

152607

T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜÇ ÖLÇÜMÜ DENEY DÜZENEĞİ TASARIM VE İMALATI**

MURAT DİLMEÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN: Doç. Dr. Osman YİĞİT

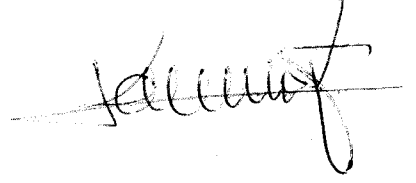
TEMMUZ 2004

152607

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne:

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Başkan** : Yrd.Doç.Dr. Kemal ALDAŞ  
N.Ü. Aksaray Mühendislik Fakültesi



**Üye** : Doç.Dr.Osman YİĞİT  
N.Ü. Aksaray Mühendislik Fakültesi



**Üye** : Yrd.Doç.Dr. Yusuf YAKAR  
N.Ü. Aksaray Fen Edebiyat Fakültesi



ONAY :

Bu tez 25/04/2004 tarihinde, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun 21/05/2004 tarih ve 22/..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.



...../...../2004

Doç.Dr.Aydın TOPÇU  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

### GÜÇ ÖLÇÜMÜ DENEY DÜZENEĞİ TASARIM VE İMALATI

DİLMEÇ, Murat

Niğde Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Osman YİĞİT

Temmuz 2004, 44 sayfa

Tork ve mekanik güç ölçümleri günümüz endüstrisinde önemli bir yere sahiptir ve uygun motor seçimi, yük taşıyan millerin boyutlandırılması gibi pek çok uygulamada gereklidir. Mekanik güç, bir hamlede bir ölçme aletinden hemen okunabilen bir değer değildir. Güç ölçümü için, hem o gücü oluşturan torkun hem de o gücü taşıyan milin açılma hızının ölçümü gerekir. Bu çalışmada öncelikle güç ölçüm metotları araştırılmıştır. Güç ölçümü için kullanılan dinamometreler, absorpsiyon dinamometreleri ve iletim dinamometreleri olarak sınıflandırılmıştır ve bunların çeşitli tiplerinin çalışma prensipleri ve tork ölçümü ile birlikte güç ölçümünü tamamlayan devir sayısı ölçüm metotları incelenmiştir.

Güç ölçümü deney düzeneği için Prony freni tasarımına karar verilmiştir. Fren mekanizmasındaki elemanlar yapılan hesaplamalar sonunda boyutlandırılmıştır. Yapılan deneyler sonunda, elektrik motorunun devir sayısı-tork grafiği elde edilmiştir. Ayrıca hem mekanik olarak hem de elektrik olarak ölçülen gücün devir sayısına bağlı olarak karşılaştırması yapılmıştır. Mekanik ve elektrik olarak ölçülen büyüklükler arasındaki farkların, motor ve yatak kayıpları kadar olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak , Makine Mühendisliği Laboratuvarında öğrencilere tork, devir sayısı ve güç ölçümlerinin yapılabileceği bir deney düzeneği oluşturulmuştur.

Anahtar kelimeler : Güç ölçümü, tork ölçümü, devir sayısı, Prony freni

## ABSTRACT

### DESIGN AND MANUFACTURE OF AN EXPERIMENTAL SET UP FOR POWER MEASUREMENT

DİLMEÇ, Murat

Niğde University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Osman YIĞİT

July 2004, 44 pages

Torque and mechanical power measures have an important subject in the industry, also they have many important application such as ; appropriate engine choice and determining the dimensions of the shaft which sustains the load. Magnitude of mechanical power can not be determined easily by a measurement instrument. Power measurement requires the measurement of both the torque and the angular velocity of the shaft. In this study, basically the power measurement methods are overwiewed. Dynamometers used for power measurements are classified into two groups; absorbtion dynamometers and transmission dynamometers. Besides, working principles, torque measuring and number of revolutions measuring methods which supports the power measurement were investigated for differents types of dynamometers.

Prony brake design was chosen for the experimental set up. Dimensions of components in the brake mechanism are determined by using the principals of mechanics. Torque / number of revolutions graphics of the electrical motor was experimentally determined. In addition, both mechanical and electrical measure of power number of revolution are compared. It's been observed the results of the mechanical and electrical measurements are very close to engine and bearing loss. As a result, this experimental set up designed in Mechanical Engineering Labratory can be used for educational purposes to measure torque, number of revolutions and power.

Key words : power measurement, torque measurement, number of revolutions, Prony brake

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmam sırasında değerli katkılarını esirgemeyen danışman hocam Do. Dr. Osman YİĞİT'e teőekkürlerimi sunarım.

Deney tesisatını kurmamda yardımcı olan BİFA Bisküvi A.Ő. 'ne ve alıőmamda fikirlerini aldığım Mak.Müh. Ramazan PARILTI ve Doç. Dr. Selçuk HALKACI' ya teőekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca çalıőmalarımnda katkıları olan tüm mesai arkadaşlarıma ve aileme teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xi
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Tezin Önemi .....	1
1.3 Literatür Özeti .....	1
BÖLÜM 2 GÜÇ ÖLÇÜMÜ .....	5
2.1 Dinamometre Kavramı .....	5
2.2 Absorpsiyon Dinamometreleri .....	5
2.2.1 Mekanik absorpsiyon dinamometreleri .....	5
2.2.2 Hidrolik absorpsiyon dinamometreleri .....	8
2.2.3 Elektrikli absorpsiyon dinamometreleri .....	10
2.3 İletim Dinamometreleri .....	12
2.3.1 Mekanik burulma ölçer .....	12
2.3.2 Elektrikli burulma ölçer .....	13
2.3.3 Optik burulma ölçer .....	14
BÖLÜM 3 DEVİR SAYISI ÖLÇÜMÜ .....	15
3.1 Hız Ölçümünün Tanımı .....	15
3.2 Takometreler .....	15
3.2.1 Mekanik takometreler .....	15
3.2.1.1 Devir sayıcılar ve kronometre .....	15
3.2.1.2 Merkezkaç kuvvetiyle çalışan takometreler .....	16

3.2.1.3 Rezonans veya titreşim kamışı takometresi .....	17
3.2.1.4 Sıvılı takometre .....	17
3.2.2 Elektrikli takometreler .....	18
3.2.2.1 Endüktif takometreler .....	19
3.2.2.2 Devir jeneratörü .....	20
3.2.2.3 Kondansatörlü takometreler .....	21
3.2.2.4 Dijital takometreler .....	21
3.2.2.5 Stroboskopik takometreler .....	23
<b>BÖLÜM 4 SİSTEM TASARIMI .....</b>	<b>24</b>
4.1 Genel Bilgiler .....	24
4.2 Güç, Tork ve Açısal Hız Arasındaki Bağlantı .....	24
4.3 Fren Sisteminin Boyutlandırılması .....	25
4.3.1 İmalatı düşünülen fren sistemlerinin irdelenmesi .....	26
4.3.2 Fren sistemindeki kuvvet bağlantıları .....	27
4.3.3 Balataların boyutlandırılması .....	31
4.3.4 Yay hesabı .....	31
4.3.5 Fren sisteminde oluşacak sıcaklık hesabı .....	33
4.4 Torkun Motor Gövdesi Yardımıyla Ölçülmesi .....	35
4.5 Devir Sayısı Ölçümü .....	36
4.6 Motorun Elektrik Gücünün Ölçümü .....	36
<b>BÖLÜM 5 TORK VE GÜÇ ÖLÇÜM DENEYLERİ .....</b>	<b>37</b>
5.1 Devir Sayısı -Tork Karakteristiğinin Elde Edilmesi .....	37
5.2 Devir Sayısı - Güç Karakteristiğinin Elde Edilmesi .....	38
5.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	40
<b>BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>41</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>42</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>44</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Çeşitli malzeme çiftleri için sürtünme katsayıları .....	25
Çizelge 4.2 Malzemelerin emniyetli basınç ve sıcaklık değerleri.....	25
Çizelge 4.3 Hesaplama sonucunda bulunan kuvvetler .....	31
Çizelge 5.1 Devir sayısı - kuvvet değerleri.....	37
Çizelge 5.2 Devir sayısı - tork değerleri.....	38
Çizelge 5.3 Devir sayısı - güç değerleri.....	39





## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 İp freni.....	5
Şekil 2.2 Bant freni .....	6
Şekil 2.3 Prony freni.....	7
Şekil 2.4 Appold freni .....	8
Şekil 2.5 (a) Hidrolik absorpsiyon dinamometresi (b) Devir sayısı-tork karakteristiği .	9
Şekil 2.6 Fan freni .....	9
Şekil 2.7 Hidrostatik dinamometre .....	10
Şekil 2.8 (a) Eddy akımı dinamometresi prensip şeması (b) Devir sayısı-tork karakteristiği .....	11
Şekil 2.9 (a) Doğru akım dinamometresi (b) Devir sayısı-tork karakteristiği .....	12
Şekil 2.10 Mekanik burulma ölçer .....	12
Şekil 2.11 Basit bir tork ölçer .....	13
Şekil 2.12 Elektrikli burulma ölçer .....	14
Şekil 2.13 Optik burulma ölçer.....	14
Şekil 3.1 Kronometreli devir sayıcı .....	15
Şekil 3.2 Merkezkaç kuvvetiyle çalışan takometre .....	16
Şekil 3.3 (a) Titreşim kamışı takometresi (b) Rezonansa geçme durumu.....	17
Şekil 3.4 Sıvılı takometre.....	18
Şekil 3.5 Eddy akımı dinamometresi .....	19
Şekil 3.6 Alternatif akım sürüklenme çanağı jeneratörü takometresi .....	20
Şekil 3.7 Kondansatörlü takometreler .....	21
Şekil 3.8 Endüktif sinyal alma takometresi .....	22
Şekil 3.9 Fotoelektrik sinyal alma takometresi .....	22
Şekil 3.10 Stroboskopik takometre .....	23
Şekil 4.1 Fren malzemesi olarak sac kullanılması durumu .....	26
Şekil 4.2 Fren malzemesi olarak balata kullanılması durumu .....	27
Şekil 4.3 Fren malzemesi olarak sac kullanılması durumunda tamburun serbest cisim diyagramı .....	27
Şekil 4.4 Balata kullanılması durumunda tamburun serbest cisim diyagramı .....	28

Şekil 4.5 Sac veya balata kullanılması durumunda üst kısmın serbest cisim diyagramı .....	29
Şekil 4.6 Balata kullanılması durumunda sacın serbest cisim diyagramı.....	30
Şekil 4.7 Yükleme civatasının serbest cisim diyagramı .....	32
Şekil 4.8 Tamburun detay resmi .....	34
Şekil 4.9 Torkun motor gövdesi yardımıyla ölçülmesi prensibi .....	35
Şekil 5.1 Devir sayısı-tork grafiği .....	38
Şekil 5.2 Devir sayısı-mekanik güç ve elektriksel güç grafiği .....	39
Şekil 5.3 Motorun verim grafiği.....	40



## SİMGE VE KISALTMALAR

$a$	: Balata kalınlığı
$A$	: Balata yüzey alanı
$c$	: Yay katsayısı
$C$	: Isınma ısısı
$C_1, C_2$	: Kondansatör sabitleri
$d$	: Tambur çapı
$d_a$	: Amortisör katsayısı
$d_d$	: Boru dış çapı
$d_i$	: Boru iç çapı
$d_s$	: Silindir iç çapı
$d_y$	: Yay teli çapı
$f_{maks}$	: Yayın maksimum deplasman miktarı
$D_m$	: Yay sarım çapı
$F_A$	: Alt bloğun tambura uyguladığı normal kuvvet
$F_B$	: B balatasına etki eden kuvvet
$F_C$	: C balatasına etki eden kuvvet
$F_{GY}$	: Zeminin kola etkittiği düşey kuvvet
$F_{GX}$	: Zeminin kola etkittiği sürüklenme kuvveti
$F_t$	: Dişlideki teğetsel kuvvet
$F_{Terazi}$	: Teraziye uygulanan kuvvet
$F_{vida}$	: Yükleme civatasına etki eden kuvvet
$g$	: Yerçekimi ivmesi
$G$	: Kayma modülü
$G_y$	: Yay malzemesinin kayma modülü
$h$	: Suyun ilk yüksekliği
$h_d$	: Suyun en düşük seviyesi
$i$	: Yay sarım sayısı
$J_0$	: Polar atalet momenti
$k_{yay}$	: Yay sabiti
$L$	: Burulma ölçümünün yapıldığı mil uzunluğu
$L_t$	: Boru boyu

- $m$  : Takometredeki merkezkaç kuvvet oluşturan kütle
- $m_{\text{boru}}$  : Boru kütlesi
- $m_{\text{disk}}$  : Disk kütlesi
- $m_{\text{tambur}}$  : Tambur kütlesi
- $m, g$  : Uygulanan ağırlık
- $M_d$  : Motor torku
- $n$  : Devir sayısı
- $P$  : Güç
- $P_{\text{em, balata}}$  : Emniyetli basınç değeri
- $Q_{\text{tambur}}$  : Tamburun depo edeceği ısı miktarı
- $r$  : Tambur yarıçapı
- $r_d$  : Dişli çarkın yarıçapıdır
- $r_0$  : Kütlelerin mil ekseninden olan uzaklığı
- $r_s$  : Silindir iç yarıçapı
- $r_t$  : Tork kolu uzunluğu
- $R_1, R_2$  : Devre dirençleri
- $s$  : Yükleme civatasının adımı
- $S$  : Yaylı terazide okunan kuvvet
- $t$  : Motorun tam yükte belirli bir işi vermesi için gereken süre
- $t_{\text{disk}}$  : Disk kalınlığı
- $T_1, T_2$  : Sac banttaki çekme kuvvetleri
- $W_b$  : Üst bloğun ağırlığı
- $\alpha$  : Sürtünme boyunca etkili olan açı
- $\alpha_1, \alpha_2$  : Alt balataların sürtünme boyunca etkili açıları
- $\beta$  : Alt balataların aralarındaki açı
- $\mu$  : Sürtünme katsayısı
- $\mu \cdot F_A$  : Alt bloğun tambura uyguladığı sürtünme kuvveti
- $\theta$  : Burulma açısı
- $\rho$  : Yoğunluk
- $\omega$  : Açısal hız
- $\Delta r$  : Mil ekseninden uzaklaşma miktarı
- $\Delta t$  : Sıcaklık farkı

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1 Tezin Amacı

Tork ve mekanik güç ölçümleri çoğu zaman, günümüzün endüstriyel dünyasına mekanik ve elektrik güç sağlayan enerji dönüşüm yöntemleri ile birlikte düşünülür. Bir enerji dönüşümü yöntemi, büyük ölçekte ana güç üreticisi tarafından üretilen gücün mekanik iletimiyle tanımlanır. Bu ana güç üreticisi içten bir yanmalı motor, bir türbin, bir elektrik motoru olabilir.

Güç ve tork ölçümü, uygun motor seçimi, yük taşıyan millerin boyutlandırılması gibi birçok uygulamada büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle güç ölçümü işlemleri, Makine Mühendisliği eğitimi veren üniversitelerin makine laboratuvarlarında yürütülen birkaç temel deneyden birisidir. Aksaray Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında öğrencilere güç ölçümünün yaptırılabilceği bir deney düzeneği bulunmamaktadır. Bu tezin tamamlanmasıyla Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı böyle bir deney düzeneğine kavuşmuş olacaktır.

#### 1.2 Tezin Önemi

Mekanik güç, bir hamlede bir ölçme aletinden hemen okunabilen bir değer değildir. Güç ölçümü için, gücün tanımı gereği hem o gücü oluşturan torkun, hem de o gücü taşıyan milin açısal hızının ölçümü gerekir. Bu durumda mekanik güç ölçümü beraberinde tork ve devir sayısı ölçümü gibi iki ayrı ölçmeyi de ihtiva eder. Dolayısıyla yapılan bu çalışma ile laboratuvar devir sayısı ve tork ölçümü imkanına da kavuşmuş olacaktır.

#### 1.3 Literatür Özeti

(Beckwith ve diğ., 1993)'ne göre güç ölçüm metotları sınıflandırılmıştır. Bu güç ölçüm metotlarından ilk akla geleni Prony freni yardımıyla yapılan güç ölçümüdür. Burada Prony freninin iki değişik şekilde olabileceğinden bahsedilmektedir. Bunlardan ilkinde dönen mil üzerine yerleştirilen fren sistemi, civatalar yardımıyla kontrollü olarak sıkıştırılmakta ve bu esnada fren sistemindeki tork, fren sistemine bağlanan bir çubuk ve bir terazi yardımıyla ölçülmektedir. Diğer bir Prony freni tipinde ise, dönen mil etrafındaki diske dolandırılan

bir şerite ağırlık asılarak bu ağırlık ve disk yarıçapı yardımıyla mildeki torkun, dolayısıyla gücün ölçülebileceğinden bahsedilmektedir. Diğer bir güç ölçüm metodu ise su freni yardımıyla güç ölçümüdür. Bu metotta dönen mil üzerine monte edilen çark su ile yüklenerek mil üzerindeki güç suya aktarılmakta, su ise çarkı içinde bulunduran dış gövdeyi dönmeye zorlamaktadır. Bu zorlanma miktarı Prony freninde olduğu gibi ölçülerek fren torku belirlenmektedir. Bu tork yardımıyla güç hesaplanmaktadır.

(Collett ve diğ., 1983)'e göre güç ölçümü üç şekilde yapılmaktadır. Bunlar; mekanik yöntem, hidrolik yöntem, elektriksel yöntemdir. Burada mekanik yöntemde Prony freninin dört farklı uygulaması şematik olarak verilmiştir. Bu kaynakta mekanik güç ölçme yöntemlerinin yüksek devirli ve yüksek güçlü motorlarda uygun olmadığı belirtilmekte, böyle durumlarda hidrolik güç ölçme yöntemlerinin kullanımı tavsiye edilmektedir. Hidrolik frenlere ait prensip şeması verilmektedir. Üçüncü yöntem olarak Eddy akımları dinamometresi yardımıyla güç ölçümünün nasıl yapılabileceği özet olarak anlatılmaktadır.

(Mesch, 1977) dönen bir mildeki gücün beş değişik şekilde ölçülebileceğini belirtmektedir. Yukarıda verilen yöntemlere ek olarak güç ölçülecek makineye, doğru akım jeneratörü bağlanarak güç ölçümü yapılabileceğini belirtmektedir. Ayrıca bu kaynakta makinelerde devir sayısı ölçümüyle ilgili detaylı bilgi verilmektedir.

(Figliola ve diğ., 1995) dönen sistemlerdeki güç ve tork ölçümünde kullanılan Prony fren mekanizmasından ve su freninin çalışma prensibinden bahsetmişlerdir.

(Polak ve diğ., 1999) tork ölçüm sistemlerinden genel olarak bahsetmişlerdir.

Pennstate Üniversitesi'nin mekanik laboratuvarlarında öğrencilere mil gücü ölçümü deneyleri yaptırılmaktadır. Adı geçen üniversitenin web sitesinde alternatif akım motorlarının mil gücü ölçme deneyinin ya Prony fren sistemiyle ya bir doğru akım motorunun jeneratör olarak çalıştırılmasıyla ya da Eddy akımları yardımıyla yapıldığından bahsedilmektedir. ([www.mne.psu.edu/me82/Labs/Mechanical/lab.htm](http://www.mne.psu.edu/me82/Labs/Mechanical/lab.htm))

(Corcoran ve diğ., 2000) çalışmalarında, petrokimya endüstrisinde kullanılan makinelerin bakım programlarının düzgün yürümesini sağlamak amacıyla, makinelerde ölçülen gücün sürekli görüntülenmesinde son gelişmeleri incelemişlerdir. Bu son gelişmeler, starin-gage ile çalışan ve burulma açısının ölçümü yardımıyla çalışan torkmetrelerde tartışılmış, bunların teorisi ve çalışma prensipleri incelenmiştir. Ayrıca bu torkmetrelerin kullanım sınırları da belirtilmiştir.

