

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR AŞINMA TEST CİHAZININ  
TASARIMI VE İMALATI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yılmaz KARAOĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ**  
**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Osman ELDOĞAN**

**Eylül 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR AŞINMA TEST CİHAZININ  
TASARIMI VE İMALATI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yılmaz KARAOĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ**

**Bu tez .. / .. /2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Jüri Başkanı**

**Jüri Üyesi**

**Jüri Üyesi**

## ÖNSÖZ

Yeryüzünde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı, harekete karşı direnç anlamına gelen sürtünmeyi yenmek veya frenlerde olduğu gibi sürtünme direnci oluşturmak için kullanılır. Hareket enerjisini sürtünme yoluyla ısıya dönüştürerek hareketin durdurulması yada kontrol altına alınmasını sağlayan sistemlere fren sistemleri denir. Frenlerde sürtünme prensipleri geçerlidir. Frenleme işleminde sürtünme yüzeyine uygulanan basınçtan yararlanır. Hareket halindeki bir taşıtı yavaşlatmada ve yavaşlayan taşıtı en kısa zaman ve mesafede durdurmada en önemli görevi fren balataları üstlenmektedir. Bir fren balatasından istenen temel özellikler, standartlara uygun aşınma direnci ve sürtünme katsayısı ile birlikte ekonomik olmasıdır.

Bu çalışmada Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Laboratuvarlarında üretilen çeşitli balataların ve günümüz taşıtlarında kullanılan balataların aşınma ve sürtünme dirençlerinin incelenmesinde kullanılacak olan bir Aşınma Test Cihazı tasarlanmış, imal edilmiş ve imalatı yapılan cihazda çeşitli fren balatalarının aşınma ve sürtünme deneyleri yapılmıştır.

Çalışmalarım süresince bana her konuda destek olan danışmanım Doç. Dr. Osman ELDOĞAN' a ve Doç. Dr. Adem DEMİR' e teşekkürlerimi sunarım. Deneyler süresince yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Murat KAPSIZ' a, arkadaşlarım Yasin MANAV, Ömür SALTİK ve Ferdi NARLI' ya ve çalışmalarım süresince değerli fikir ve önerileriyle beni bilgilendiren ve bana çalışma ortamı sağlayan MEPSA A.Ş.' nin sahibi Sayın Kerim DAĞ ve tüm çalışanlarına ve benden maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. SÜRTÜNME VE AŞINMA.....	3
2.1. Sürtünme.....	4
2.1.1. Sürtünme mekanizmaları.....	4
2.1.1.1. Kuru sürtünme.....	4
2.1.1.2. Sınır ( yarı sıvı ) sürtünme.....	4
2.1.1.3. Film ( sıvı ) sürtünme.....	5
2.1.2. Sürtünme teorileri ve sürtünme katsayısı.....	5
2.1.3. Sürtünme malzemeleri standartları.....	7
2.2. Aşınma.....	9
2.2.1. Genel anlamda aşınma.....	9
2.2.2. Aşınma türleri.....	10
2.2.2.1. Adhesif aşınma.....	10
2.2.2.2. Alışma aşınması.....	11
2.2.2.3. Yenme tipi aşınma.....	11
2.2.2.4. Abrasif aşınma.....	11
2.2.2.5. Eroziv aşınma.....	13
2.2.2.6. Pulcuk kalkması ( Pitting ).....	14
2.2.2.7. Korozif aşınma.....	14
2.2.2.8. Yorulma aşınması.....	14

BÖLÜM 3. AŞINMA DENEY YÖNTEMLERİ VE CİHAZLARI.....	16
3.1. Model Deney Yöntemleri.....	16
3.2. Aşınma Deney Cihazları.....	18
3.2.1. Pim-disk cihazı.....	18
3.2.2. Levha-kayış cihazı.....	20
3.2.3. Dört bilya düzeneği.....	21
3.3. Aşınma Ölçüm Yöntemleri.....	21
3.3.1. Ağırlık farkı metodu.....	21
3.3.2. Kalınlık farkı metodu.....	23
3.3.3. İz değişim metodu.....	23
3.3.4. Radyoizotop metodu.....	23
3.4. Aşınma Testlerinin Değerlendirilmesi.....	23
BÖLÜM 4. FRENLER	
4.1. Frenleme Kuvveti.....	25
4.2. Fren Verimi.....	27
4.3. Hidrolik Frenler.....	27
4.3.1. Kampanalı frenler.....	28
4.3.2. Diskli frenler.....	28
4.3.3. Diskli ve kampanalı frenlerin karşılaştırılması.....	30
BÖLÜM 5. OTOMOTİV FREN SİSTEMLERİNDE BALATALAR.....	32
5.1. Balata Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	33
5.1.1. Yapısal malzemeler ( takviye malzemeleri ).....	34
5.1.1.1. Asbest.....	34
5.1.1.2. Cam elyafı.....	35
5.1.1.3. Aramid ( kevlar ).....	37
5.1.1.4. Çelik yünü.....	38
5.1.1.5. Taş yünü.....	39
5.1.1.6. Mika.....	39
5.1.2. Dolgu maddeleri.....	39
5.1.2.1. Barit.....	40
5.1.2.2. Talk.....	41

