $W_{sü}$ " .....	10
Sürtünme momenti " $M_{sü}$ " .....	5, 19
Sürtünme yüzeyi sayısı " $n_{sü}$ " .....	17

**T**

Toplam aksenal kuvveti " $F_{Ektop}$ " .....	18
Torsiyon momenti " $M_t$ " .....	5

**Y**

Yüzey basıncı " $p$ " .....	18
Yüzey basıncı " $p_{Ka}$ " .....	13