(Gürdal, 1999) stator akımları ile rotor hızı ölçülmesinde yeni bir metot üzerinde çalışmıştır. Ayarlanabilir hızlı indüksiyon motorlarının optimum kontrolü için rotor hız bilgisinin zorunlu olduğu ifade edilmektedir. Bu bilginin klasik olarak rotor miline bağlanan bir dönüştürücü, örneğin bir tako-generatör kullanılarak elde edilebileceğinden bahsetmiştir. Ancak hız ayarlamalı alternatif akım sürücülerin kullanılmaya başlamasından beri rotor mili ile ilişkisiz hız bilgisi elde etme tekniklerinin gelişmekte olduğunu ifade etmiştir. Klasik hız ölçüm tekniklerinde meydana gelen doğrusal olmama, pozisyonun zamanla değişmesi, düşük çözünürlük, ilk yüksek maliyet, montaj, kalibrasyon, düşük hızlardaki performans düşüklüğü ve bakım gibi problemler alternatif akım sürücünün dayanıklılık ve mekanik basitlik gibi tipik özelliklerini bozmaktadır.

(Spooncer ve diğ., 1992) çalışmalarında, dönen bir mildeki torkun milleden temas etmeden optik olarak nasıl ölçülebileceğini göstermişlerdir. Bu araştırmacılar, mil üzerine yerleştirilen ve birinin üzerinde radyal çizgiler ve diğerinin üzerinde teğetsel çizgiler bulunan iki disk yardımıyla optik olarak torku ölçmüşlerdir.

(Donnelly ve diğ., 1993) yaptıkları çalışmada, seri olarak şekillendirilmiş iletim yolunu sağlayan büyük termo-elektrik jeneratördeki süresiz torkları söndürmek için tristör-kontrollü dirençli fren sistemini kullanmışlardır. Uygun kontrol algoritması ve bunun farklı çalışma sistemlerinde değişik şekillerde ve ortamlarda test edilmesine ve geliştirilmesine önem vermişlerdir. Farklı seviyelerde Genelleştirilmiş Tahmini Kontrol, en uygun seviyedeki fren kontrolü için kullanılabilir bir yaklaşım olarak incelenmiştir. Ayrıca Genelleştirilmiş Tahmini Kontrolün sistemde uygulanmasından doğacak bazı problemleri tartışmışlardır. Sistem transfer fonksiyonlarının belirlenmesinde Prony analizi kullanılmış ve elde edilen bilgiler daha sonra tasarım faktörünün ve rijitlik özelliklerinin kontrolüyle ilişkilendirmişlerdir.

(Caputo ve diğ., 1975) içten yanmalı motorların yatak testinde, tamamen otomatikleşmiş olarak çalışan sistemlerin ve süresiz hızlar esnasında yapılan deneylerin gelişmekte olan konular olduğunu belirtmektedirler. Ayrıca motor gücünü ölçmek ve absorbe etmek için kullanılan frenlerin, genellikle teknik gereksinimleri tam olarak karşılayamadığından bahsetmektedirler.

(Braccesi ve diğ., 1996) yaptıkları çalışmada, içten yanmalı bir motor için devir sayısı-tork karakteristik eğrisinin motorun çalışma şartları hakkında ayrıntılı olarak bilgi verdiğinden bahsetmekte ve arabaların motorlarının boşta çalışması süresince açılmal hızının basit bir

şekilde ölçülmesiyle, devire bağlı güç ve tork eğrisinin belirlenebileceğini bildirmektedirler.

(Barraza ve diğ., 2002) yaptıkları çalışmada, kişilerin açısal hızı ne kadar doğrulukta hissedebildiklerini araştırmışlardır.





## BÖLÜM 2

### GÜÇ ÖLÇÜMÜ

#### 2.1 Dinamometre Kavramı

Dinamometreler güç ölçümü için kullanılan araçlardır ve kendi aralarında absorpsiyon dinamometreleri ve iletim dinamometreleri olarak sınıflandırılabilirler. Absorpsiyon dinamometreleri mekanik enerjiyi absorbe ederek ölçer, iletim dinamometreleri ise dinamometrenin içindeki kuvvet veya torkun gösterilmesini sağlar.

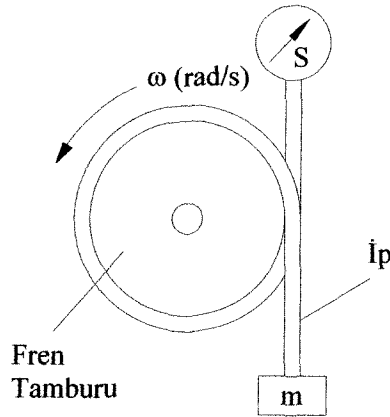
#### 2.2 Absorpsiyon Dinamometreleri

Absorpsiyon dinamometreleri kendi arasında aşağıda verildiği gibi üç gruba ayrılır.

- Mekanik absorpsiyon dinamometreleri
- Hidrolik absorpsiyon dinamometreleri
- Elektriksel absorpsiyon dinamometreleri

##### 2.2.1 Mekanik absorpsiyon dinamometreleri

Güç ölçümünün pek çok basit şekillerinden birisi şekilde gösterilen ip frenidir. Bir ip döngüsü dairesel bir volan veya fren tamburuna sarılır. İpin bir ucu yaylı bir teraziye bağlı iken, diğer ucu bir kütleyle bağlıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 İp freni (Collett ve diğ., 1983)

Tambur döndüğü zaman bir sürtünme kuvveti oluşur ve ip bunun etkisiyle gerilir. Böylece yaylı terazi üzerinde bir kuvvet oluşur. Dönen tambur üzerindeki tork, tamburun moment kolu olan yarıçapı ile tambur üzerindeki etkili olan aktif bileşke kuvvetin çarpımına eşittir.

$$M_d = \frac{1}{2} \cdot d \cdot (mg - S)$$

Burada ;

$M_d$  : Tork

$d$  : Tambur çapı

$mg$  : Uygulanan ağırlık

$S$  : Yaylı terazide okunan kuvvet

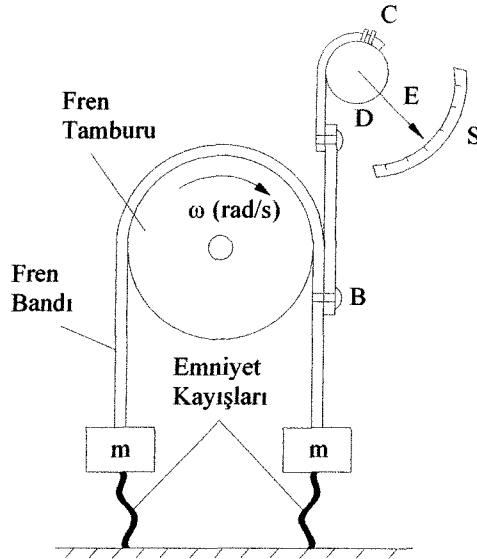
olarak tanımlanır.

Tamburun açısal hızı ile tambur torkunun çarpımı tahrik motorunun çıkış gücünü verir.

$$\text{Fren Gücü} = M_d \cdot \omega \text{ (Watt)}$$

Burada  $\omega$  açısal hızdır.

Şekil 2.2'de verilen bant freninin çalışma prensibi, ip freninin çalışma prensibine dayanmaktadır. Şekilde gösterilen tambur üzerinden bir fren bandı geçirilir. Bandın boşa kalan uçları eşit iki kütleye bağlıdır.



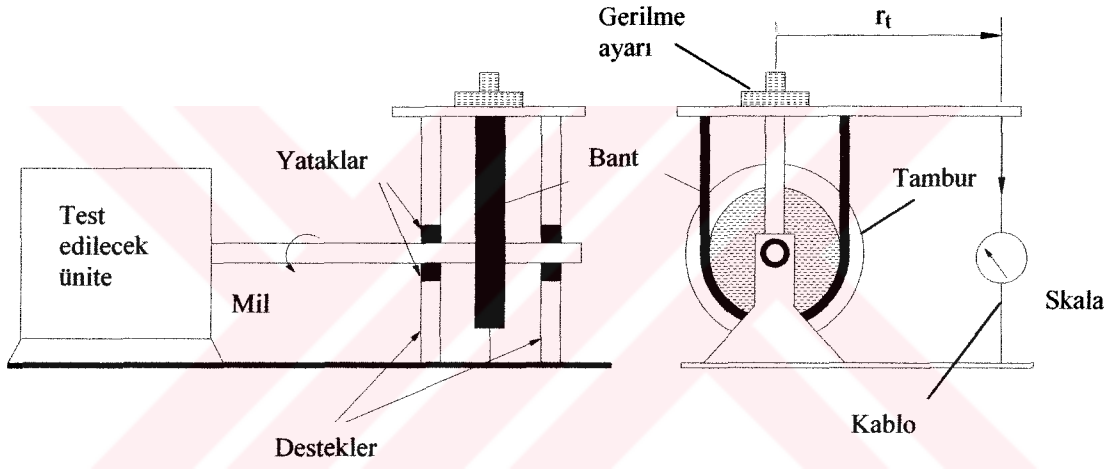
Şekil 2.2 Bant freni (Collett ve diğ., 1983)

Hareketin olduğu tarafa, B noktasında bir metal şerit bağlanır ve şerit küçük bir D tekerleğine C noktasında bağlanır. Bir ölçü aletinin D makarasına bağlanan bir E ibresi yardımıyla S skalasındaki değer okunabilir. Böylece güç aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir ;

Fren Gücü veya Motor Milinin Çıkış Gücü =  $\omega \cdot r$ . (skaladan okunan kuvvet değeri)

Burada r tambur yarıçapıdır.

Bu iki fren tipinden başka genel olarak kullanılan mekanik frenler Prony freni ve Appold frenidir. Prony freninde enerji dönüşümü, bir fren bandının veya fren pabuçlarının bir fren tamburu üzerinde sürtünmesiyle oluşur. Prony frenine ait prensip şeması [www.mne.psu.edu/me82/Labs/Mechanical/lab.htm](http://www.mne.psu.edu/me82/Labs/Mechanical/lab.htm)'den alınmıştır (Şekil 2.3).

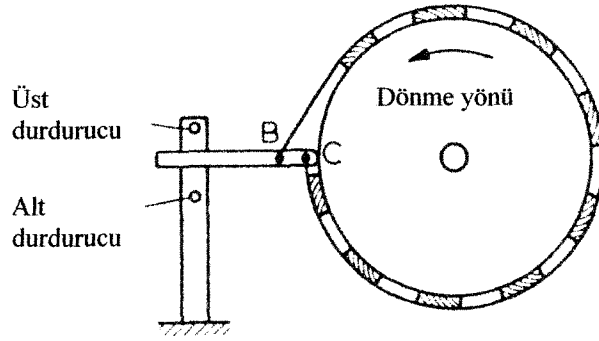


Şekil 2.3 Prony freni

Sürekli kullanımda fren bloğunda oluşan ısı aşırı miktarda ise, su ile soğutulabilir. Tahrik motorunun çıkış gücü, dönme hızının ölçülmesi ve fren kolunun hareketsiz tutulması için gereken torkun bulunmasıyla belirlenir. Fren bloğu ve fren tamburu arasındaki sürtünme katsayısının değişimi Prony freninin bir sınırlamasıdır. Bu sınırlamanın ortadan kalkması için Appold freni geliştirilmiştir. (Şekil 2.4)

Appold freni içerdiği bir kol vasıtasıyla fren bandının ayarlanan kuvvette kalmasını sağlar. Sürtünme katsayısındaki herhangi bir artış kolun aşağı hareket etmesine neden olur ve kol alt kısma çarparak durur. Bu durma, kolun C noktasına göre dönerek bant kuvvetinin azalmasına neden olur, böylece banda uygulanan gerilme azalır. Sürüklenme

sürtünmesindeki her azalma kolun üste çarpıp durmasına neden olacak ve bundan dolayı banda uygulanan gerilme artacaktır.

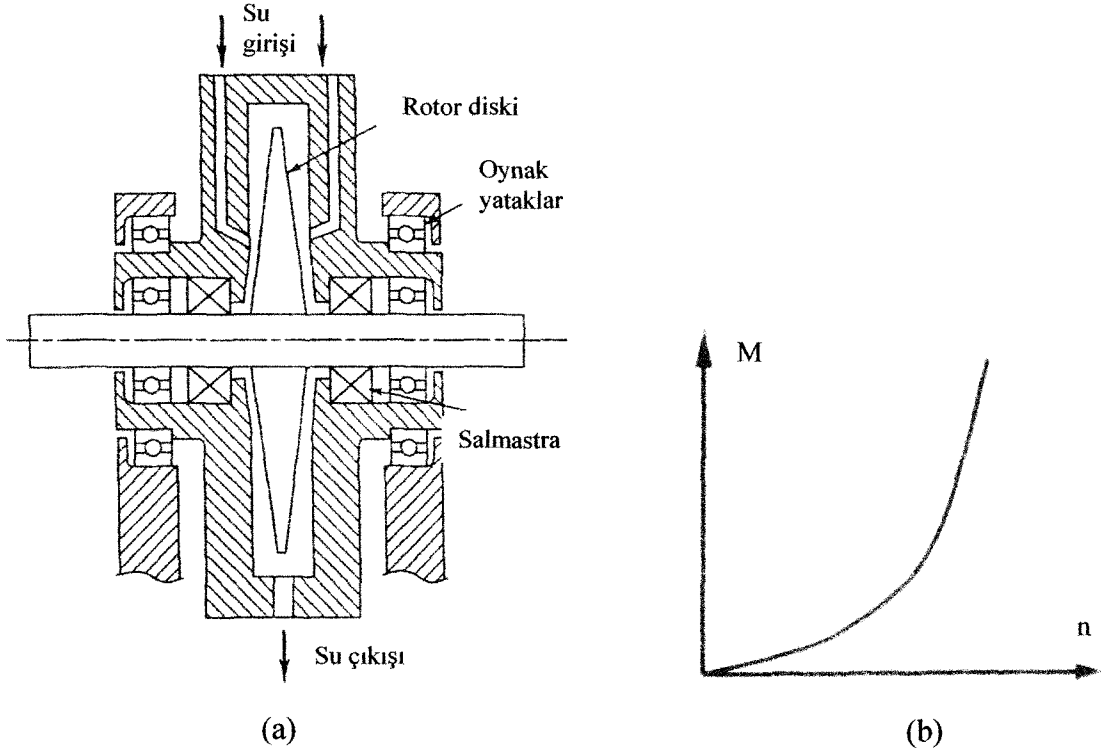


Şekil 2.4 Appold freni (Collett ve diğ., 1983)

Şimdiye kadar söz edilen bütün dinamometrelerde sürtünmeye karşı yapılan işin ısı yoluyla atıldığı ve fren tamburu veya milde çok miktarda ısı oluştuğundan bahsedildi. Bundan dolayı etkin soğutma işlemleri uygulanmalıdır. Soğutma işlemi, fren tamburunun soğutma suyu ile kısmen doldurulması ile veya volan ya da fren tamburunun alt kısımlarının soğutma suyu içerisinde çalıştırılmasına müsaade edilerek sağlanabilir.

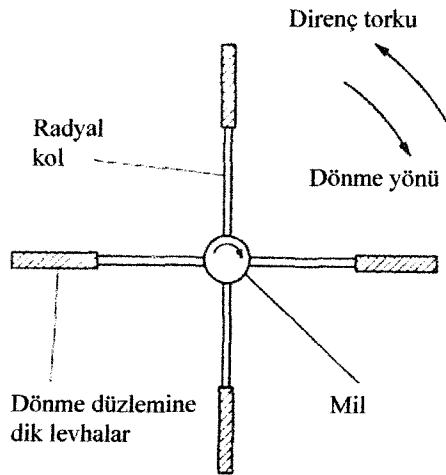
### 2.2.2 Hidrolik absorpsiyon dinamometreleri

Yukarıda anlatılan mekanik metotlar yüksek hızda çalışan, yüksek güçteki motor testleri için özellikle uygun değildir. Mekanik frenler büyük boyutlarda oldukça kullanışsızdır ve esneklik kontrolü iyi sağlanamaz. Bunun için hidrolik dinamometreler geliştirilmiştir. Hidrolik dinamometre esas olarak dinamometre miline bağlanan rotordan oluşur. Bu rotor da test edilecek motor miline bağlanmıştır. Şekil 2.5’de bu dinamometrenin prensip şeması ve devir sayısı-tork karakteristiği verilmiştir. Bu metotla güç ölçümü birkaç kW’dan 35 MW’a kadar yapılabilir.



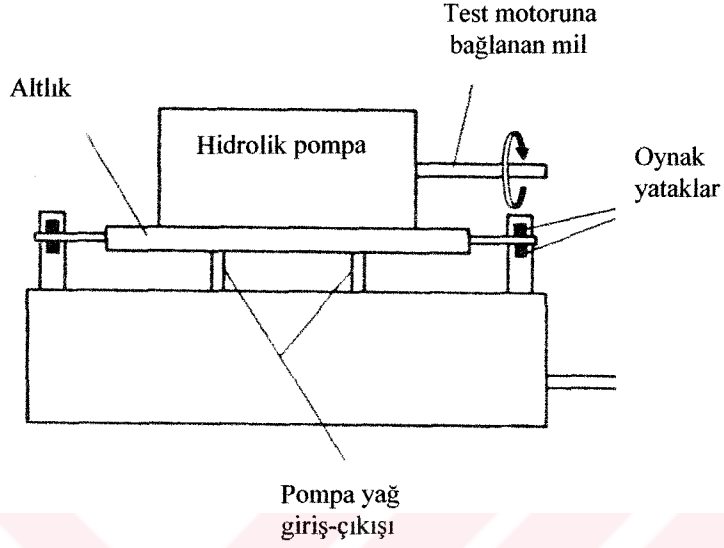
Şekil 2.5 (a) Hidrolik absorpsiyon dinamometresi (b) Devir sayısı-tork karakteristiği (Figliola ve diğ., 1995)

Fan freni ve hidrostatik dinamometre de hidrolik dinamometre kavramı altında incelenebilir. Fan freni, bir mile bir dizi radyal kolların sabitlenmesiyle oluşur. Kollar dönme düzlemine dik olarak sabitlenen levhaları taşır. Dönmedeki frenleme torku, pervane kanadı alanları, hızın karesi, ortam havasının yoğunluğu ve pervane kanadı kol yarıçapının küpü ile orantılı olacak şekilde oluşur. Basit bir fan freni mekanizması Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Fan freni (Collett ve diğ., 1983)

Hidrostatik dinamometrede motor bir hidrolik pompa ünitesine bağlanır. Uygulanan torka gösterilen tepki torku, pompa ünitesi altlığına yerleştirilen bir transduser yardımıyla ölçülür. Prensip şeması Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7 Hidrostatik dinamometre (Collett ve diğ., 1983)

Hidrostatik dinamometreler aşağıda verilen ilave özelliklere sahiptir ;

- 1) Düşük motor hızlarında yüksek tork
- 2) Motorun verebileceği güç aralığının tamamında doğru tork ölçme
- 3) İki yönlü çalışabilme
- 4) Bilgisayarda programlanabilme

### 2.2.3 Elektrikli absorpsiyon dinamometreleri

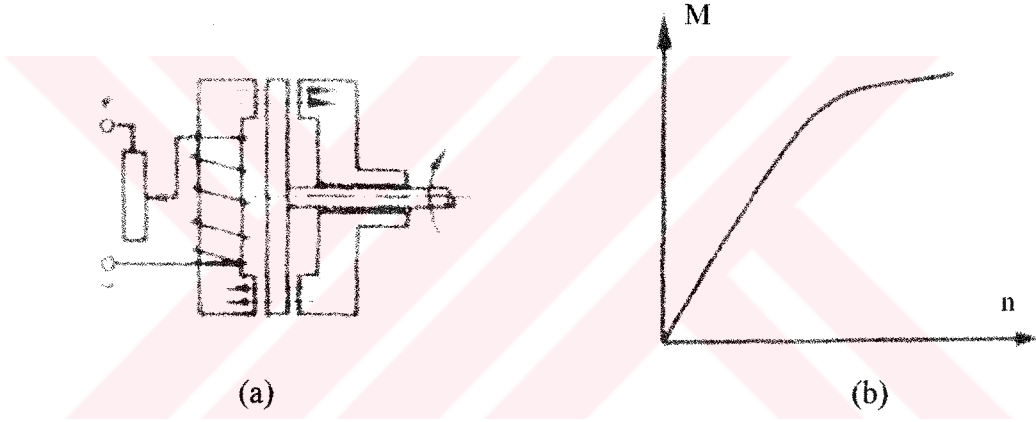
Eğer bir motor, üzerine bir yük uygulanmış dinamometreye bağlanırsa, motor dinamo tahriki için güç üretmelidir. Dinamo üzerindeki yük biliniyorsa, motor çıkış gücü tahmin edilebilir. Ölçüm doğruluğu için, sürtünme etkileri, dinamodaki sargı ve elektriksel kayıplar hesaba katılmalıdır.