5.1.2.3. Alçı.....	41
5.1.2.4. Kil.....	42
5.1.2.5. Diatomit ( kieselguhr ).....	43
5.1.3. Bağlayıcı maddeler.....	43
5.1.4. Katkı maddeleri (sürtünme ayarlayıcı maddeler).....	44
5.1.4.1. Grafit.....	44
5.1.4.2. Zirkonyum silikat.....	44
5.1.4.3. Potasyum titanat.....	45
5.1.4.4. Pirinç.....	45
5.1.4.5. Sürtünme tozu.....	45
<b>BÖLÜM 6. TASARIM VE İMALAT.....</b>	<b>46</b>
6.1. Tasarım.....	46
6.2. İmalat.....	46
6.3. Deneyler İçin İşlem Basamakları.....	54
<b>BÖLÜM 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>59</b>
7.1. Helisel Yay ve Solartron Ölçü Aleti.....	59
7.2. Hassas Terazî.....	61
7.3. Sıcaklık Ölçü Aleti.....	61
7.4. Deneyler.....	62
7.5. Deney Sonuçları.....	62
7.5.1. Aşınma miktarı.....	63
7.5.2. Sıcaklık ve sürtünme katsayısı.....	64
<b>BÖLÜM 8. SONUÇLAR.....</b>	<b>68</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>69</b>
<b>EK A. DENEY VERİLERİ.....</b>	<b>71</b>
<b>EK B. PARÇALARIN TEKNİK RESİMLERİ.....</b>	<b>74</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>82</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

$F_N$	: Normal kuvvet
$V$	: Hız
$W$	: Ağırlık
$F$	: Kuvvet
$F_S$	: Sürtünme kuvveti
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
$\mu_S$	: Statik sürtünme katsayısı
$\mu_K$	: Kinematik sürtünme katsayısı
TS	: Türk Standartları
$r$	: Disk merkezi ile pimin temas noktası arasındaki mesafe
$W_a$	: Aşınma oranı
$W_r$	: Aşınma direnci
$G$	: Ağırlık kaybı
$M$	: Yükleme ağırlığı
$S$	: Aşınma yolu
$d$	: Malzeme yoğunluğu
$E_k$	: Kinetik enerji
$M$	: Kütle
$V$	: Hız
$n_f$	: Frenleme verimi
$T_B$	: Frenleme torku
$k$	: Yay sabiti
$P_b$	: Balataya uygulanan basınç
$P_h$	: Manometreden okunan basınç
$W$	: Birim alana düşen aşınma miktarı
$G_i$	: Balatanın deneyden önceki ağırlığı
$G_s$	: Balatanın deneyden sonraki ağırlığı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Tribolojik sistemlerin kinematikleri.....	3
Şekil 2.2.	Sürtünme katsayısının tanımlanması.....	6
Şekil 2.3.	Statik ve kinematik sürtünme katsayılarının farklılığı.....	7
Şekil 2.4.	Aşınma olayını meydana getiren unsurlar.....	9
Şekil 2.5.	Görünen ve gerçek temas alanları.....	10
Şekil 2.6.	Alışma aşınmasının olduğu tribolojik sistemler.....	11
Şekil 2.7.	Abrasif aşınma mekanizması.....	12
Şekil 2.8.	İki elemanlı abrasyon.....	12
Şekil 2.9.	Üç elemanlı abrasyon.....	12
Şekil 2.10.	Aşındırıcı çarpma hızının erozyona etkisi.....	13
Şekil 2.11.	Yüzey yorulmasında çatlağın oluşumu ve ilerlemesi.....	15
Şekil 3.1.	Model deney sistemleri.....	17
Şekil 3.2.	Pim-disk cihazının şematik görünümü.....	18
Şekil 3.3.	Pim-disk aşınma test cihazı.....	19
Şekil 3.4.	Levha-kayış cihazının şematik görünümü.....	20
Şekil 3.5.	Dört bilya düzeneği.....	21
Şekil 3.6.	Tribosistem elemanları ve tribosisteme ait giriş ve çıkış büyüklükleri.....	23
Şekil 4.1.	Frenleme sırasında alınan yol grafiği.....	26
Şekil 4.2.	Kampanalı fren.....	28
Şekil 4.3.	Diskli fren sisteminin şematik görünüşü.....	29
Şekil 4.4.	Diskli frenlerde sürtünme özellikleri.....	31
Şekil 5.1.	Disk ve balata malzemesinin şematik görünümü.....	32
Şekil 5.2.	Cam elyaf tozu.....	36
Şekil 5.3.	Cam elyaf üretimi.....	36
Şekil 5.4.	Aramid elyafı.....	37
Şekil 5.5.	Barit kristali.....	40
Şekil 5.6.	Talk minerali.....	41
Şekil 5.7.	Alçı mineralleri.....	42