Dönen elektrik makinelerinin hemen hemen hepsinde bir tahrik dinamometresi veya bir absorpsiyon dinamometresi veya her ikisi de kullanılabilir. Aşağıda üç elektrikli dinamometre çeşidi verilmiştir.

Bunlar ;

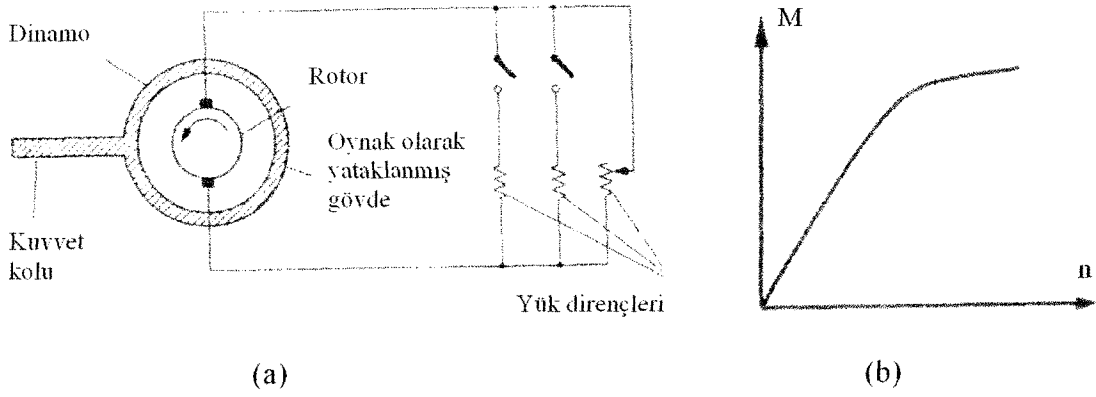
- 1) Eddy akımları dinamometresi
- 2) Doğru akım dinamometresi
- 3) Alternatif akım jeneratörleri

Bunlardan Eddy akımı dinamometresi tam anlamıyla bir absorpsiyon dinamometresidir. Bu dinamometrede bir disk, hassas olarak ayarlanabilen bir manyetik alan içinde döner. Bu esnada girdap akımları üretilir. Bu girdap akımları, kuvvetler, dolayısıyla tork oluşturur. Bu tork girdap akımlarını üreten yöne ters yönlüdür. Şekil 2.8’de prensip şeması ve devir sayısı-tork karakteristiği verilmiştir.



Şekil 2.8 (a) Eddy akımı dinamometresi prensip şeması (b) Devir sayısı-tork karakteristiği (Mesch, 1977)

Doğru akım dinamometresinde motor gücüyle elektrik üretilir. Üretilen elektrik, yüklemeye dirençlerinde ısıya dönüştürülür. Şekil 2.9’da doğru akım dinamosuna ait devir sayısı-tork karakteristiği verilmiştir.



Şekil 2.9 (a) Doğru akım dinamometresi (b) Devir sayısı-tork karakteristiği (Collett ve diğ., 1983)

### 2.3 İletim Dinamometreleri

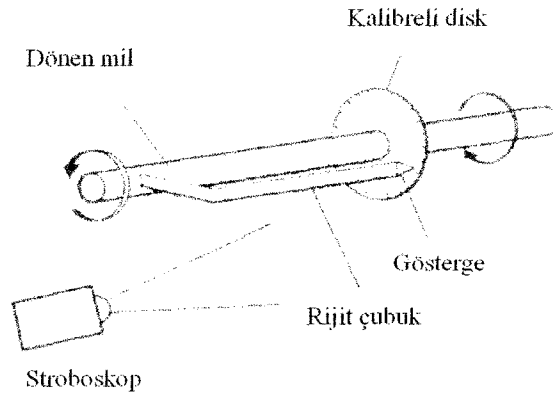
Burulma ölçerler, kullanılan aletin tipine bağlı olarak 1kW'dan 200 MW'a kadar güç ölçüm aralığında kullanılabilirler. Çalışma hızı 2 rad/s den 5000 rad/s'ye kadar çeşitli aralıktadır.

Burulma ölçerler genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar ;

- Mekanik burulma ölçer
- Elektrikli burulma ölçer
- Optik burulma ölçer

#### 2.3.1 Mekanik burulma ölçer

Bir milin dönmesi sonucu iletilen tork, burulma açısının ölçülmesi ile belirlenebilir. Şekil 2.10'da gösterilen diske göre bağlı olarak dönen gösterge, verilen bir çubuk uzunluğunun burulma açısını verecektir. Bir stroboskop ile burulma açısı ölçülebilir.



Şekil 2.10 Mekanik burulma ölçer (Collett ve diğ., 1983)



Burulma açısına bağlı olarak ;

$$M_d = \frac{G \cdot J_0 \cdot \theta}{L}$$

ifadesinden tork hesaplanabilir.

Burada ;

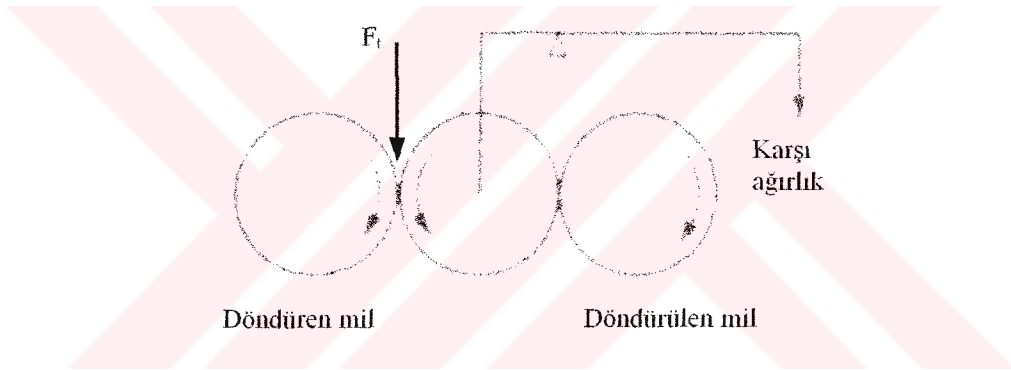
$G$  : Kayma modülü

$J_0$  : Polar atalet momenti

$\theta$  : Burulma açısı

$L$  : Burulma ölçümünün yapıldığı mil uzunluğudur

Mekanik torkmetrelere ikinci bir örnek de Şekil 2.11’de verilmiştir. Burada döndüren ve döndürülen millere dişli çarklar yerleştirilmiş ve bu iki dişlinin arasına yerleştirilen ara dişlisi bir terazinin koluna yataklanmıştır.



Şekil 2.11 Basit bir tork ölçer (Collett ve diğ., 1983)

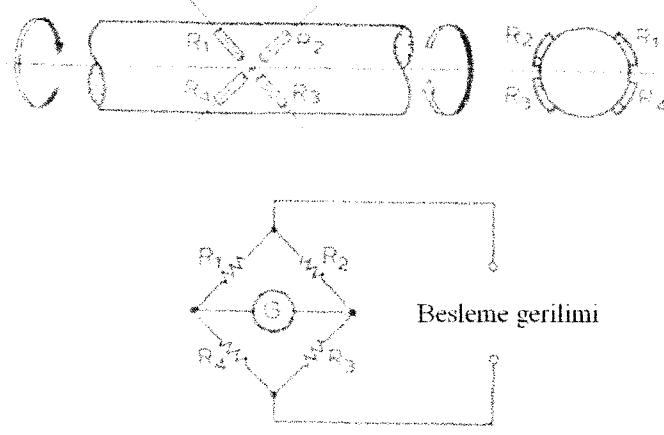
Ara dişliyi dengede tutan karşı ağırlık yardımıyla ara dişlideki teğetsel kuvvet ( $F_t$ ) ölçülmekte ve bu teğetsel kuvvet yardımıyla torkun büyüklüğü ;

$$M_d = F_t \cdot r_d$$

ile hesaplanmaktadır. Burada  $r_d$ , dişli çarkın yarıçapıdır.

### 2.3.2 Elektrikli burulma ölçer

Çok geniş bir aralıkta kullanılan elektriksel burulma ölçerler strain-gage tork metrelerdir. Şekil 2.12’de bir strain-gage tork metre gösterilmiştir. Strain-gageler milin eksenine  $45^\circ$ ’de, karşılıklı olarak monte edilirler.

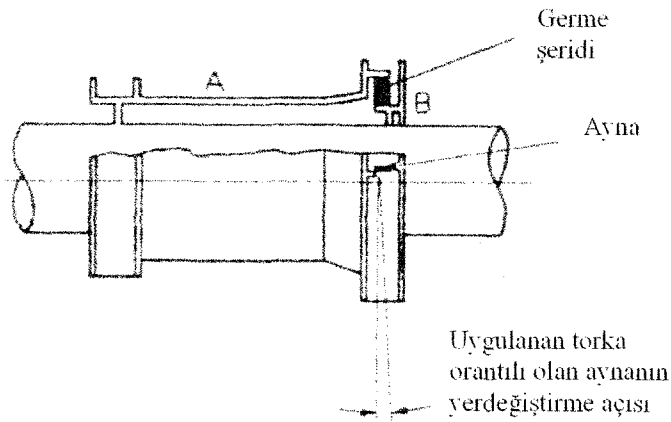


Şekil 2.12 Elektrikli burulma ölçer (Collett ve diğ., 1983)

Burada torka, dolayısıyla mildeki şekil değişikliğine bağlı olarak strain-gagelerdeki elektriki direnç değişikliği Wheatstone köprüsü yardımıyla ölçülmekte ve kalibrasyon eğrileri yardımıyla mildeki tork belirlenmektedir. Burada strain-gagelere elektrik, bilezik ve fırçalar üzerinden verilmektedir.

### 2.3.3 Optik burulma ölçer

Tork nakleden mile belirli bir aralıkta yerleştirilen A ve B gibi iki parça arasına yerleştirilen aynaya gönderilen bir ışık demetinin yansıma açısının değişimi, mildeki torkun bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Bu dinamometreye ait prensip şeması Şekil 2.13'de verilmiştir.



Şekil 2.13 Optik burulma ölçer (Collett ve diğ., 1983).

## BÖLÜM 3

### DEVİR SAYISI ÖLÇÜMÜ

#### 3.1 Hız Ölçümünün Tanımı

Hız ölçümü açısal hız ölçümü ve doğrusal hız ölçümü şeklinde sınıflandırılabilir. Dönen bir makinenin açısal hızı saniyedeki radyan (rad/s) veya dakikadaki devir (d/d) olarak ifade edilebilir. Doğrusal hız, birim zamandaki alınan yol olarak ifade edilir.

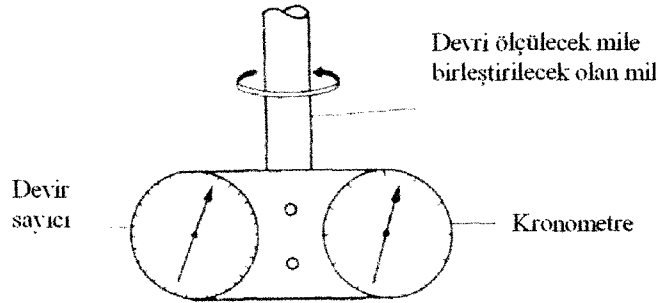
#### 3.2 Takometreler

Takometre, dönen bir milin açısal hızını direk olarak ölçen bir cihazdır. Takometre ile bir milin devir sayısını ölçmek için, devir sayısına bağlı olarak değişen fiziksel büyüklüklerden faydalanılır. Takometreler genel olarak mekanik ve elektrikli olarak sınıflandırılabilir.

##### 3.2.1 Mekanik takometreler

###### 3.2.1.1 Devir sayıcılar ve kronometre

Bu gruptaki yararlı ve basit metot, bir devir sayıcı ve bir kronometredir. Bu metot düşük hızların ölçümü için oldukça yeterlidir. Devir sayıcı ve kronometreyi bir tek alet olarak piyasada bulmak mümkündür. Bu tip takometrenin prensip şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Kronometreli devir sayıcı (Collett ve diğ., 1983)

### 3.2.1.2 Merkezkaç kuvvetiyle çalışan takometreler

Bu tip takometreler Watt regülatörü prensibinde çalışır. Devir sayısı ölçülecek olan mile bağlanan bu takometredeki  $m$  kütlesi merkezkaç kuvvetinden dolayı “ $\Delta r$ ” kadar mil ekseninden uzaklaşınca, aletin göstergesinin  $\Delta r$  ile orantılı olarak yükselmesini sağlar. Bu alette açısal hız ile  $\Delta r$  arasında ;

$$\Delta r = \frac{r_0 \cdot \omega^2}{\frac{c}{m} - \omega^2}$$

bağıntısı vardır.

Burada ;

$\Delta r$  : Mil ekseninden uzaklaşma miktarı

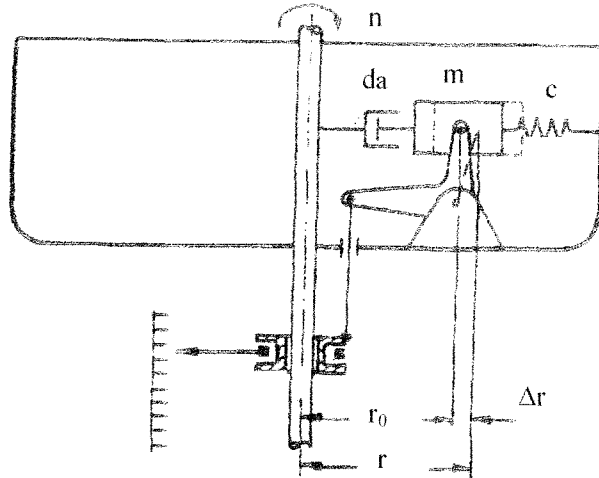
$r_0$  : Kütlenin mil ekseninden olan uzaklığı

$c$  : Yay katsayısı

$m$  : Takometredeki merkezkaç kuvvet oluşturan kütle

olarak tanımlanır.

Burada “ $m$ ” kütlelerini kararlı halde tutmak için, alete “ $c$ ” yayı ve “ $da$ ” amortisörü monte edilmiştir (Şekil 3.2).

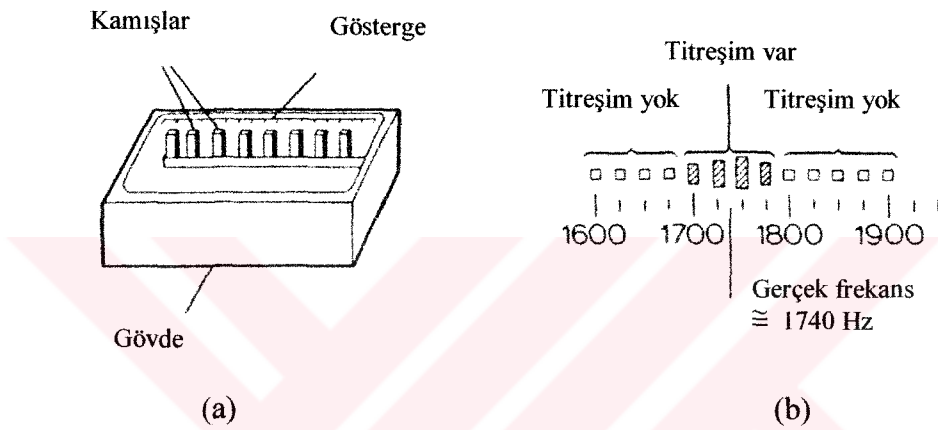


Şekil 3.2 Merkezkaç kuvvetiyle çalışan takometre (Mesch, 1977)

Bu cihaz  $\pm\%1$  doğrulukta ve 40000 d/d'ya kadar devir sayılarının ölçümünde kullanılabilir.

### 3.2.1.3 Rezonans veya titreşim kamışı takometresi

Herhangi bir makineye ait mil döndüğünde, makine üzerinde bulunan bütün elemanlar az veya çok titreşim yaparlar. Titreşimin frekansı milin devir sayısı ile orantılıdır. Titreşim takometresinin çalışması bu esasa dayanır. Titreşim kamışı takometresi, kalınlığı değişen kamış takımından oluşur. Her bir kol farklı bir titreşim doğal frekansına sahiptir (Şekil 3.3a).



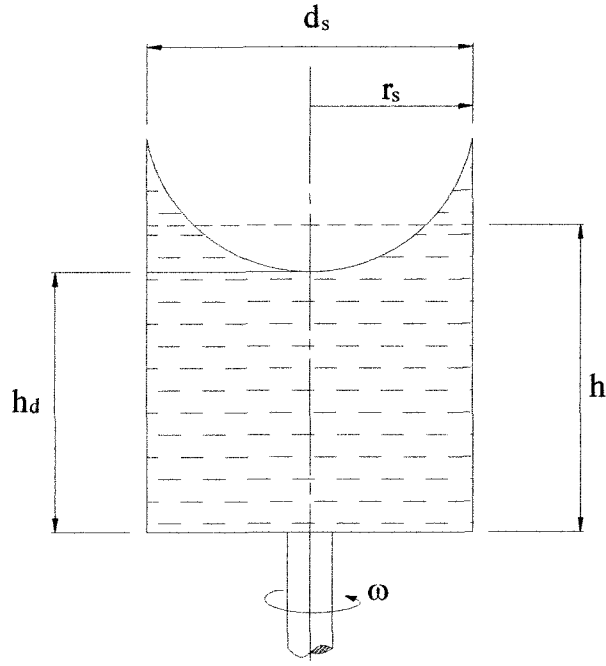
Şekil 3.3 (a) Titreşim kamışı takometresi (b) Rezonansa geçme durumu (Collett ve diğ., 1983)

Kamışlar, titreşim frekanslarının büyüklüğüne göre sıralanırlar. Doğal frekanslarının sıklığı ile makine titreşimlerinin frekansına son derece kolay cevap verecektir. Her kamış kendi doğal frekansına ulaştığında rezonansa geçer. (Şekil 3.3b)

Bu cihazın bir avantajı, sayaç sadece makinenin hareket etmeyen parçaları ile temastadır. Bu cihazlardan  $\pm\%0.5$ 'e kadar doğruluk oranı elde edilebilir ve 600-10000 d/d arasındaki devir sayılarının ölçümünde kullanılabilirler.

### 3.2.1.4 Sıvılı takometre

Bu takometrenin çalışma prensibi merkezkaç kuvvetine dayanmaktadır. Devir sayısı ölçülecek mil, içi su ile dolu silindirik kabın miline bağlanır. Kab dönünce sıvı parabol şeklini alır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Sıvılı takometre (Binici, 2001)

Sistemin açısal hızı ;

$$\omega = \frac{2}{r} \cdot \sqrt{g \cdot (h - h_d)}$$

formülü ile ifade edilmektedir (Binici, 2001).

$r_s$  : Silindir iç yarıçapı

$g$  : Yerçekimi ivmesi, (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$h$  : Suyun ilk yüksekliği

$h_d$  : Suyun en düşük seviyesi

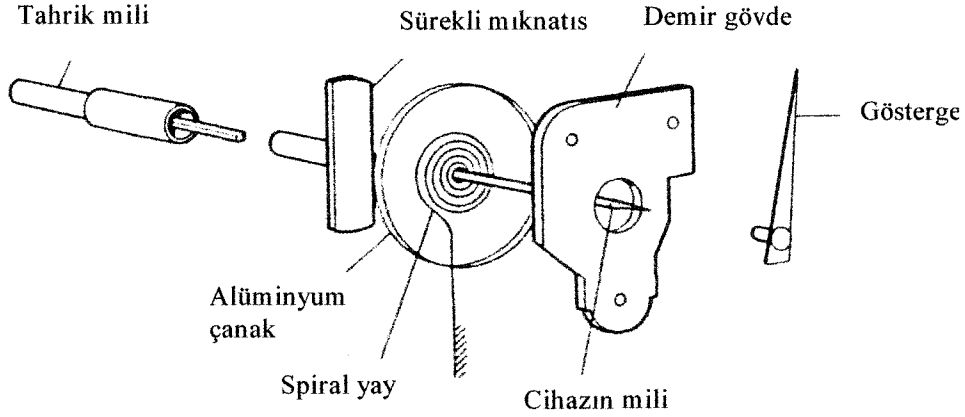
### 3.2.2 Elektrikli takometreler

Elektrik takometreleri genel olarak aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir.