Şekil 6.1. Aşınma test cihazı.....	47
Şekil 6.2. Aşınma test cihazının şematik görünümü.....	47
Şekil 6.3. Aşındırıcı disk.....	48
Şekil 6.4. Elektrik motoru, triger kayışı ve kasnağı.....	49
Şekil 6.5. Kumanda panosu.....	49
Şekil 6.6. Elektronik devir ayarlayıcı (inverter).....	49
Şekil 6.7. Fren kaliperi ve parçaları.....	50
Şekil 6.8. Balata yuvaları.....	51
Şekil 6.9. Fren kaliperi ve kayıcı yataklar.....	51
Şekil 6.10. Ölçü cihazı ve basma yayı.....	52
Şekil 6.11. Ölçü cihazının komperatör ayağı ile tespit edilmesi.....	53
Şekil 6.12. Fren merkez pompası, manometre ve basınç ünitesi.....	53
Şekil 6.13. Ölçü cihazının excelde tanıtılması.....	54
Şekil 6.14. Ölçü cihazının ayarlarının yapılması.....	55
Şekil 6.15. Cihazın bağlı olduğu kanalın seçilmesi.....	55
Şekil 6.16. Bilgisayarın cihazı algılaması.....	56
Şekil 6.17. Deney verileri için link açılması.....	56
Şekil 6.18. Kalibrasyon işleminin tamamlanması.....	56
Şekil 6.19. Kumanda panosunun şematik görünümü.....	57
Şekil 7.1. Yaya uygulanan kuvvetlere bağlı olarak “k” yay sabitinin bulunması.....	59
Şekil 7.2. Sıcaklık ölçü aleti.....	61
Şekil 7.3. 1400 kPa basınçta aşınma miktarları.....	63
Şekil 7.4. 2800 kPa basınçta aşınma miktarları.....	64
Şekil 7.5. 1400 kPa basınçta FM balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi....	66
Şekil 7.6. 1400 kPa basınçta ST balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi....	66
Şekil 7.7. 1400 kPa basınçta RT balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi....	66
Şekil 7.8. 2800 kPa basınçta FM balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi....	67
Şekil 7.9. 2800 kPa basınçta ST balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi....	67
Şekil 7.10. 2800 kPa basınçta FM balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi....	67

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	TS 555' göre balataların sınıflandırılması.....	8
Tablo 3.1.	Sürtünme ve aşınma testleri için rapor örneği.....	24
Tablo 5.1.	Balata malzemesinden istenilen özellikler.....	33
Tablo 5.2.	Belli başlı elyafların karşılaştırılması.....	38
Tablo 6.1.	Frekans ve devir tablosu.....	57
Tablo A1.	FM balatasına ait deney verileri ( 1400 kPa ).....	71
Tablo A2.	ST balatasına ait deney verileri ( 1400 kPa ).....	71
Tablo A3.	RT balatasına ait deney verileri ( 1400 kPa ).....	72
Tablo A4.	FM balatasına ait deney verileri ( 2800 kPa ).....	72
Tablo A5.	ST balatasına ait deney verileri ( 2800 kPa ).....	73
Tablo A6.	RT balatasına ait deney verileri ( 2800 kPa ).....	73

## ÖZET

Anahtar Kelimeler : Fren Balatası, Sürtünme, Aşınma, Test Cihazı.

Otomotiv sektöründe, hareket halindeki bir taşıtı yavaşlatmak ve yavaşlayan taşıtı en kısa zaman ve mesafede durdurmak için kullanılan sistemlere fren sistemleri adı verilir. Frenlerde sürtünme prensipleri geçerlidir. Frenleme işlemi hareket halindeki fren diskine, fren balatasının sürtünmesi aracılığıyla gerçekleşir. Sürtünme sonucunda oluşan ısı, sistem veya sistem elemanlarında değişik türlerde bozulmalara neden olmaktadır. Sürtünme ve ısınma sonucu malzeme yüzeyinde oluşan ve istenmeyen malzeme kaybı anlamına gelen aşınma, eğilme, kırılma, yırtılma gibi daha büyük kayıpların başlangıç aşamasını oluşturur.

Bir fren balatasından istenilen temel özelliklerin başında, standartlara uygun aşınma direnci ve sürtünme katsayısı olduğu düşünüldüğünde, balata malzemelerinin aşınma ve sürtünme direnci gibi özelliklerinin bilinmesi ve bu özelliklere bağlı olarak en uygun fren balatasının seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma sürecinde, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi ve Metalürji Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan aşınma test cihazları incelenmiş ve çeşitli malzemelerden üretilmiş fren balatalarının aşınma ve sürtünme dirençlerini inceleyebileceğimiz yeni bir aşınma test cihazı tasarlanmış, imal edilmiş ve imalatı yapılan cihazda çeşitli fren balatalarının aşınma ve sürtünme deneyleri yapılmıştır. İmal edilen aşınma test cihazı Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Laboratuvarına teslim edilmiştir.