- a) Endüktif takometreler
- b) Devir jeneratörü
- c) Kondansatörlü takometreler
- d) Dijital takometreler
- e) Stroboskopik takometreler

### 3.2.2.1 Endüktif takometreler

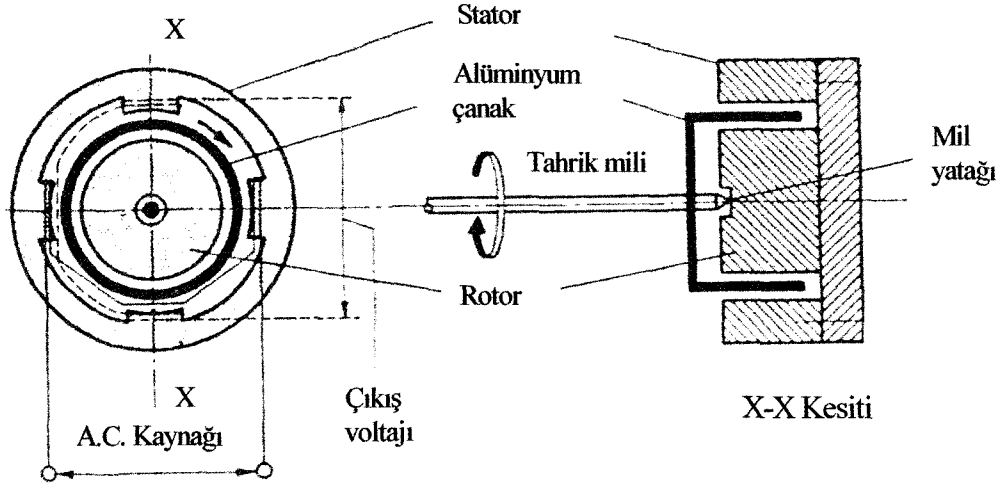
Endüktif takometreler, Eddy akımı takometresi ve alternatif akım sürüklenme çanağı jeneratörü takometresi olarak sınıflandırılabilir. Şekil 3.5’de gösterilen Eddy akımı takometresi, makine mili ile tahrik edilen, dönen sürekli bir mıknatıs sahiptir.



Şekil 3.5 Eddy akımı dinamometresi (Collett ve diğ., 1983)

Eddy akımları alüminyum sürüklenme çanağında endüklenir ve spiral bir yay ile dönen çanağa karşı bir tork üretilir. İbre, ölçekli skala üzerinde dönme hızının gösterilmesi için çanağa birleştirilir. Bu cihaz genellikle, km/saat veya mil/saat olarak doğrusal hıza ayarlandığı zaman otomobillerde kullanılır. Eddy akımı takometresi genellikle,  $\% \pm 3$  bir doğrulukta, 12000 d/d’ye kadar dönme hızlarının ölçümü için kullanılabilir.

Alternatif akım sürüklenme çanağı jeneratörü takometresi, bir tabakalı demir mıknatıs sisteminde dönen alüminyum çanağa sahiptir. Stator, Şekil 3.6’da gösterildiği gibi dört sargı taşır.



Şekil 3.6 Alternatif akım sürüklenme çanağı jeneratörü takometresi (Collett ve diğ., 1983)

Sargılara alternatif akım uygulandığı zaman alüminyum çanakta Eddy akımları endüklenir. Çanak döndüğü zaman, zıt elektromotor kuvveti oluşur. Bu elektromotor gerilimi dönme hızıyla orantılıdır. Bu çıkış voltajı, dakika başına dönmelerde ayarlanmış bir voltmetre kullanılarak ölçülebilir.

Takometrenin bu tipi, kontrol sistemlerinde geniş olarak kullanılır. Çoğu kontrol sistemleri, milin dönme hızıyla orantılı voltaj sinyaline ihtiyaç duyar. Bu ihtiyaç, takometre ile rahatça giderilebilir. Bu cihaz,  $\% \pm 0.5$  doğrulukta, 5000 d/d'ye kadar dönme hızlarının ölçümü için kullanılabilir.

### 3.2.2.2 Devir jeneratörü

Devir jeneratörleri de kontrol sistemlerinde geniş olarak kullanılırlar. Çoğu kontrol sistemleri, sistem giriş voltajı ile mukayese etmek için, milin dönme hızına orantılı bir voltaj sinyali gerektirir. Bu olay, sistem çıkış miline bir devir jeneratörünün monte edilmesi ile kolayca başarılabilir. Devir jeneratörleri, doğru akım devir jeneratörleri ve alternatif akım devir jeneratörleri olarak sınıflandırılabilirler.

Doğru akım devir jeneratörü, sürekli mıknatıslıdır ve dönen bir mile bağlanabilir. Devir jeneratörünün çıkış voltajı dönme hızına orantılıdır. Bu çıkış voltajı, dakikadaki devire ayarlanmış hareketli bobin kullanılarak ölçülebilir. Doğru akım devir jeneratörleri,  $\% \pm 0.1$  doğrulukta, 5000 d/d'ye kadar devir sayısı ölçümü için kullanılabilir.

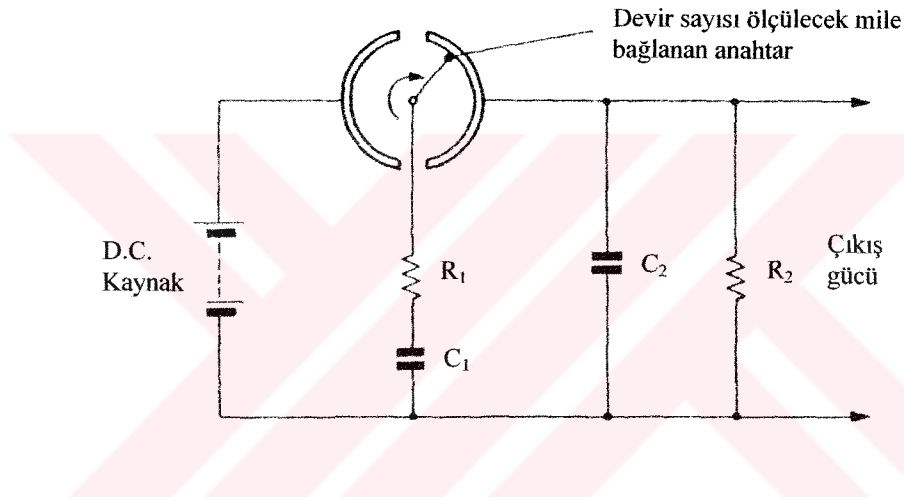
Alternatif akım devir jeneratörü, dönen bir çok kutuplu sürekli mıknatısa sahip alternatördür. Alternatör, dönen mil ile tahrik edilir ve çıkış voltajı dakikadaki devire



ayarlanmış olan voltmetre ile ölçülür. Burada doğru akım devir jeneratörlerinde olduğu gibi çıkış voltajı hızla orantılıdır. Fakat frekans hız ile de değişir ve bu olay cihazın doğruluğunu etkiler. Bu cihaz,  $\% \pm 2$  doğrulukta, 5000 d/d'ya kadar devir sayısı ölçümü için kullanılabilir (Collett ve diğ., 1983).

### 3.2.2.3 Kondansatörlü takometreler

Takometre, sırayla bir kondansatörü dolduran ve boşaltan anahtardan oluşur (Şekil 3.7).  $C_1$  kondansatörü, sabit bir doğru akım kaynağından şarj edilir ve şalterin dönmesi ile  $R_2$  direnci üzerinden deşarj olur. Ortalama deşarj akımı ve dolayısıyla  $R_2$ 'nin uçlarındaki gerilim, milin dönme hızıyla orantılıdır.  $C_2=100.C_1$  değerinde olmalıdır ve  $R_1$  direnci de mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Bu cihaz 200-100000 d/d aralığında kullanılabilir.



Şekil 3.7 Kondansatörlü takometreler (Collett ve diğ., 1983)

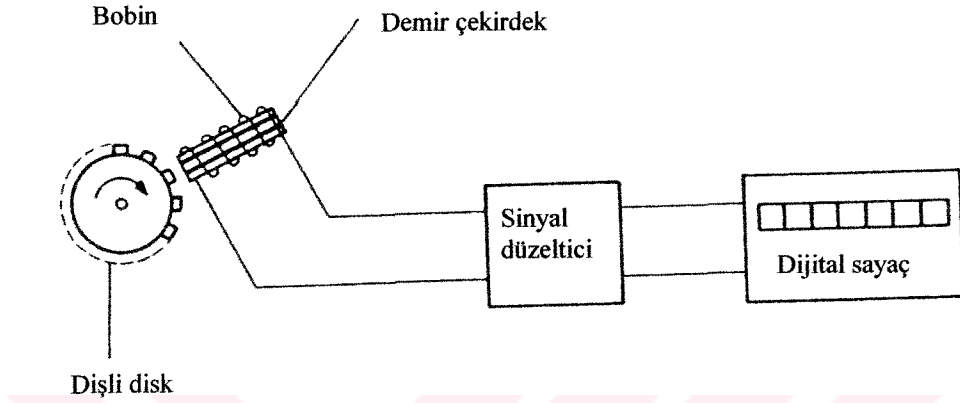
### 3.2.2.4 Dijital takometreler

Şimdiye kadar tartışılan elektrikli takometreler hızı analog olarak göstermektedirler. Dijital takometreler darbeli veya dijital çıkış sinyali verirler. Dijital çıkış, hızın direk gösterilmesi ve hesap için ölçme amacıyla veya kontrol sistemlerinde değerlendirilmek üzere kullanılabilir. Transduser ile mil arasında fiziksel bir bağlantı olmaması ve makine miline yük uygulanmaması, bu cihazların en büyük avantajıdır.

Dijital sinyal almanın değişik şekilleri kullanılabilir ve bunlardan en yaygın olan iki tanesi aşağıda açıklanmıştır.

Endüktif sinyal alma takometresi:

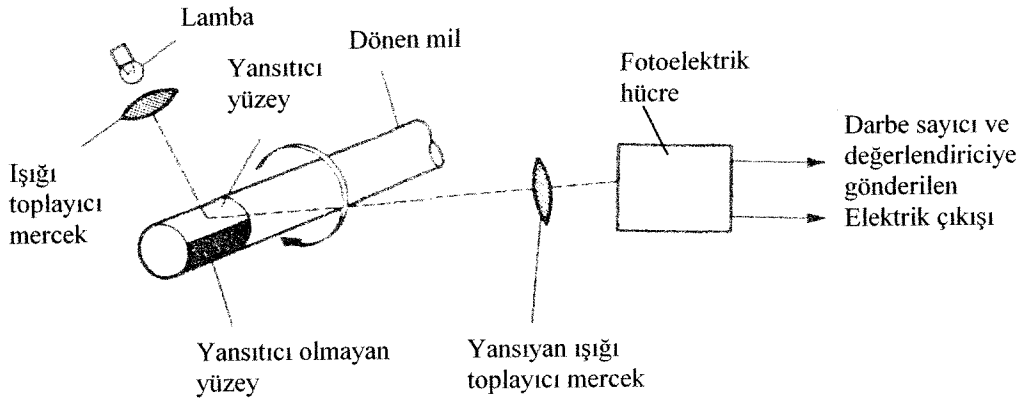
Endüktif sinyal toplamanın kullanıldığı tipik bir sistem Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Disk üzerindeki her bir diş, demir çekirdeğin önünden geçerken manyetik devrenin direncini değiştirir ve böylece üretilen elektromotor kuvveti bir darbe şekline dönüşür. Darbeler, dijital sayaca gönderilir. Dijital sayaç, ayarlanmış bir zaman dilimi içindeki darbeleri sayar.



Şekil 3.8 Endüktif sinyal alma takometresi (Collett ve diğ., 1983)

Fotoelektrik sinyal alma takometresi :

Bu cihaz, dönen makine milinden yansıyan ışık darbeleri ile aktif hale getirilen bir fotoelektrik hücreden oluşur. Mil, kesikli yansıtıcı yüzeye sahiptir ve ışık demeti mil üzerinde bir noktaya odaklandığı zaman, ışık darbeleri elde edilir (Şekil 3.9).

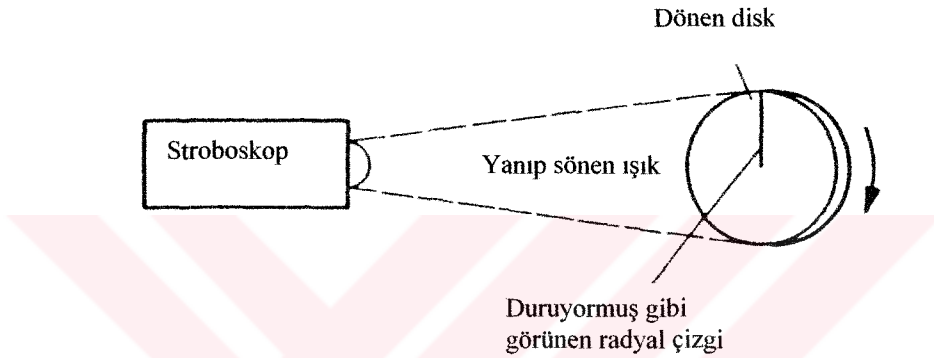


Şekil 3.9 Fotoelektrik sinyal alma takometresi (Collett ve diğ., 1983)

Işık darbelerinin sayısı milin hızı ile orantılıdır ve böylece fotoelektrik hücredeki elektriksel çıkış darbelerinin frekansı da mil hızı ile orantılı olacaktır. Tekrarlı darbeler, bir dijital sayıcı için uygun girişi sağlarlar. Dijital ölçüm sistemleri, 3000000 d/d'ya kadar uygulanabilir ve doğruluk sadece sayıcı cihazın doğruluğu ile sınırlıdır.

### 3.2.2.5 Stroboskopik takometreler

Bu cihazın çalışma prensibi, tekrarlanan bir olayın frekansı, o olayı gözlemek için kullanılan ışığın frekansı ile çakıştığında olay sürekli oluyormuş gibi görünmesi esasına dayanır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Stroboskopik takometre (Collett ve diğ., 1983)

Dönen bir mil üzerine yerleştirilen bir diskin üzerine çizilen radyal işaret, milin devir sayısını ölçmek için kullanılmak istendiğinde, milin yavaş dönmesi durumunda bu işaretin devir sayısı sayılarak milin açısal hızı bulunabilir. Ancak milin hızı arttığında bu çizgi ayırt edilmez hale gelir. Oysa, ayarlanabilir frekanslarda ışık üretebilen bir ışık kaynağından bu disk üzerine gönderilen ışık sayesinde mil üzerindeki işaret gözlenebilir. Işığın frekansı milin dönme hızı aynı olduğunda disk üzerindeki çizgi sanki hiç hareket etmeden olduğu yerde duruyormuş gibi görünür. Işığın frekansı biliniyorsa, bunun milin dönme sayısına eşit olduğu söylenebilir. Bu tip ışığı veren cihazlara stroboskop denir.

## BÖLÜM 4

### SİSTEM TASARIMI

#### 4.1 Genel Bilgiler

Sistemin tasarımı, 2,2 kW ve daha aşağı güçteki elektrik motorlarının karakteristik özelliklerini belirleyebilecek şekilde yapılmıştır. Seçilen elektrik motorunun genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

- $P = 2,2 \text{ kW}$
- $n = 1400 \text{ d/d}$

#### 4.2 Güç, Tork ve Açısal Hız Arasındaki Bağını

Sistemde ortaya çıkabilecek maksimum torkun belirlenmesi boyutlandırma açısından son derece önemlidir. Sistemde ortaya çıkacak tork, dinamikten bilindiği gibi aşağıdaki şekilde hesaplanır ;

$$M_d = \frac{P}{\omega}$$

Burada ;

$M_d$  : Motor torku, (N.m)

$P$  : Güç, (Watt)

$\omega$  : Açısal hız, (rad/s)

Diğer taraftan açısal hız ;

$$\omega = \frac{2.\pi.n}{60}$$

şeklinde verilir.

Burada n dakikadaki devir sayısıdır.

Bu durumda, seçilen motorun anma gücündeki açısal hızı ;

$$\omega = \frac{2.\pi.1400}{60} = 146,6 \text{ (rad/s)}$$

olur.

Motor milindeki tork ise ;

$$M_d = \frac{P}{\omega} = \frac{2200}{146,6} = 15 \text{ (N.m) 'dir.}$$

Motor milindeki bu tork, ya frenleme sisteminde oluşan kuvvetlerin ölçülmesi yardımıyla, ya da motor gövdesinin beşik şeklinde yataklanarak bu gövdedeki torkun ölçülmesiyle belirlenebilir.

### 4.3 Fren Sisteminin Boyutlandırılması

Fren sisteminin, motor miline 15 N.m'lik bir tork uygulayabilecek şekilde boyutlandırılması gereklidir. Frenleme malzemelerinden beklenen iki temel fonksiyon vardır ;

- 1) Bu torku sağlamak için gerekli sürtünme kuvvetini emniyetli şekilde oluşturması
- 2) Bu esnada ortaya çıkan ısıyı çevreye verebilmesi, başka bir ifadeyle, frenleme esnasında devre elemanlarının aşırı ısınmaması

Boyutlandırma yapılırken ön tasarımda sürtünme malzemesi olarak sac, balata veya tahta kullanılması durumları söz konusu olabilir. Çeşitli malzeme çiftlerinin birbirleri üzerindeki sürtünme katsayıları Çizelge 4.1'de görülmektedir. Ayrıca Çizelge 4.2'de de kullanılabilir olan malzemelerin emniyetli basınç ve sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1 Çeşitli malzeme çiftleri için sürtünme katsayıları (Shigley ve diğ., 1989)

Malzeme Çifti	Kuru Sürtünme Katsayısı	Yağlı Sürtünme Katsayısı
Çelik-Çelik	0,065-0,16	0,055-0,12
Dökme Demir-Dökme Demir	0,15-0,20	0,05
Balata-Çelik	0,3-0,6	0,1-0,2
Tahta-Çelik	0,2-0,35	0,16

Çizelge 4.2 Malzemelerin emniyetli basınç ve sıcaklık değerleri (Shigley ve diğ., 1989)

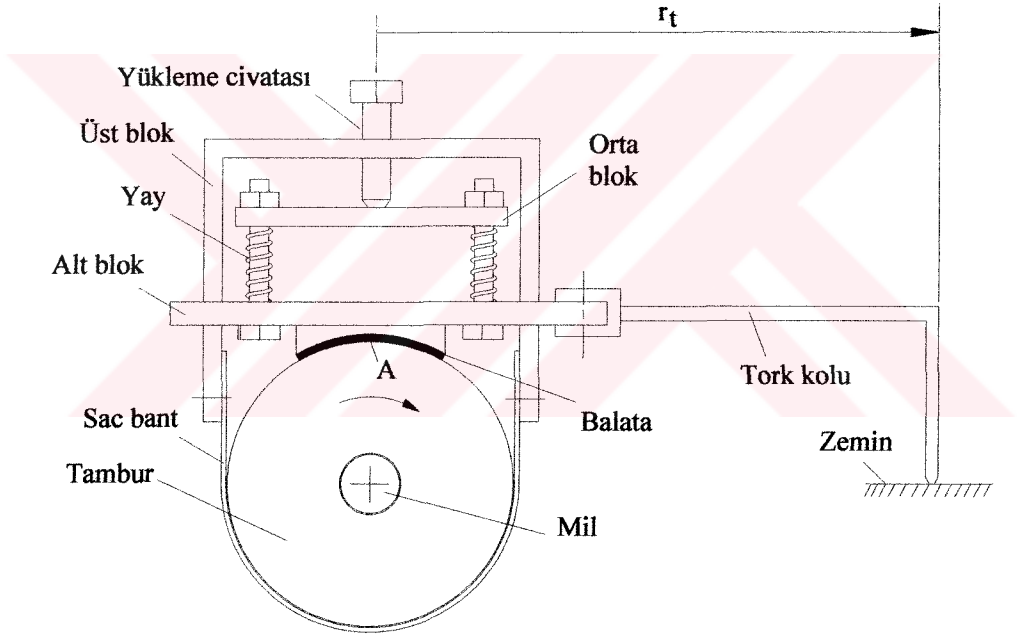
Malzeme	Emniyetli Basınç Değeri (Kpa)	Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)
Sac	40000-80000	350
Tahta	400-600	150
Balata	340-690	175

Bu çizelgelerden görüldüğü gibi, tahtanın maksimum çalışma sıcaklığının ve sürtünme katsayısının küçük olması nedeniyle tahta alternatif eleman olarak dikkate alınmayacaktır.