# **THE DESIGN AND PRODUCTION AN ABRASION TEST EQUIPMENT**

## **SUMMARY**

Keywords: Brake Lining, Friction, Abrasion, Test Equipment

The systems, in order to slow down and stop a vehicle in determined time and distance are called brake systems in automotive industry. Brake systems should be analyzed with abrasion principles. Braking operation occurs when friction happens between brake disk and brake lining. The heat appeared after friction, causes different failures in system and system components. The abrasion which is meant the material loss on the surfaces by the effect of friction and heat can be first step of the failures like bending and fraction.

The first thing that is expected from a brake lining is, in standard wear resistant and friction coefficient conditions, brake lining material properties such that wear resistant and friction coefficient can be determined so that with the help of these properties the most suitable brake lining can be easily chosen.

Through this study, testing equipments in Sakarya Technical Education Faculty and Metallurgical Engineering Laboratories are analysed and then a new testing device for examining wear and friction resistances of brake linings made from different materials is designed, later manufactured and tested some brake linings on this testing device. This testing device is then given to Sakarya Technical Education Faculty Laboratory.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Birbiri ile sürekli temas ve hareket halinde olan makine parçalarının hayati önem taşıdıkları bilinmektedir. Sürekli temas ve hareket nedeniyle meydana gelen sürtünme sonucunda oluşan ısı, aşınma adı verilen istenmeyen yüzey değişikliklerini de beraberinde getirir.

Genel anlamda aşınma, birbiri ile temas ve hareket halinde bulunan cisimlerden, çalışma esnasında oluşan mekanik yüklemeler sonucunda mikroskobik parçacıkların kopmasıyla oluşan istenmeyen yüzey değişikliğidir. Aşınma, yıpranma hususunda kendisini yavaş yavaş hissettirmesine rağmen, uzun zaman diliminde çok önemli kayıplara yol açmaktadır. Aşınmanın malzeme kaybına yol açmasının yanında, makine elemanlarının şeklini bozarak, onların iş yapma kabiliyetlerini azaltması veya yok etmesi ise çok daha önemlidir [1].

Aşınarak deforme olan parçaların dayanımı azalmakta ve eğilme, kopma, kırılma veya yağsız ortamlarda birbirine yapışma gibi istenmeyen arızalara sebebiyet verebilmektedir. Aşınmanın en aza indirilmesi için, birbiri ile uyumlu malzemelerin seçiminin yanında, çalışma şartları da çok önemlidir. Birbiri ile sürtünerek çalışan malzemelerin aşınması, yağlama sistemlerinin kullanılmasıyla en aza indirilir. Fakat bazı sistemlerde yağlamanın faydadan çok zarar getireceği unutulmamalıdır. Özellikle sürtünme yoluyla çalışan kavramalarda ve fren sistemlerinde, birbiri ile temas halinde çalışan yüzeylere yağın bulaşması, bu sistemlerin verimli çalışmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple birbirleri ile uyumlu çalışabilecek ve en az aşınacak malzeme seçiminin yapılması büyük önem taşımaktadır [2].

Aşınma çiftini oluşturan ana cisim ve karşıt cisim, aralarında belirli bir ara cisim varken, az yada çok yük altında hareket ettirildiklerinde aşınırlar. Yanlış bir kaniya göre, düzgün yüzeyde aşınmanın az, pürüzlü yüzeyde ise çok olacağı sanılır.

Halbuki, sürtünme yüzeylerinin belirli bir pürüzlülük derecesinden daha düzgün işlenmesi, dnlenin tersine, aşınmayı çoğaltır.

Aşınma olayında etkili olan faktörleri çoğu zaman kontrol altında tutmak mümkün değildir. alıırken meydana gelen kek değişiklikler bile aşınma olayını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle aşınma alanında yapılan teorik ve pratik çalışmalar istenilen sonucu verememi, uygulamalarda bunlardan yararlanmak mümkün olmamıştır. Pek çok etkili faktör nedeniyle yavaş yavaş ortaya çıkan aşınma olayını doğru biçimde izleyebilmek, lme tekniğindeki yeni buluşlarla mümkün olabilmıtır [1].