#### 4.3.1 İmalatı düşünülen fren sistemlerinin irdelenmesi

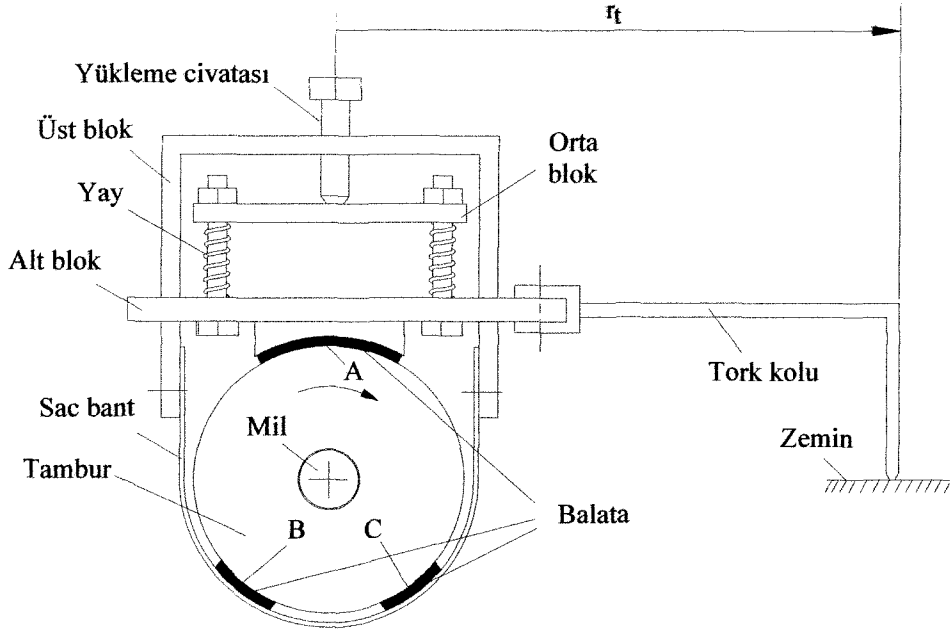
Sürtünme elemanı olarak sac bant kullanılması halinde, Şekil 4.1’de görüldüğü gibi fren sistemi mile bağlı olan tamburun dışına geçirilmiştir. Fren sistemi, yükleme civatası vasıtasıyla tamburu sıkmaya başladığı anda, fren sisteminin dönmesi zemine dokunan bir kol aracılığıyla engellenir. Motor milindeki enerji, sürtünme yardımıyla ısıya dönüştürülerek motor yüklenmiş olur.

Fren sisteminde, yüklemenin yapıldığı civata adımlarında mevcut olan hataların yüklemdeki olumsuz etkisini ortadan kaldırmak için, yüklemenin dört yay üzerinden yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4.1 Fren malzemesi olarak sac kullanılması durumu

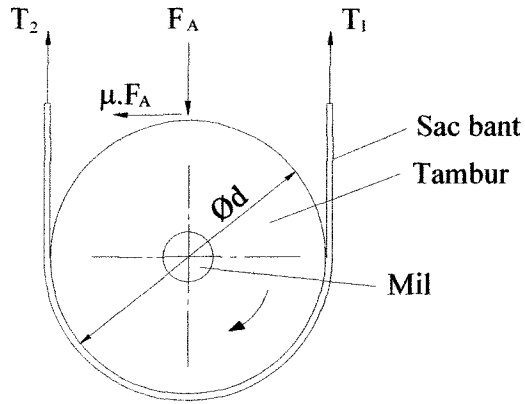
Sürtünme elemanı olarak balata kullanılması haline ait prensip şeması Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2 Fren malzemesi olarak balata kullanılması durumu

#### 4.3.2 Fren sistemindeki kuvvet bağıntıları

Fren malzemesi olarak sac bant kullanılması durumunda tamburun sac bantla birlikte serbest cisim diyagramı çizilirse ortaya çıkacak kuvvetler Şekil 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.3 Fren malzemesi olarak sac kullanılması durumunda tamburun serbest cisim diyagramı

Burada verilen kuvvetler arasında ;

$$T_1 = T_2 \cdot e^{\mu \alpha}$$

$$M_d = \mu \cdot F_A \cdot \frac{d}{2} + T_1 \cdot \frac{d}{2} - T_2 \cdot \frac{d}{2}$$

bağıntılarının olduğu mekanikten bilinmektedir (Shigley ve diğ., 1989).

Bu ifadelerde ;

$M_d$  : Motor torku, (N.m)

$\mu$  : Sürtünme katsayısı

$F_A$  : Alt bloğun tambura uyguladığı normal kuvvet, (N)

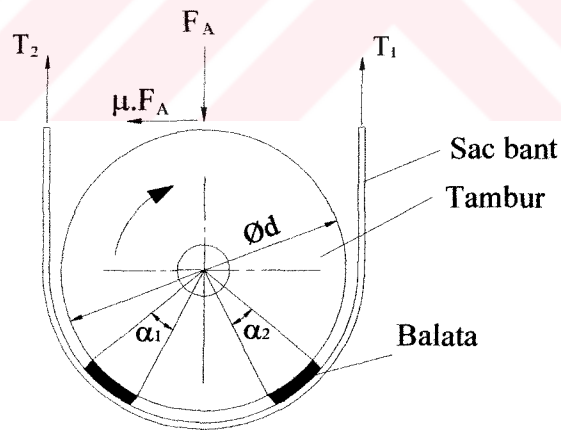
$\mu \cdot F_A$  : Alt bloğun tambura uyguladığı sürtünme kuvveti, (N)

$T_1, T_2$  : Sac banttaki çekme kuvvetleri, (N)

$d$  : Tambur çapı, (m)

$\alpha$  : Sürtünme boyunca etkili olan açı, (rad)

Fren malzemesi olarak balata kullanılması durumuna ait serbest cisim diyagramı Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4 Balata kullanılması durumunda tamburun serbest cisim diyagramı

Buradaki kuvvetler arasında ;

$$T_1 = T_2 \cdot e^{\mu(\alpha_1 + \alpha_2)}$$



$$M_d = T_1 \cdot \left( \frac{d}{2} + a \right) - T_2 \cdot \left( \frac{d}{2} + a \right) + \mu \cdot F_A \cdot \frac{d}{2}$$

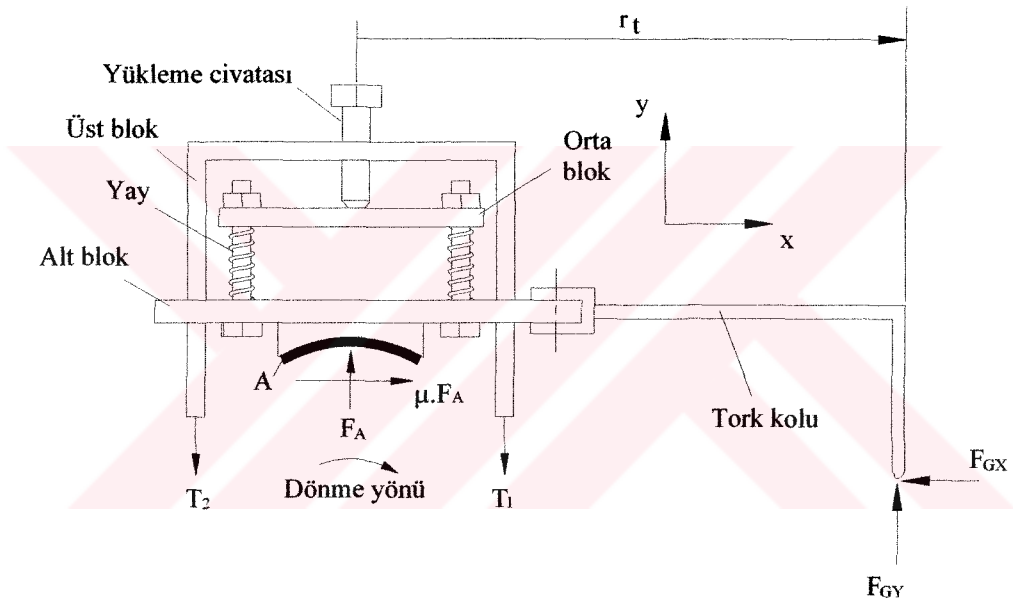
bağıntısı vardır.

Burada ;

$a$  : Balata kalınlığı, (mm)

$\alpha_1, \alpha_2$  : Alt balataların sürtünme boyunca etkili açıları, (rad)

Her iki durum için fren sisteminin üst kısmına ait serbest cisim diyagramı Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5 Sac veya balata kullanılması durumunda üst kısmın serbest cisim diyagramı

Bu serbest cisim diyagramına ait denge denklemleri yazılırsa ;

$$\sum F_y = 0$$

$$F_A + F_{GY} - T_1 - T_2 = 0$$

elde edilir. Burada  $F_{GY}$ , zeminin kola etkittiği düşey kuvvettir.

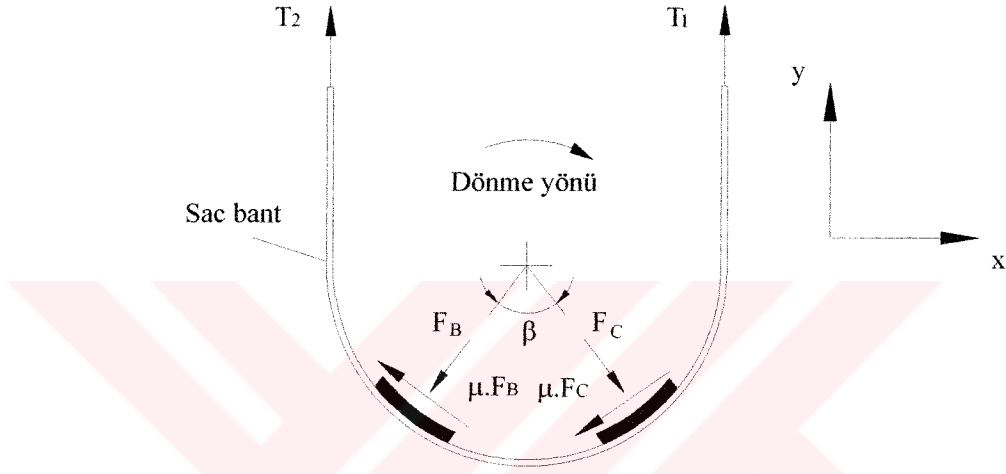
Ayrıca ;

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{GX} = \mu \cdot F_A$$

olarak belirlenmiş olur. Burada  $F_{GX}$ , zeminin kola etkittiği sürüklenme kuvvetidir.

Şekil 4.4'deki serbest cisim diyagramında sürtünme elemanlarına gelen kuvvetler görülmektedir. Oysa bunların boyutlandırılması için etkiyen kuvvetlerin bilinmesi gereklidir. Bu nedenle Şekil 4.6'da verilen serbest cisim diyagramı çizilmiştir.



Şekil 4.6 Balata kullanılması durumunda sacın serbest cisim diyagramı

Bu serbest cisim diyagramına ait denge denklemleri yazılırsa ;

$$\sum F_x = 0$$

$$-\mu \cdot F_B \cdot \cos(\beta/2) - F_B \cdot \sin(\beta/2) - \mu \cdot F_C \cdot \cos(\beta/2) + F_C \cdot \sin(\beta/2) = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$T_1 + T_2 + \mu \cdot F_B \cdot \sin(\beta/2) - F_B \cdot \cos(\beta/2) - F_C \cdot \cos(\beta/2) - \mu \cdot F_C \cdot \sin(\beta/2) = 0$$

ifadeleri bulunur. Buradaki  $\beta$  açısı, alt balata elemanlarının aralarındaki açıdır. Bu ifadelerden B ve C balatalarına etki eden  $F_B$  ve  $F_C$  kuvvetleri hesaplanır.

Sistemin boyutlandırılması için gerekli olan  $T_1, T_2, F_A, F_B$  ve  $F_C$  kuvvetleri, yukarıda verilen denklemlerden hesaplanır. Burada sisteme ait tambur çapı  $d = 114$  mm, balata

kullanılması haline ait  $\beta$  açısı  $115^\circ$  seçilmiştir. Sürtünme katsayıları Çizelge 4.1’de verilen değerlerden sac için  $\mu = 0,16$  , balata için  $\mu = 0,3$  alınmıştır.

Bulunan sonuçlar Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Hesaplama sonucunda bulunan kuvvetler

Fren Malzemesi Olarak Kullanılan Malzeme	Oluşan Kuvvetler				
	$T_1$	$T_2$	$F_A$	$F_B$	$F_C$
Sac	405,35 N	245,22 N	620,98 N	-	-
Balata	330 N	240,70 N	541,11 N	394 N	580,35 N

Çizelge 4.3’de sac bant kullanılması halinde oluşan iç kuvvetlerin , balata kullanılması halinde oluşan iç kuvvetlere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca sac bantlı sistemin gürültülü çalışacağı ve aşınma durumunda değiştirmenin zor olacağı düşüncesiyle, sürtünme elemanı olarak balata kullanılmasına karar verilmiştir.

#### 4.3.3 Balataların boyutlandırılması

Çizelge 4.3’e dikkat edilirse, en fazla zorlanmanın C balatasında olduğu görülür. Bu balata için gerekli A alanı, basıncın yüzeye eşit dağıldığı kabulüyle ;

$$A = \frac{F_C}{P_{em}}$$

ifadesiyle hesaplanır.

$P_{em.balata} = 500 \text{ kPa} = 50 \text{ N/cm}^2$  olarak alınırsa gerekli balata yüzey alanı ;

$$A = \frac{580,35}{50} = 11,60 \text{ cm}^2 \quad \text{bulunur. Bulunan bu sonuca göre balata ebatları}$$

$(50 \times 60) \text{ mm}^2 = 30 \text{ cm}^2$  seçilmiştir. Ayrıca seçilen balatanın kalınlığı ise 4 mm’dir.

#### 4.3.4 Yay hesabı

Kuvvetin orta bloktan alt bloğa, Şekil 4.5, düzgünce iletilebilmesi için yayların yay sabitlerinin uygun şekilde belirlenmesi gereklidir. Yay sabiti ;

$$k_{yay} = \frac{G_y \cdot d_y^4}{8 \cdot D_m^3 \cdot i}$$

şeklinde tanımlanır.

Burada ;

$k_{yay}$  : Yay sabiti, (N/m)

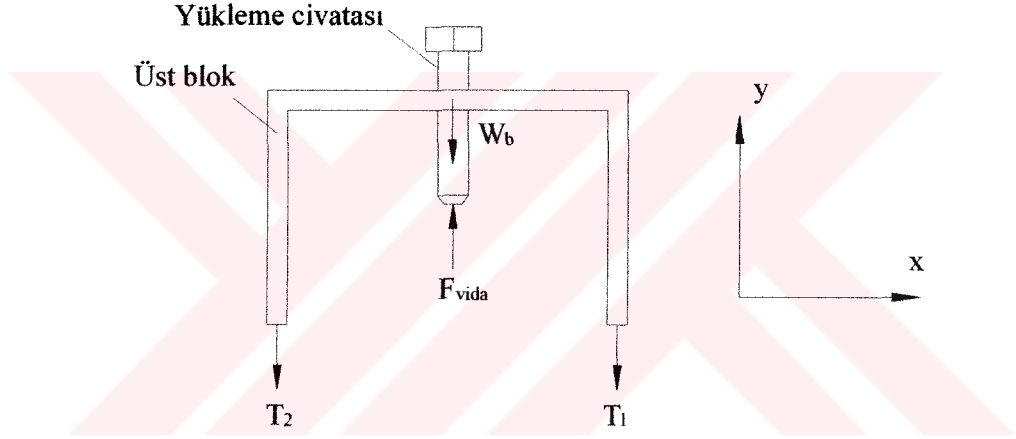
$G_y$  : Yayın kayma modülü, (N/mm<sup>2</sup>)

$d_y$  : Yay teli çapı, (mm)

$D_m$  : Sarım çapı, (mm)

$i$  : Sarım sayısı

Her bir yaya etki eden kuvveti görmek için yükleme civatasının serbest cisim diyagramı çizilirse (Şekil 4.7) ;



Şekil 4.7 Yükleme civatasının serbest cisim diyagramı

Bu serbest cisim diyagramına ait denge denklemi yazılırsa ;

$$F_{vida} = T_1 + T_2 + W_b$$

olarak belirlenir.

Burada ;

$F_{vida}$  : Yükleme civatasına etki eden kuvvet, (N)

$W_b$  : Üst bloğun ağırlığı, (N)

Sürtünme elemanı olarak balata kullanılan sisteme göre ;

$$W_b = 30 \text{ N}$$

$$F_{\text{vida}} = 330 + 240,70 + 30 = 600,7 \text{ N}$$

olup sistemde dört yay kullanıldığında  $F_{\text{yay}} = 150 \text{ N}$  civarındadır.

Yükleme civatası olarak TSE Standartlarına uygun M12 civata seçilmiştir. Tam yüklemenin yaklaşık altı turda gerçekleşmesini düşünerek yayların yapacağı maksimum deplasman ;

$$f_{\text{maks}} = 6.s$$

şeklinde dir. Burada s yüklem civatasının adımıdır ve değeri 1,75 'dir. O halde maksimum yay deplasmanı ;

$$f_{\text{maks}} = 6.1,75 = 10,5 \text{ mm}$$

civarındadır. Buna göre kullanılacak olan yayların her birinin sabiti ;

$$k_{\text{yay}} = \frac{F_{\text{vida}}}{f_{\text{maks}}}$$

şeklindedir ve sayısal olarak ;

$$k_{\text{yay}} = \frac{150}{10,5} = 14,28 \text{ N/mm} = 14280 \text{ N/m} \text{ 'dir.}$$

$G_y = 80000 \text{ N/mm}^2$  olduğuna göre, sarım çapı  $D_m = 11 \text{ mm}$ , sarım sayısı  $i = 8$  seçilirse yay telinin çapı ;

$$14,28 = \frac{80000.d_y^4}{8.11^3.8}$$

$d_y = 1,97 \text{ mm}$  bulunur ve yay teli çapı  $d_y = 2 \text{ mm}$  seçildi.

#### 4.3.5 Fren sisteminde oluşacak sıcaklık hesabı

Motor torkunun ölçülmesi esnasında 2,2 kW'lık motor gücünün deney süresince vereceği enerjinin fren sistemi elemanlarında oluşturacağı sıcaklık artışı sistem tasarımı açısından son derece önemlidir. Bu esnada, sistem sıcaklığına bağlı olarak çevreye olan ısı transferi hakkında gerekli bilgi temin edilememiştir. En kötü ihtimal olan mevcut sürtünme enerjisinin tamamının fren sistemi elemanlarında depo edilip bu elemanlarda sıcaklık artışına sebep olacağı kabulüyle hesap yapılmıştır. Bu hesaplamada mukayese kriteri

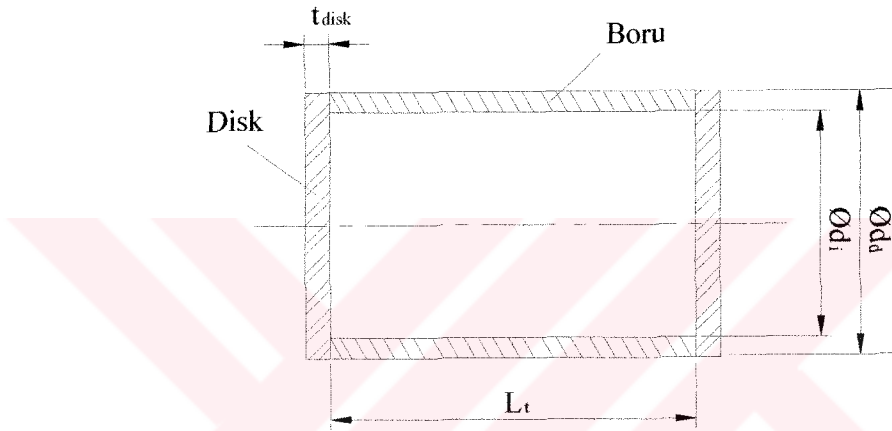
olarak fren malzemelerinin Çizelge 4.2’de verilen maksimum çalışma sıcaklığına erişme zamanı alınacaktır.

Bu hesaplama için tamburun toplam kütlesi, tambur malzemesinin ısınma ısısının bilinmesi gerekir.

Tambur kütlesi Şekil 4.8’den de görülebileceği gibi;

$$m_{\text{tambur}} = m_{\text{boru}} + m_{\text{disk}}$$

$$m_{\text{tambur}} = \left[ \frac{\pi \cdot (d_d^2 - d_i^2)}{4} \cdot L_t + 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_d^2}{4} \cdot t_{\text{disk}} \right] \cdot \rho$$



Şekil 4.8 Tamburun detay resmi

Burada ;

$$d_d = 114 \text{ mm}$$

$$d_i = 106 \text{ mm}$$

$$L_t = 150 \text{ mm}$$

$$\rho = 7,8 \text{ gr/cm}^3$$

$$t_{\text{disk}} = 5 \text{ mm}$$

değerleri seçilerek ;

$$m_{\text{tambur}} = 2,416 \text{ kg}$$

olarak bulunur.

Tambur malzemesinin özgül ısısı  $C = 500 \text{ Joule/kg}^\circ\text{C}$ ’dir ( Frank ve diğ., 2001).

Balata sıcaklığının  $175^{\circ}\text{C}$ 'ye erişmesi durumunda tamburun depo edeceği ısı miktarı  $Q_{\text{tambur}}$  ;

$$Q_{\text{tambur}} = m_{\text{tambur}} \cdot C \cdot \Delta t = 2,413.500 \cdot (175^{\circ} - 20^{\circ}) = 187007,5 \text{ joule}$$

elektrik motorunun tam yükte bu işi vermesi için gereken süre,  $t$  ;

$$t \cdot P = Q_{\text{tambur}}$$

buradan  $P = 2200 \text{ J/s}$  için  $t$  ;

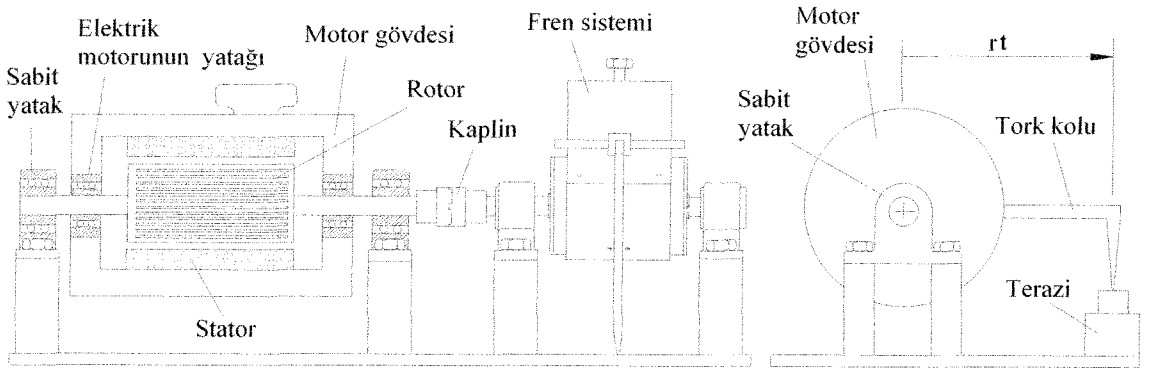
$$t = \frac{Q_{\text{tambur}}}{P} = \frac{187007,5}{2200} = 85 \text{ s}$$

gereklidir.

#### 4.4 Torkun Motor Gövdesi Yardımıyla Ölçülmesi

Mekanikten bilindiği gibi, elektrik motorunun gövdesi üzerindeki sargılar rotoru döndürürken, etki-tepki prensibince rotor da gövdeyi ters tarafa aynı şiddette tork ile döndürmek isteyecektir.

Elektrik motorunun gövdesi beşik şeklinde yataklanarak dönmesi bir kol ve bir terazi vasıtasıyla engellenerek bu tork değeri ölçülebilir. Bu duruma ait prensip şeması Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Torkun motor gövdesi yardımıyla ölçülmesi prensibi

Burada kullanılacak terazinin kapasitesini seçmek için tork kolunun teraziye uygulayabileceği maksimum  $F_{\text{Terazi}}$  kuvvetinin bilinmesi gerekir. Bu kuvvet daha önce

$M_d = 15 \text{ N.m}$  olarak bulunan motor torku ve  $r_t = 0,5\text{m}$  olarak seçilen tork kolu yardımıyla bulunur.

$$M_d = r_t \cdot F_{\text{Terazi}}$$

eşitliğinden ;

$$15 = 0,5 \cdot F_{\text{Terazi}}$$

$$F_{\text{Terazi}} = 30 \text{ N}$$

olarak bulunur. Bu durumda terazinin ölçme kapasitesinin 30 N civarında olması gerekmektedir.

Deney düzeneğini oluşturan bütün parçaların teknik resimleri ve deney düzeneğinin montaj resmi Ek-1’de verilmiştir. Deney tesisatının fotoğrafı ise Ek-2’de verilmiştir.

#### **4.5 Devir Sayısı Ölçümü**

Üçüncü Bölümde bahsedilen hız ölçme yöntemlerinden, temini kolay, ucuz ve 1400-1500 devir/dakika aralığındaki dönme hızlarını ölçebilecek hazır bir takometre kullanılmasına karar verilmiştir. Bu iş için ENDA ETS 1410 Darbe Girişli Takometre (Sisel Mühendislik San. A.Ş., 2003) seçilmiştir. Bu takometrenin çalışma prensibi, Bölüm 3.2.2.4’de açıklanan endüktif sinyal alma takometresinin çalışma prensibine dayanır.

#### **4.6 Motorun Elektrik Gücünün Ölçümü**

Mekanik olarak ölçülen motor gücünün doğruluğundan emin olabilmek için, motor elektrik gücünün ölçülmesine de karar verilmiştir. Bu amaçla, 50Hz’de 2,2 kW’a kadar güçleri ölçebilen bir wattmetre (GEPA MP-10) kullanılmıştır.

Ayrıca sistemin aşırı yüklenme durumunda motoru korumak amacıyla termik manyetik şalter kullanılmıştır.



## BÖLÜM 5

### TORK VE GÜÇ ÖLÇÜM DENEYLERİ

#### 5.1 Devir Sayısı - Tork Karakteristiğinin Elde Edilmesi

Başlangıçta motor boşta çalıştırılmış olup, boştaki asenkron hız 1496 d/d elde edilmiş ve motorun boşta çalışmasındaki tork değeri kaydedilmiştir. Daha sonra, fren sistemindeki yükleme civatası yavaş yavaş sıkılarak hem o andaki devir sayısı, hem de terazide oluşan kuvvet değeri kaydedilmiştir. Bu ölçülen değerler Çizelge 5.1'de verilmiştir. Daha sonra motor milindeki tork değerleri  $M_d = F_{\text{Terazi}} \cdot r_t$  ifadesiyle hesaplanmıştır. Tork kolunun  $r_t=0,5$  m olduğu daha önce belirtilmişti.

Çizelge 5.1 Devir sayısı - kuvvet değerleri

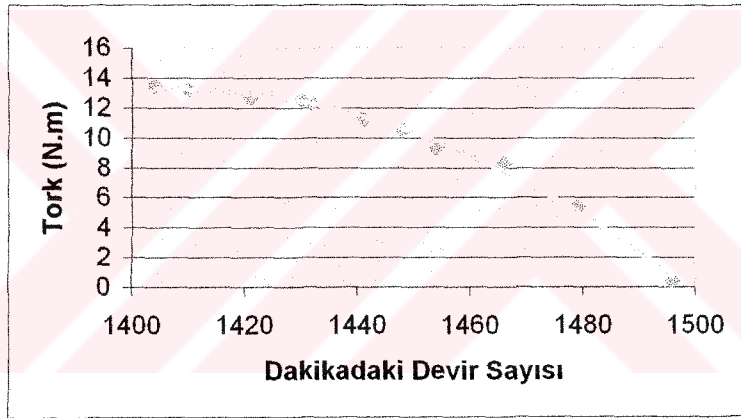
Ölçülen devir sayısı (d/d)	Terazide okunan kuvvet değeri (N)
1496	0,78
1479	10,79
1466	16,67
1454	18,63
1448	21,09
1441	22,56
1432	24,52
1430	25,01
1421	25,3
1410	26,48
1404	26,97

İlgili devir sayılarında oluşan tork değerleri de Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Devir sayısı - tork değerleri

Ölçülen devir sayısı (d/d)	Tork (N.m)
1496	0,39
1479	5,39
1466	8,33
1454	9,31
1448	10,50
1441	11,28
1432	12,26
1430	12,50
1421	12,65
1410	13,24
1404	13,48

Çizelge 5.2'deki devir sayısı ve tork değerleri bir grafik olarak Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Devir sayısı-tork grafiği

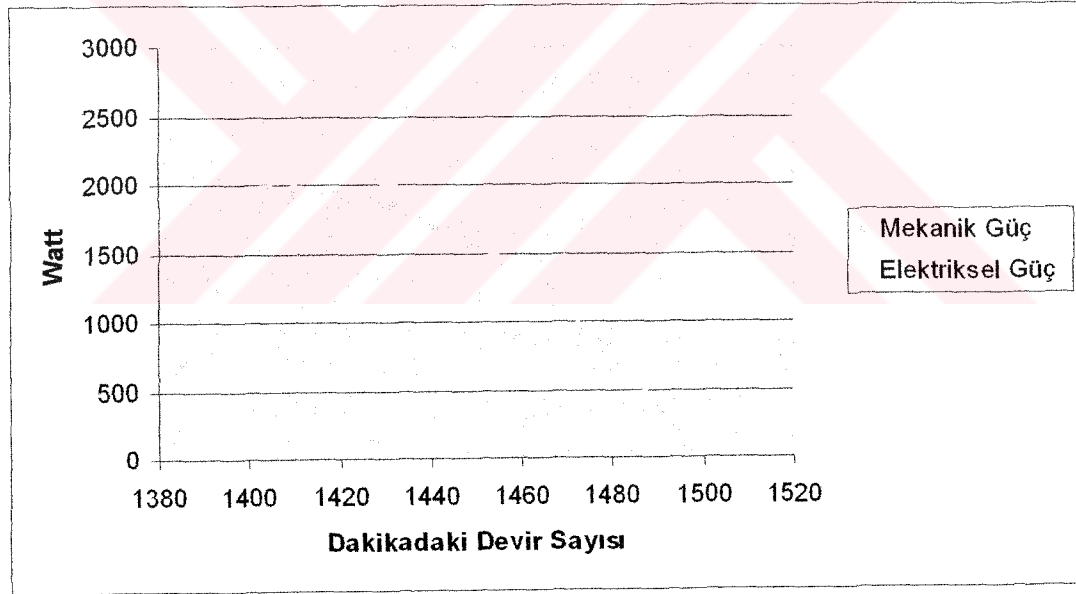
## 5.2 Devir Sayısı – Güç Karakteristiğinin Elde Edilmesi

$P = M_d \cdot \omega$  olduğu hatırlanırsa, motor gücünün Çizelge 5.2'den kolayca hesaplanabileceği görülür. Hesaplanan değerler Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 Devir sayısı – güç değerleri

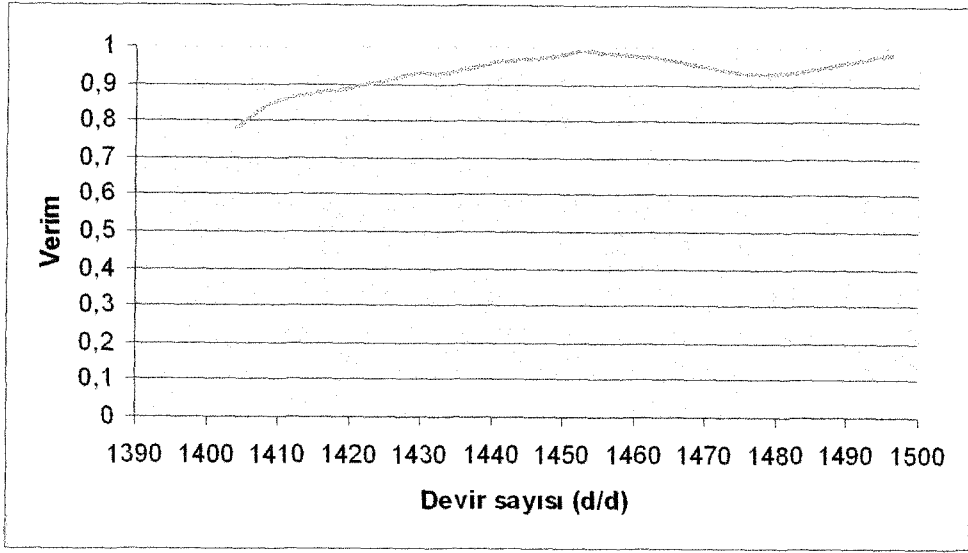
Ölçülen devir sayısı (d/d)	Tork (N.m)	Ölçülen mekanik güç (Watt)	Ölçülen elektriksel güç (Watt)
1496	0,39	61,47	62,35
1479	5,39	835	900
1466	8,33	1280	1333,6
1454	9,31	1419	1437,6
1448	10,50	1598	1645
1441	11,28	1702	1766
1432	12,26	1838,8	1991
1430	12,50	1872	2009
1421	12,65	1883,1	2113
1410	13,24	1955	2286
1404	13,48	1983	2546

Ayrıca Çizelge 5.3’de wattmetre ile ölçülen elektriksel güç değerleri de görülmektedir. Devir sayısı ile mekanik güç ve elektriksel gücün değişimini gösteren bir grafik Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Devir sayısı-mekanik güç ve elektriksel güç grafiği

Motorun verim grafiği ise Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3 Motorun verim grafiği

### 5.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 5.3'de görüldüğü gibi motor 1496 d/d'da boşta çalışırken bile ölçme sisteminde 61,47 Watt'lık mekanik güç ölçülmüştür. Bu kayıp gücün, yataklardaki sürtünmeden ve rotora havanın yaptığı dirençten olduğu söylenebilir.

Şekil 5.2'ye dikkat edilirse, motorun yük miktarı artırıldıkça devir sayısının düştüğü ve bu esnada mekanik güç ve elektriksel güç arasındaki farkın açıldığı, başka bir ifadeyle verimin düştüğü görülmektedir. Bu durum Şekil 5.3'deki motorun verim grafiğinde 1450 d/d'dan küçük devir sayılarında açıkça görülmektedir. Tam yükte verim değeri, (Springer, 1978) tarafından verilen verim değeriyle uyumludur.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın sonucunda, Makine Mühendisliği Laboratuvarında öğrencilere güç, tork ve devir sayısı ölçümlerinin yapılabileceği deney düzeneğine kavuşulmuştur. İmal edilen düzenele elde edilen deney sonuçları, bir öğrenci laboratuvarında güç ölçümünün nasıl yapıldığını gösterebilecek niteliktedir. Bulunan sonuçlar, motor üzerindeki etiket değerleriyle çakışmaktadır.

Tasarımda, güç ölçümünde kullanılan motor, uzun bir uğraşın sonunda vantilatör tertibatı sökölerek sisteme bağlanmıştır. Dolayısıyla, ancak deney tertibatının üzerindeki motor gücü ve torku ölçülebilecektir.

Aynı güce ve daha aşağı güce sahip motorların tork-devir sayısı eğrilerinin oluşturulabilmesi için sistemin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu geliştirme sırasında, bu çalışmada tasarlanan fren sistemi rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca Bölüm 4’de bahsedildiği gibi, deney süresinin seksenbeş saniyede sona ermesi düşünölerek tasarlanmış olan bu sistemde, deney süresi iki-üç dakikayı alabilmektedir. Bu esnada fren sisteminin, başlangıçta düşünölünen sıcaklık değerinden daha yüksek sıcaklık değerine kadar ısınması söz konusu olabilir. Bu nedenle araştırmaların fren sisteminin sıcaklığının ölçölmesi yönünde de genişletilmesi uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Barraza J.F. ve diğ., 2002. Measurement of Angular Velocity in the Perception of Rotation, Department of Biomedical Engineering, Univesity of Southern California, University Park, OHE 500, Los Angeles, CA 90089-1451, USA.
- Beckwith T.G. ve diğ., 1993. Mechanical Mesurements, Fifth Edition, Addison Wesley Publishing Company, Massachusetts.
- Binici İ., 2001. Endüstriyel Ölçme ve Kalibrasyon, Birsen Yayınevi, Ankara.
- Braccesi C. ve diğ., 1996. 1<sup>st</sup> International Conference on Control and Diagnostics in Automotive Application, Genova, İtaly.
- Caputo C. ve diğ., 1976. A New Oildynamic Dynamometer For Engines Tests, İstituto di Macchine e Tecnologie, University of Rome, Vol:3, 65-66, İtaly.
- Collett C.V. ve diğ., 1983. Engineering Measurement, Second Edition, Longman Scientific and Technical.
- Corcoran J. ve diğ., 2000. A New Development In Continuous Torque Monitoring Couplings. Power Transmission and Gearing Conference September 10-13, Baltimore / Maryland.
- Donnelly M.K. ve diğ., 1993. Control of a Dynamic Brake to Reduce Turbine-Generator Shaft Transient Torques, IEEE Transactions on Power Systems, Vol:8, No:1,
- Figliola R.S. ve diğ., 1995. Theory and Design For Mechanical Measurements, Second Edition, John Wiley and SonsInc, Newyork.
- Gürdal O., 1999. İndüksiyon Motorlarında Stator Akımı Ölçümü İle Rotor Hızının Belirlenmesinde Yeni Bir Metod. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Ocak 1999 cilt :12 no:1 , Ankara.
- Mesch F., 1977. Messtechnisches Praktium, Bibliographisches Institut, Mannheim.
- Spooncer R.C. ve diğ., 1992. Non-contacting Torque Measurement by a Modified Moire Fringe Method, Sensors and Actuators A., Vol:31,page, 178-181.
- Polak T.A. ve diğ., 1999. Engineering Measurements Methods and İntrinsic Errors, Professional Engineering Publishing Limited, London.

Shigley J.E. ve diğ., 1989. Mechanical Engineering Design, Fifty Edition, McGraw-Hill Book Company, NewYork.

Sisel Mühendislik San. A.Ş., 2003. İstanbul.

Springer G., 1978. Fachkunde Elektrotechnik, Verlag Europa-Lehrmittel, Wuppertal, Germany.