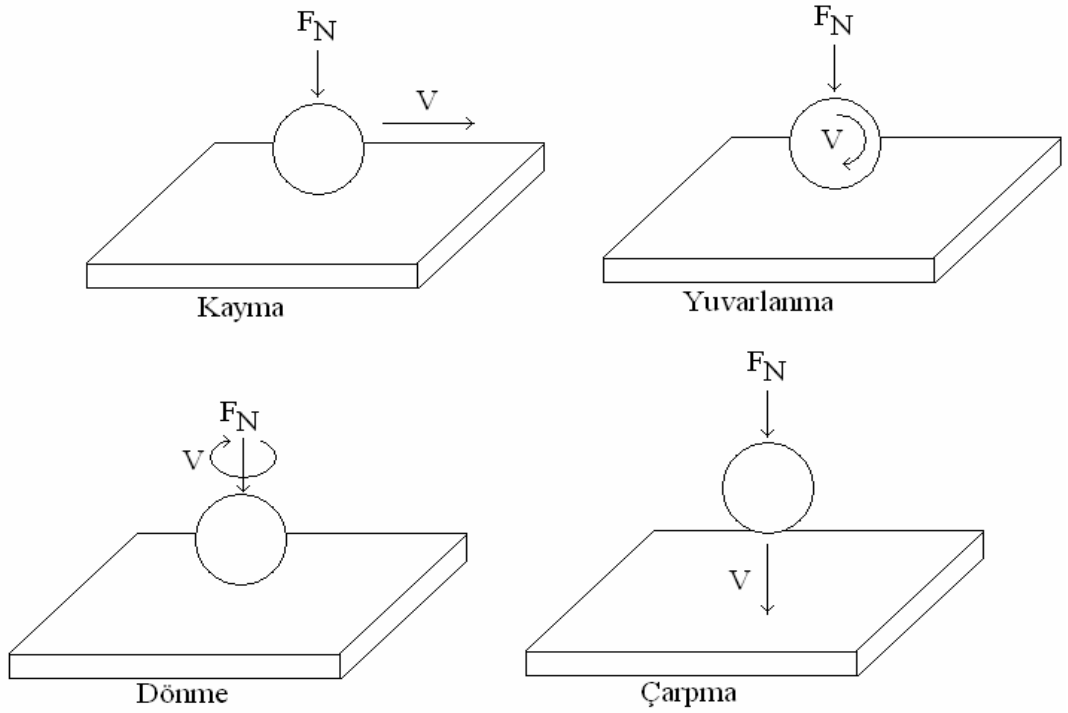
Karşılıklı alıan parçalardan değiştirilmesi kolay ve maliyeti daha az olanını daha çabuk aınan bir malzemedен yapmak suretiyle diğer parçanın ömrünü uzatmak, aşınma olayının neticesinde ortaya çıkan teknik çözümlerden biridir. Bununla birlikte malzemelerin aşınma ve sürtünme dirençlerini ölçebilecek test cihazlarının tasarlanması, bu konuda çalışan kişilere yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada çeşitli fren balatalarının aşınma ve sürtünme dirençlerinin incelenebileceği bir aşınma test cihazının tasarlanması amaçlanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda imalatı yapılan aşınma test cihazında çeşitli fren balatalarından alınan numuneler deneye tabi tutulmuş ve numunelerin aşınma ve sürtünme davranışları incelenmiştir.

## BÖLÜM 2. SÜRTÜNME VE AŞINMA

### 2.1. Sürtünme

En genel manada sürtünme, temasta olan ve birbirine göre bağıl hareket yapan elemanlar arasında harekete karşı ortaya çıkan direnç olarak tanımlanır. Sürtünmenin sayısal değeri bazı durumlarda hesaba katılmayacak kadar küçük olsa dahi pratik olarak daima mevcuttur. Sürtünme direncini oluşturan parametreler oldukça fazladır ve bunların etkileri büyük farklılıklar göstermektedir. Bağıl hareketin türü, elemanların fiziksel durumları, aralarında üçüncü maddenin bulunup bulunmadığı ve ortam şartları gibi parametreler olayı daha karmaşık bir hale getirmektedir. Sürtünme hareketin cinsine göre, kayma, yuvarlanma, kaymalı yuvarlanma, dönme veya çarpma şeklinde olmaktadır ( Şekil 2. 1 ).



Şekil 2.1. Tribolojik sistemlerin kinematikleri [3]

### **2.1.1. Sürtünme Mekanizmaları**

Sürtünme kavramı birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler arasına yağlayıcı madde konulup konulmaması bakımından temas yüzeylerinin durumuna göre, kuru, yarı sıvı ( sınır sürtünmesi ) ve sıvı sürtünme ( film sürtünmesi ) olarak üç halde incelenebilir.

#### **2.1.1.1.Kuru sürtünme**

Genel olarak yabancı maddelerden arındırılmış yüzeylerin atmosfer şartlarındaki sürtünme hali kuru sürtünme olarak kabul edilmektedir. Gerçek anlamda kuru sürtünme, her türlü yabancı maddeden tam olarak arındırılmış, yüzeylerin, mutlak basınçta birbirlerine göre izafi olarak hareket ettirilmeleri durumunda meydana gelmektedir. Mevcut sistemlerin büyük çoğunluğu normal atmosfer şartlarında çalışmaktadır. Atmosfer şartlarındaki sürtünme durumlarında, yüzeyler çok iyi bir şekilde temizlenmiş olsalar dahi, sürtünme sonucunda sıcaklığı yükselen yüzeylerde çok ince oksit tabakaları oluşmaktadır. Bu oluşum, yüzeylerin sürtünme ve aşınma davranışlarını önemli ölçüde etkilemektedir [4].