[www.mne.psu.edu/me82/Labs/Mechanical/lab.htm](http://www.mne.psu.edu/me82/Labs/Mechanical/lab.htm)



## **EKLER**

### **EK-1**

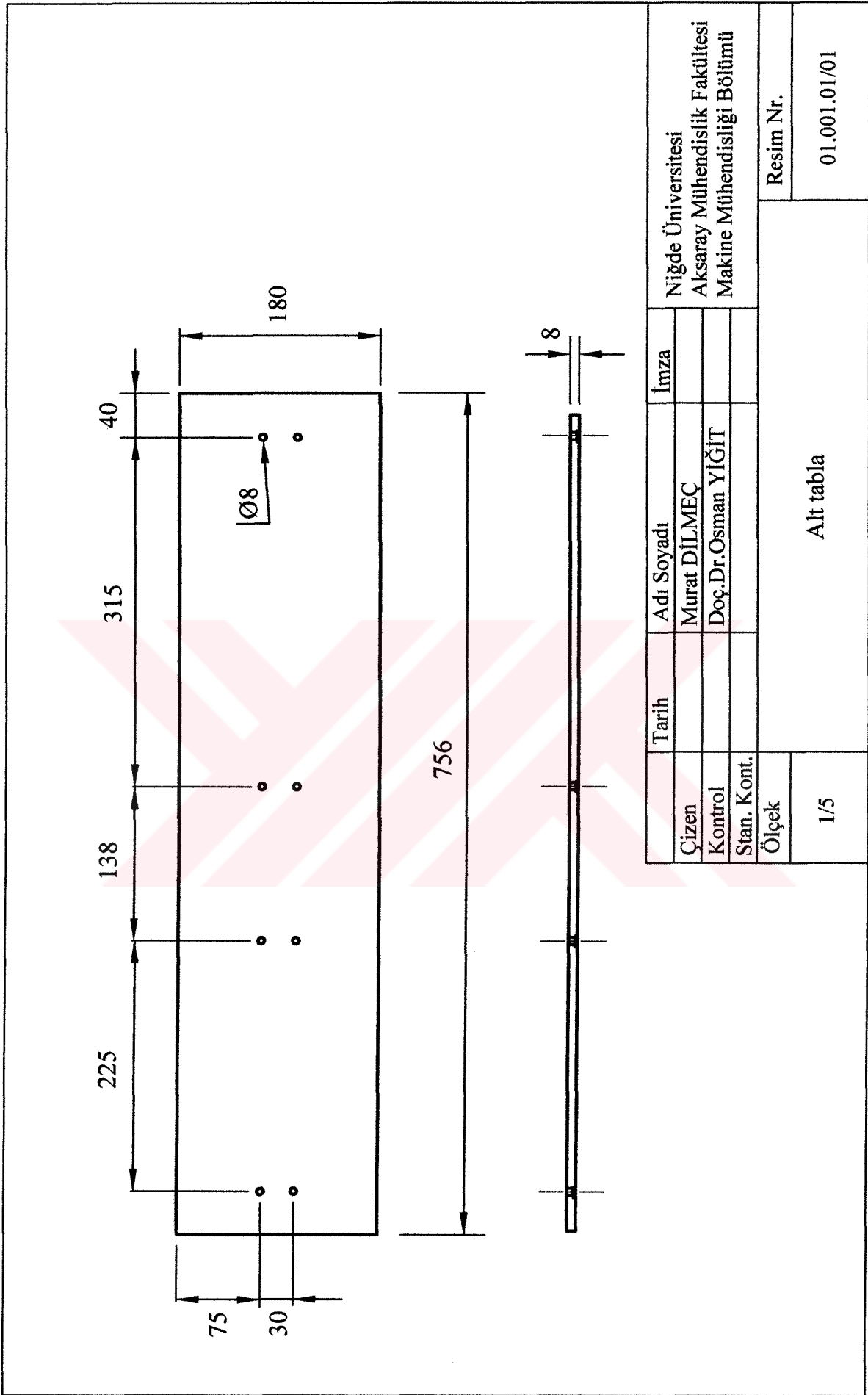
**DENEY DÜZENEĞİNİ OLUŞTURAN PARÇALARIN TEKNİK RESİMLERİ**

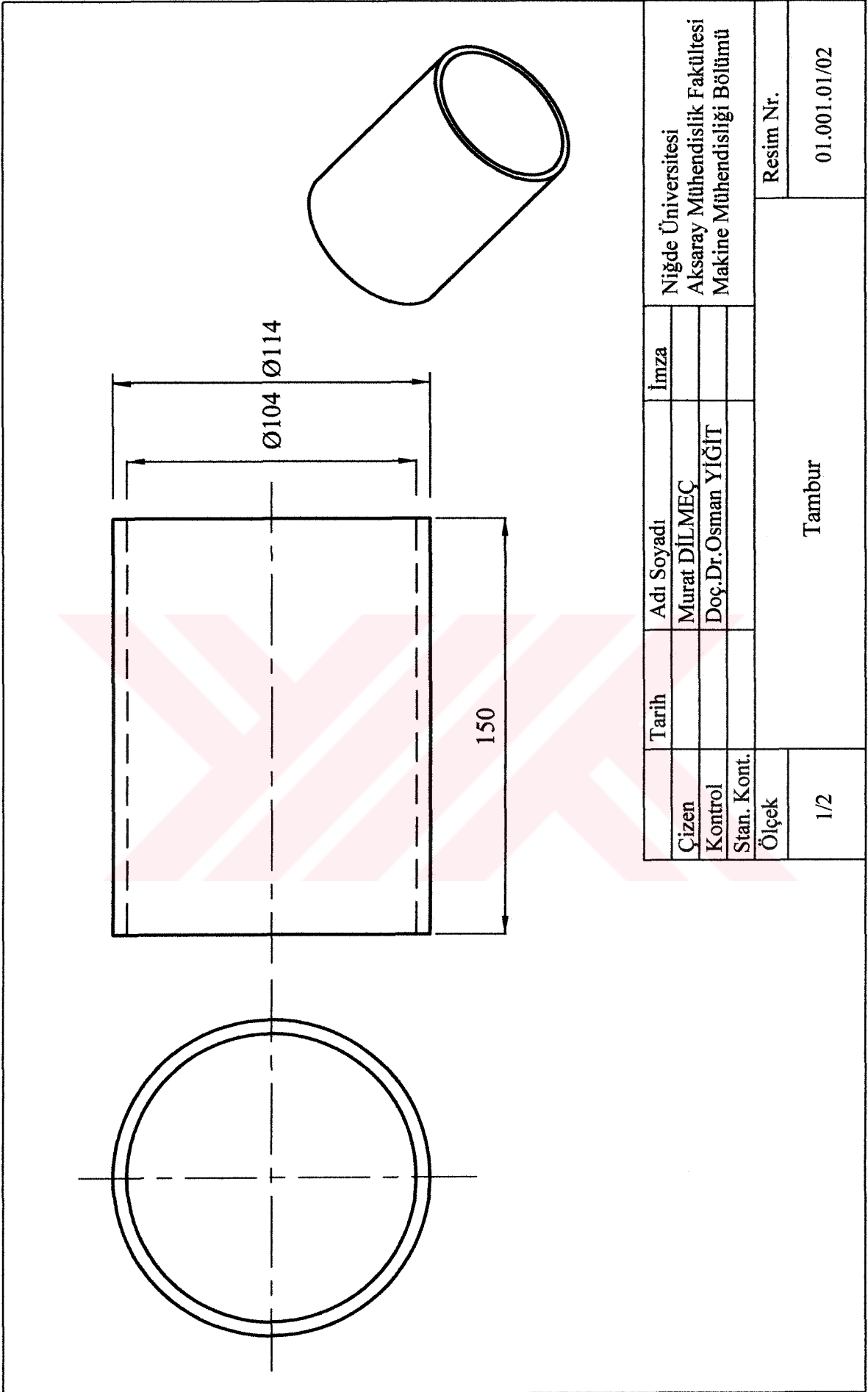
### **EK-2**

**DENEY DÜZENEĞİNİN FOTOĐRAFLARI**

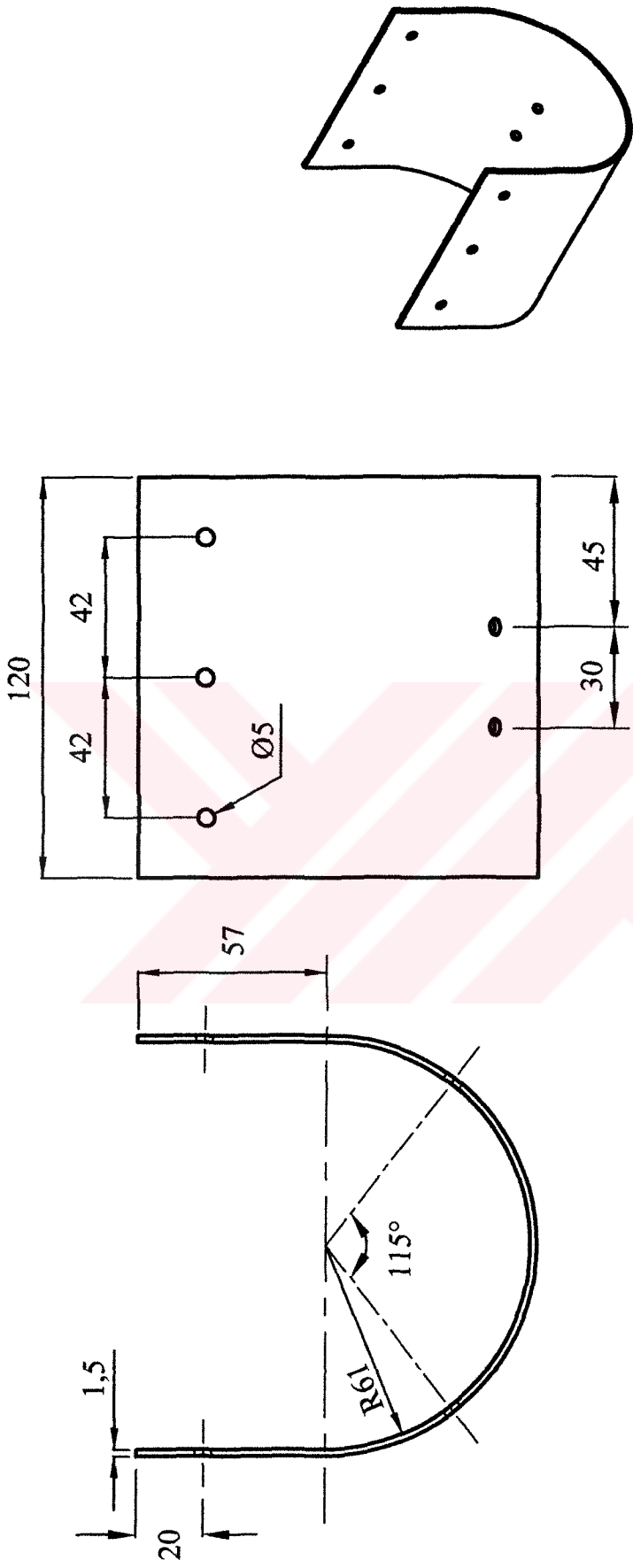




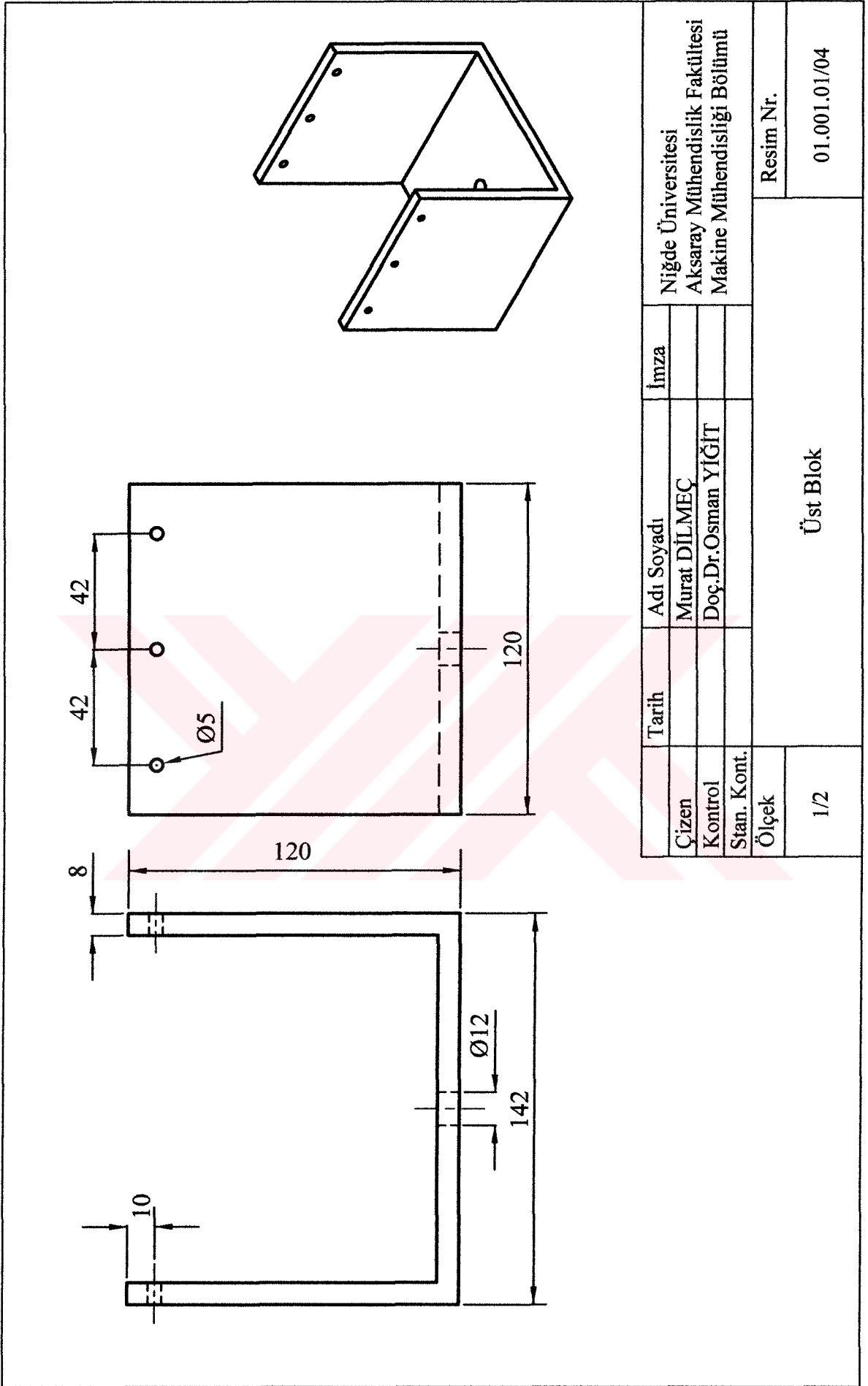


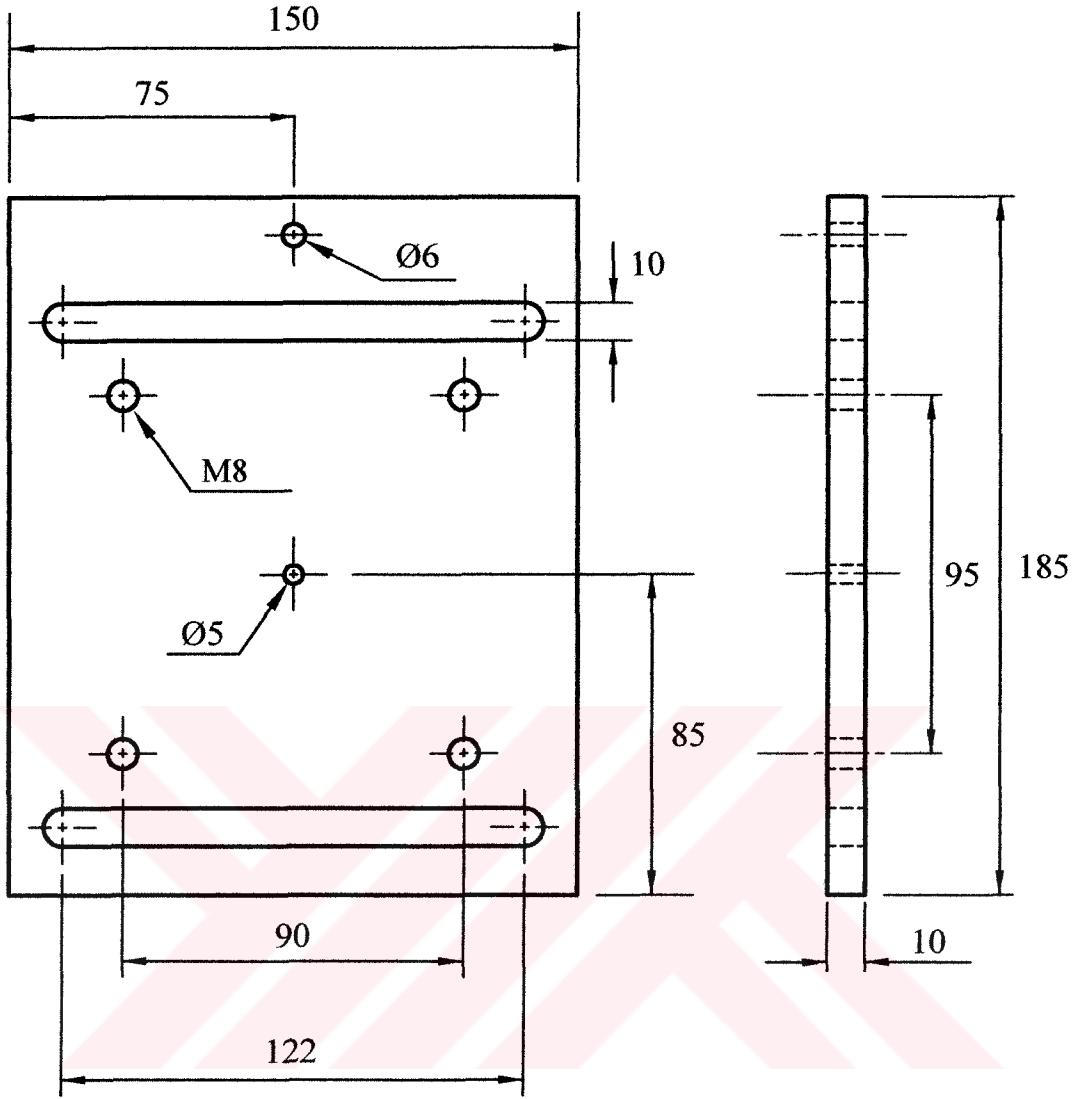


Çizen	Tarih	Adı Soyadı	İmza	Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Kontrol		Murat DİLMEÇ		
Star. Kont.		Doç.Dr.Osman YIĞIT		
Ölçek				
1/2	Tambur			Resim Nr. 01.001.01/02

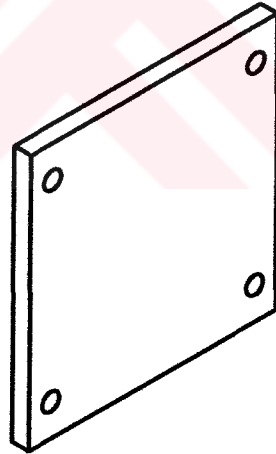
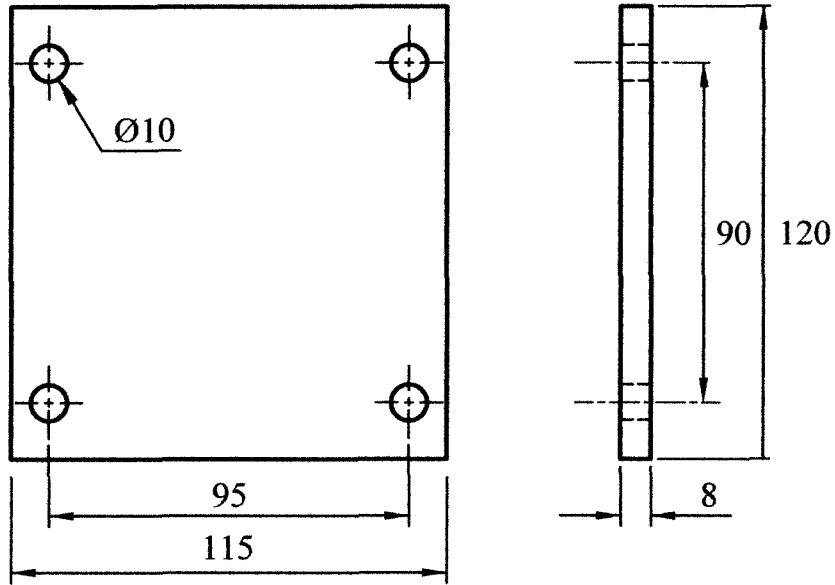


Tarih	Adı Soyadı	İmza	Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Çizen	Murat DİLMEÇ		
Kontrol	Doç.Dr.Osman YİĞİT		
Stan. Kont.			
Ölçek			Resim Nr.
1/2	Sac bant		01.001.01/03

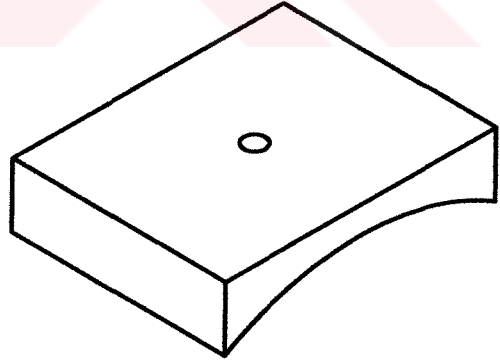
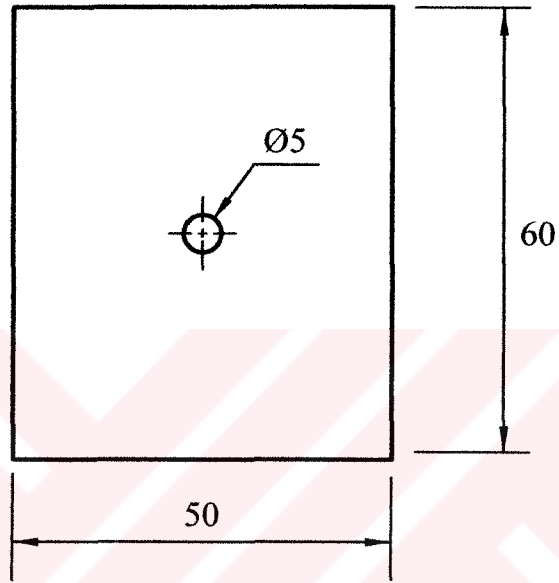
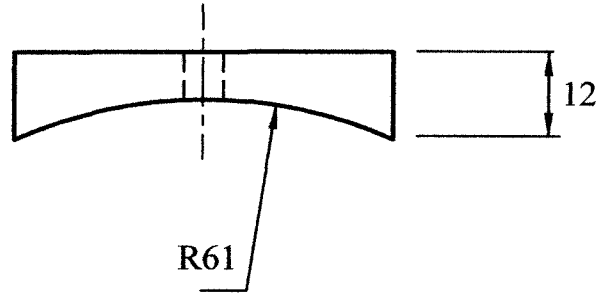