#### **2.1.1.2. Sınır ( yarı sıvı ) sürtünme**

Sürtünen yüzeylerin arasına yağlayıcı olarak tanımlanan maddelerin girmesi veya gönderilmesi durumunda yüzeyler artık kuru olmayacaktır. Bu durumda sürtünme yağlanmış yüzeyler arasında meydana gelecektir. Yağlanmış yüzeyler arasında sınır sürtünmesi ve film sürtünmesi şeklinde tanımlanan sürtünme mekanizmaları oluşmaktadır. Teorik olarak kuru sürtünme ile film sürtünmesi arasındaki sürtünme durumu sınır sürtünmesi olarak tanımlanır. Birbiri ile temasta olan iki metal yüzeyi arasına belirli fiziksel özelliklere sahip üçüncü bir madde ( yağlayıcı ) koyulup, mevcut yük ve kayma hızı koşullarında kesintisiz bir yağlayıcı film oluşmadığı kabul edildiğinde, sürtünme direncinin üç temel bileşeni olacaktır. Bu bileşenler, adhezif bileşen, deformasyon bileşeni ve yağ filminin kayma direncidir. Yüzeylerin iyi işlenmesiyle deformasyon direnci, kayma hızının arttırılması ve yağlayıcı maddelere



değişik türlerde katkı maddelerinin ilave edilmesiyle de adhezyon direnci büyük bir azalma gösterecektir. Böylece hem sürtünme direnci hem de aşınma miktarı azalır.

Sınır ve kuru sürtünme durumlarında, sürtünme katsayısının kayma hızı ile değişimi, tutma-bırakma denilen olayı meydana getirirler. Aşınmış debriyaj ve fren balatalarında, özellikle küçük kayma hızı bölgelerinde bu olay sonucunda meydana gelen sarsıntı ve ses, yine ıslak parmak ucunun bir cam bardak kenarına sürtünmesi sonucunda çıkan yüksek frekanstaki ses titreşimleri tutma-bırakma olayının sonucudur. Pratikte tutma-bırakma titreşimleri, küçük kayma hızları bölgesinde ortaya çıkmaktadır. Bu olayı engellemek için sistemin yaylanma rijitliğini arttırmak veya sürtünme katsayısının, kayma hızı ile değişim eğilimini azaltmak en uygun çözümlerdir.

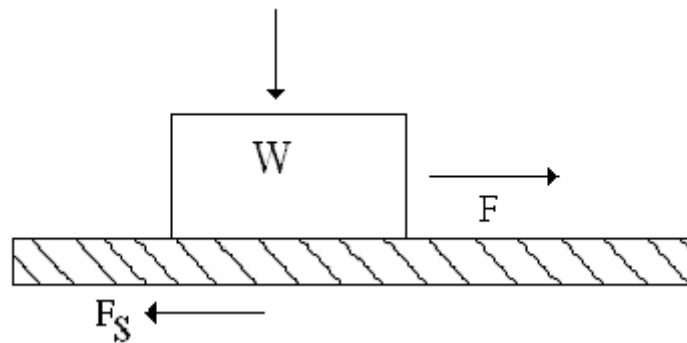
### **2.1.1.3. Film ( sıvı ) sürtünme**

Yüzeyler arasında bir yağlayıcının bulunması halinde sürtünme direncinin azaldığı deneysel olarak bilinmektedir. En ideal tribolojik ortam, iç sürtünme direnci çok düşük olan kesintisiz bir ara tabakanın oluşumu ile ortaya çıkar. Bu durumda bağlı hareket yapan yüzeyler arasında oluşabilecek adhezif ve deformasyon dirençleri ortadan kalkar. Uygun ara tabaka yani yağlayıcı seçimi ile kontrol altında tutulabilecek bir sürtünme ve aşınma durumu elde edilir.

### **2.1.2. Sürtünme Teorileri ve Sürtünme Katsayısı**

Sürtünme olayı basitmiş gibi görünse de, aslında oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu olayları açıklamak için bir çok teori ileri sürülmüştür. Yapılan araştırmaların sonuçlarında, üretilen enerjinin faydalı işe dönüşmesi sırasında, enerjinin büyük bir kısmı sürtünmeden dolayı meydana gelen kayıpları yenmek için harcanmaktadır. Sürtünmenin, faydalı iş enerjisinin büyük bir kısmını yok etmesine rağmen, günlük yaşantımızda sürtünme olmaz ise bir çok işin gerçekleştirilemeyeceği de bir gerçektir. Bir taşıtın hareket ettirilmesi, yavaşlatılması ve durdurulmasında tamamen sürtünme prensiplerinden yararlanılmaktadır [3,5].