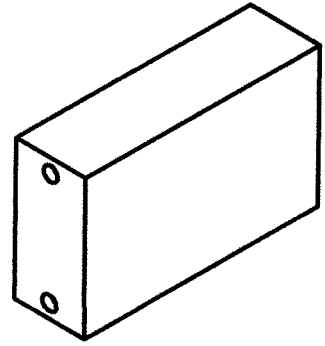
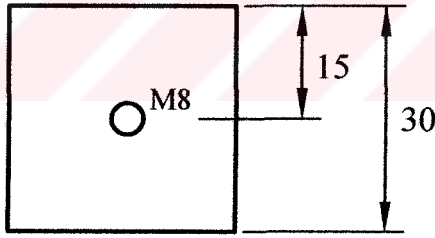
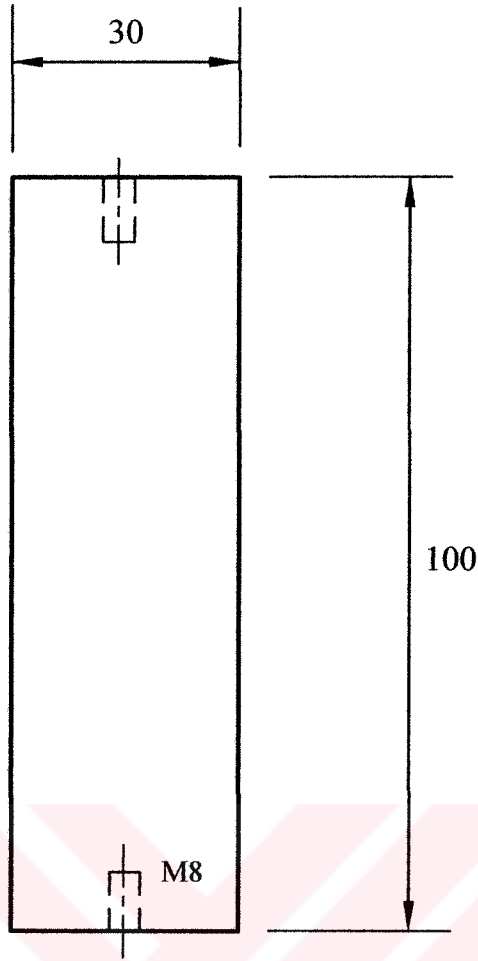
	Tarih	Adı Soyadı	İmza	Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Çizen		Murat DİLMEÇ		
Kontrol		Doç.Dr.Osman YIĞIT		
Stan. Kont.				
Ölçek				Resim Nr.
1/2	Alt Blok			01.001.01/05



	Tarih	Adı Soyadı	İmza	Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Çizen		Murat DİLMEÇ		
Kontrol		Doç.Dr.Osman YİĞİT		
Stan. Kont.				
Ölçek	Orta blok			Resim Nr.
1/2				01.001.01/06

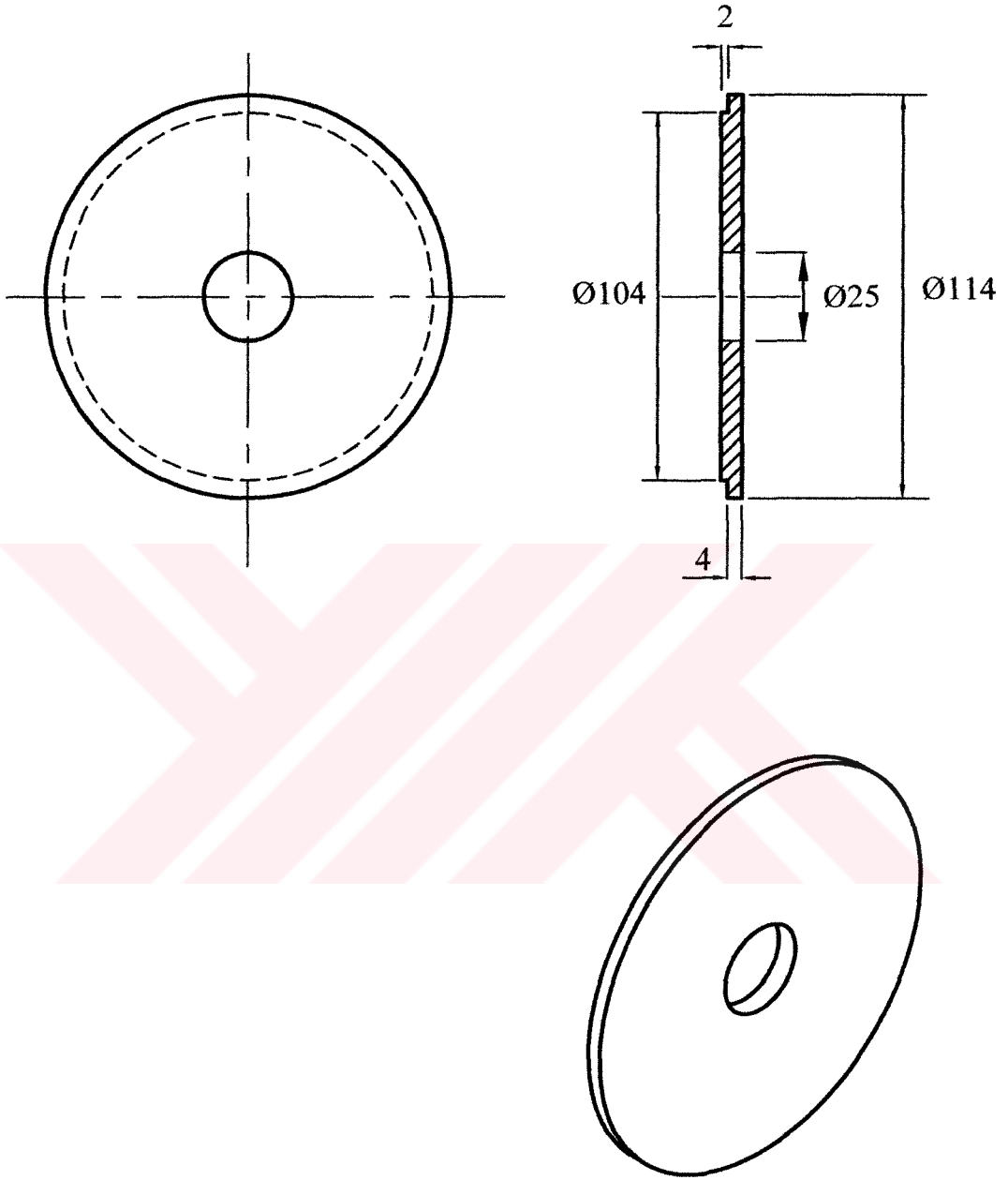


	Tarih	Adı Soyadı	İmza	Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Çizen		Murat DİLMEÇ		
Kontrol		Doç.Dr.Osman YİĞİT		
Stan. Kont.				
Ölçek				Resim Nr.
1/1	Üst Balata Bloğu			01.001.01/07

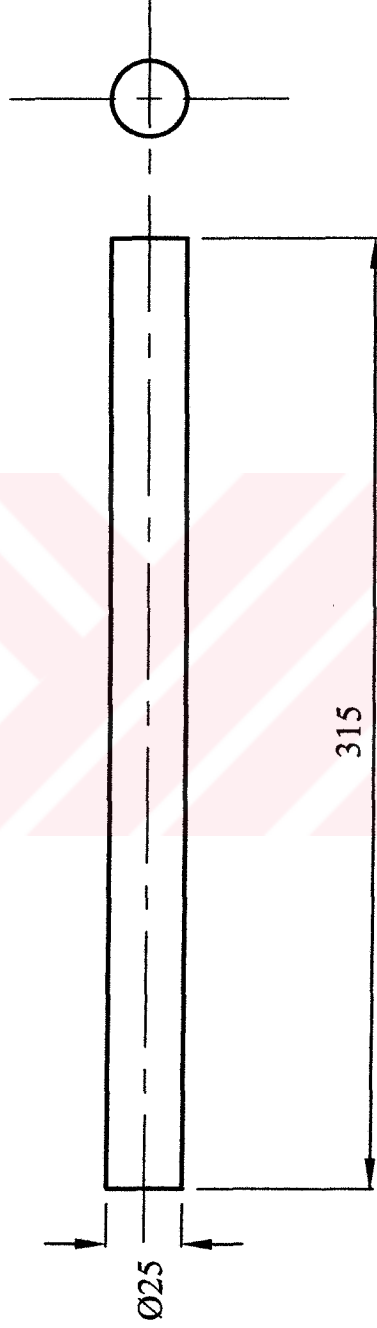


	Tarih	Adı Soyadı	İmza	Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Çizen		Murat DİLMEÇ		
Kontrol		Doç.Dr.Osman YİĞİT		
Stan. Kont.				
Ölçek				Resim Nr.
1/1	Yatak Bloğu			01.001.01/08

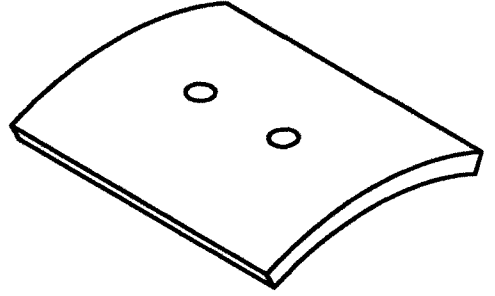
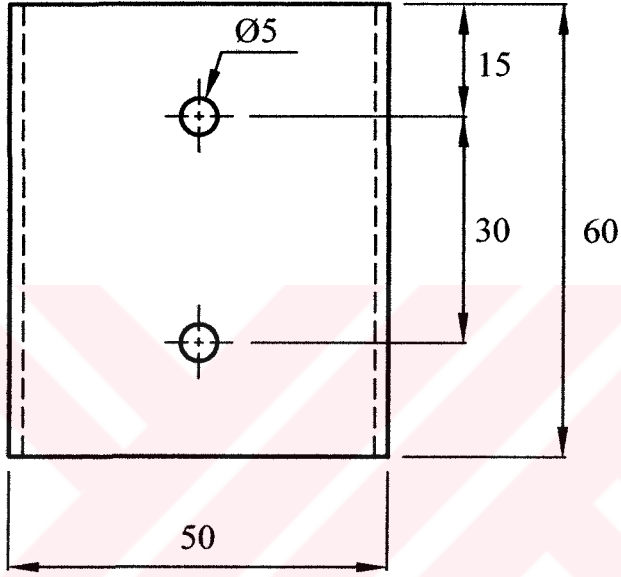
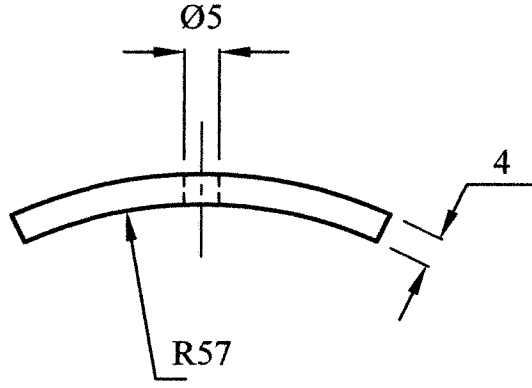




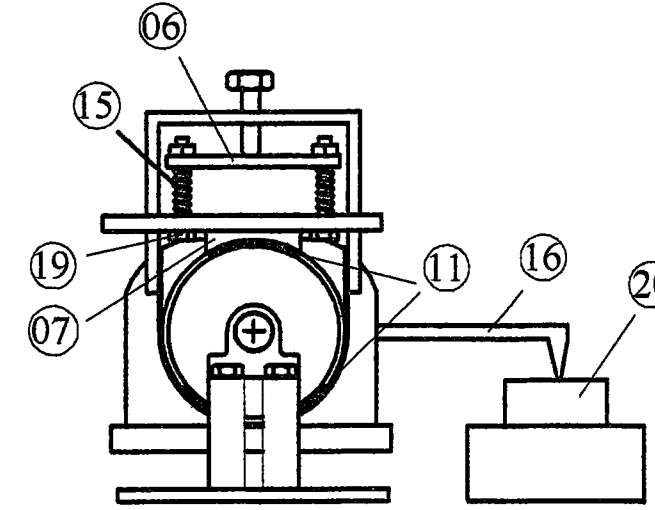
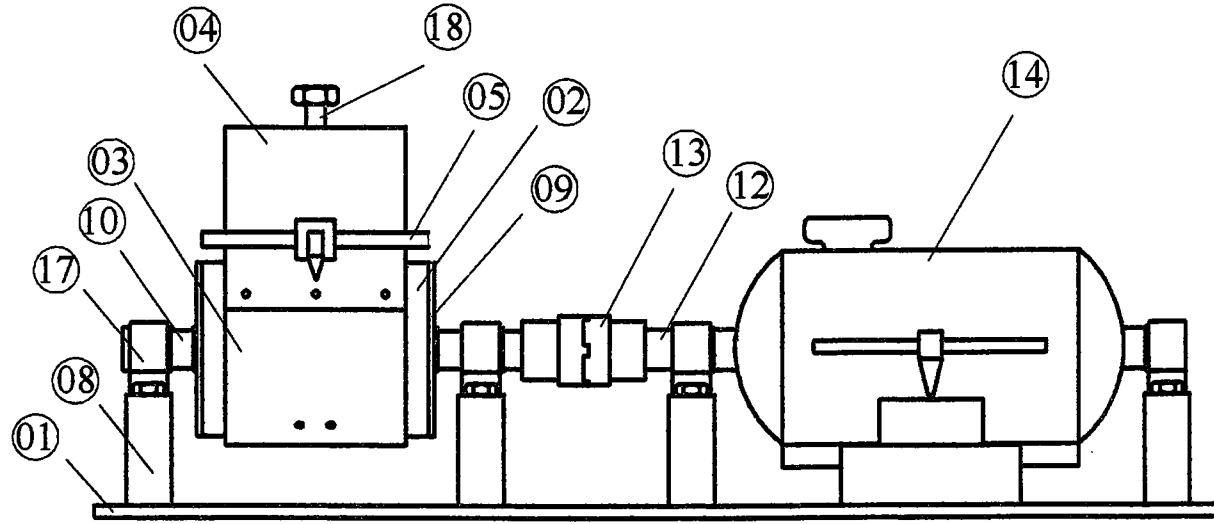
	Tarih	Adı Soyadı	İmza	Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Çizen		Murat DİLMEÇ		
Kontrol		Doç.Dr.Osman YİĞİT		
Stan. Kont.				
Ölçek	Disk			Resim Nr.
1/2				01.001.01/09



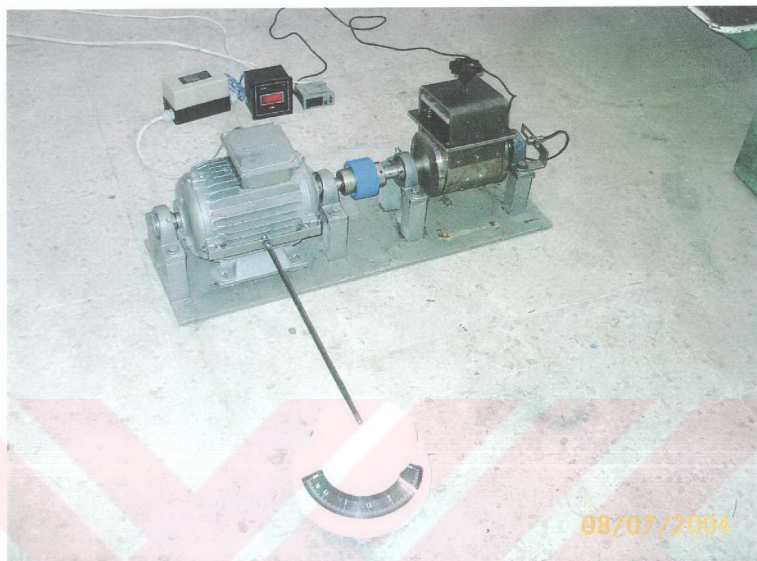
Çizen	Tarih	Adı Soyadı	İmza	Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Kontrol		Murat DİLMEÇ		
Stan. Kont.		Doç.Dr.Osman YİĞİT		
Ölçek				
1/5	Mil			Resim Nr. 01.001.01/10

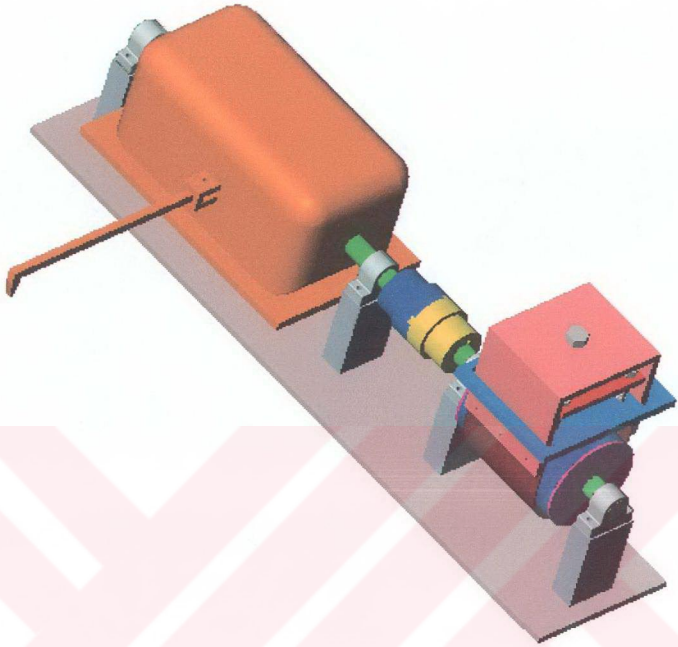


	Tarih	Adı Soyadı	İmza	Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Çizen		Murat DİLMEÇ		
Kontrol		Doç.Dr.Osman YİĞİT		
Stan. Kont.				
Ölçek	Balata			Resim Nr.
1/1				01.001.01/11



1	Terazi		20			
4	M8 civata	(M8)	19		St 37	
1	Yükleme civatası	(M12)	18		St 37	
4	Yatak	(P205)	17			
1	Tork kolu		16		St 37	
4	Spiral yay		15		St 37	
1	2,2 kW'lık elektrik motoru		14			
1	Kavrama		13			
1	Motorun kendi mili		12		St 42	
3	Balata		11	01.001.01/11	Asbest	
1	Mil		10	01.001.01/10	St 42	
2	Disk		09	01.001.01/09	St 42	
8	Yatak bloğu		08	01.001.01/08	St 37	
1	Üst balata bloğu		07	01.001.01/07	St 37	
1	Orta blok		06	01.001.01/06	St 37	
1	Alt blok		05	01.001.01/05	St 37	
1	Üst blok		04	01.001.01/04	St 37	
1	Sac bant		03	01.001.01/03	St 37	
1	Tambur		02	01.001.01/02	St 37	
1	Alt tabla		01	01.001.01/01	St 37	
Sayı	Parçanın Adı	Standart no	Montaj no	Resim no	Malzeme	Açıklama
	Tarih	Adı Soyadı	İmza	Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü		
Çizen		Murat DİLMEÇ				
Kontrol		Doç.Dr.Osman YİĞİT				
Stan. Kont.						
Ölçek					Resim Nr.	
1/5	Montaj Resmi				01.001.01	





Deney düzeneğinin CAD programında çizilmiş şekli