Sürtünme ile ilgili tarihsel gelişime bakıldığında, iki temel teori ön plana çıkmaktadır. Birincisi Fransız bilim adamı Amontons tarafından ortaya koyulmuştur. Amontons' a göre sürtünme kuvveti, cisimler arasındaki normal yük ile doğru orantılıdır. Yani bir cisim diğeri üzerinde kayarken normal yük iki katına çıkarılırsa, sürtünme kuvveti de iki katına çıkar. Coulomb tarafından açıklanan diğeri teoriye göre, sürtünme kuvveti kayma hızına bağılı değildir. Ayrıca Coulomb' a göre bir cismi harekete geçirmek için gerekli olan kuvvet, hareketi devam ettirmek için gerekli olan kuvvetten daha büyüktür ve Coulomb bu olayı statik ve kinetik sürtünme katsayısı ile tarif etmiştir [4].



Şekil 2.2. Sürtünme katsayısının tanımlanması

Şekil 2.2' de  $W$  ağırlığındaki bir cismin düz ve yatay bir düzlem üzerinde hareketsiz durduğu varsayılabilir. Bu cisme küçük bir  $F$  kuvveti uygulandığında kayma olmadığı görülür, yani cisim sabit kalır. Bu durum Newton' un etki-tepki prensibine göre temas bölgesinde oluşan statik sürtünmenin, cisme uygulanan  $F$  kuvvetine eşit ve ters yönde olduğunu açıklar.

$$F = F_s \quad (2.1)$$

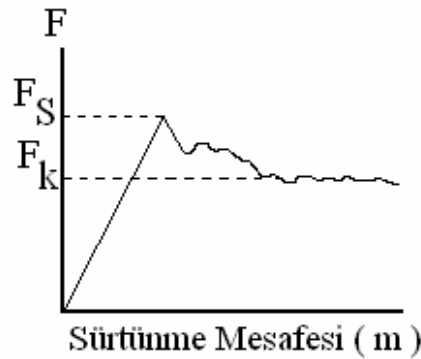
Buna göre bağılı hareket eden ve normal bir kuvvetin etkisi altında bulunan iki cismin temas eden yüzeyleri arasında harekete karşı bir  $F_s$  sürtünme kuvveti oluşur.

$$F_s = \mu \times W \quad (2.2)$$

Formül 2.2' deki ( $\mu$ ) simgesi iki malzeme yüzeyine bağlı olarak değişen sürtünme katsayısı değerini ifade etmektedir. Sürtünme esasına göre çalışan fren ve kavrama gibi sistemlerin hesabında “  $F_S = \mu \times W$  ” denklemi kullanılır.

Şekil 2.2' de verilen sürtünme modeli dikkate alındığında Coulomb' un teorisine göre şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır [5].

1. Sürtünme kuvveti, normal yükü orantılıdır. Yani  $\mu = F_S / W$  olur.
2. Sürtünme kuvveti, geometrik alana bağlı değildir.
3. Sürtünme kuvveti, kayma hızına bağlı değildir.
4. Cismi harekete başlatmak için gerekli kuvvet (statik sürtünme katsayısı), hareketi devam ettirmek için gerekli olan kuvvetten (kinematik sürtünme katsayısı) daha büyüktür ( Şekil 2.3 ).



Şekil 2.3. Statik ve kinematik sürtünme katsayısının farklılığı [4]

### 2.1.3. Sürtünme Malzemeleri Standartları

Sürtünme malzemelerinin kullanıldıkları yerlerdeki görevlerine göre belli standartlarda üretilmeleri gerekir. Sürtünme malzemeleri arasında önemli bir yere sahip olan balatalar için, ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü' nün hazırlamış olduğu standartlar aşağıda sıralanmıştır :

- TS 7964 / Şubat 1990 : Karayolu taşıtları-sürtünmeli frenler-balatalar-deney metodları-korozyon sebebiyle demir yüzeylerde tutunma
- TS 7693 / Şubat 1990 : Karayolu taşıtlar-sürtünmeli frenler-balatalar-deney metodları-sıkıştırılabilirlik

- TS 9076 / Nisan 1991 : Karayolu taşıtları-fren sistemleri-fren balataları-malzeme sürtünme özelliklerinin küçük deney parçaları ile değerlendirilmesi
- TS 555 / Mart 1992 : Karayolu taşıtları-fren sistemleri-balatalar-sürtünmeli frenler

Sürtünme esasına göre çalışan sistemlerde basınç, kayma hızı, sıcaklık, aşınma miktarı ve sürtünme katsayısı olmak üzere beş önemli faktöre dikkat edilir. Sürtünme esnasında uygulanan basınç nedeniyle sıcaklığın artması, sürtünme katsayısı üzerinde önemli rol oynar. Isınan malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayıları değişir ve bir süre sonra malzemeler görevlerini yapamaz hale gelirler [6].

TS 555'e göre sürtünme katsayısı, disk veya kampana ile disk fren veya kampana fren arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranı olarak tanımlanır ve soğuk (normal) sürtünme katsayısı ve sıcak sürtünme katsayısı olmak üzere ikiye ayrılır. Soğuk sürtünme katsayısı 1050 kPa basınç altında yapılan aşınma deneyi esnasında 100 °C, 150 °C ve 200 °C' de ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Sıcak sürtünme katsayısı ise 1050 kPa basınç altında yapılan deneyde 300 °C - 350 °C' de ve 3000 kPa basınç altında 350 °C - 400 °C' de ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Balatalar için belirlenen sınıf ve sürtünme katsayısı aralıkları Tablo 2.1' de verilmiştir [7].

Tablo 2.1. TS 555' göre balataların sınıflandırılması [7]

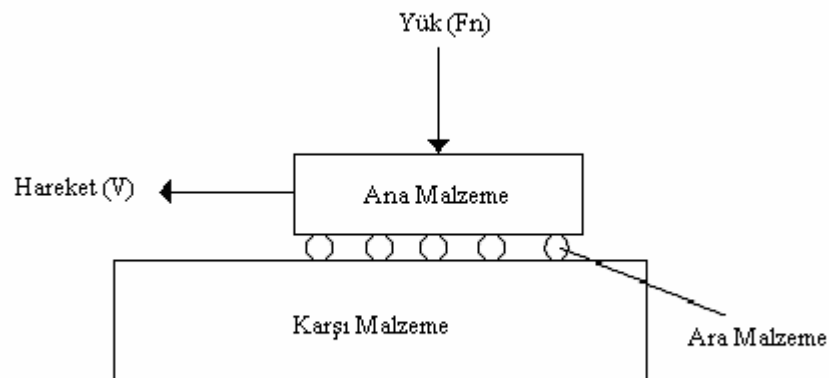
Sınıf	Sürtünme katsayısı ( $\mu$ )
C	0,15' e kadar
D	0,15 – 0,25
E	0,25 – 0,35
F	0,35 – 0,45
G	0,45 – 0,55
H	0,55' ten yüksek

## 2.2. Aşınma

### 2.2.1. Genel Anlamda Aşınma

En genel manada aşınma, birbiriyle temas halinde olan elemanlar arasında, mekanik, fiziksel ve kimyasal etkenler sonucunda mikroskobik parçacıkların kopmasıyla oluşan malzeme kaybı ve istenmeyen yüzey değişikliğidir. Aşınma malzeme kaybının yanında, makine elemanlarının şekillerini bozarak onların iş yapma kabiliyetlerini azaltır ve zamanla yok eder. Örnek olarak matkapla delme işlemi veya freze ile bir malzemeden talaş kaldırma işlemi sırasında matkapta ve freze çakısında meydana gelebilecek malzeme kayıpları aşınma olarak nitelendirilir ve istenmeyen bir durumdur. Delinen veya talaş kaldırılan malzeme üzerinde meydana gelen madde ayrılmaları ise şekil verme olarak adlandırılır ve kolay bir şekilde olması arzu edilir [1,5].

Aşınan ve aşındırılan malzemelere aşınma çifti adı verilir. Aşınma çiftini oluşturan ana cisim ve karşıt cisim, aralarında belirli bir ara cisim varken, az yada çok yük altında hareket ettirildiklerinde aşınma olayı meydana gelir. Aşınma çifti arasındaki ara malzeme sert taneli, sıvı ve gaz halinde olabildiği gibi, aşınma sırasında malzemelerden kopan parçacıklarda ara malzeme olacak şekilde aktif olarak aşınma olayına katılabilirler. Şekil 2.4' de aşınma olayını meydana getiren unsurlar gösterilmektedir [1,2].



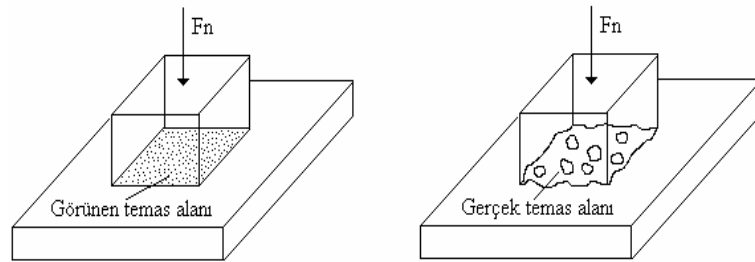
Şekil 2.4. Aşınma olayını meydana getiren unsurlar [2]

### 2.2.2. Aşınma Türleri

Aşınma olayını meydana getiren unsurların farklı durumlarına göre bunların değişik kombinasyonları, değişik aşınma tiplerinin ortaya çıkmasına neden olur. Aşınma, malzemelerin cinsi, yağlayıcı tipi, sıcaklık, yük, malzemenin işlenme şekli ve sertlik gibi parametrelerin değiştirilmesinden etkilenmektedir [8].

#### 2.2.2.1. Adhesif aşınma

Kayma aşınması da denilmektedir. Temas halinde olan ve birbirine göre bağlı hareket yapan kuru kayma yüzeylerinde daima mevcut olan bir aşınma türüdür. Aşınma, kayma ara yüzeylerinde metal-metal temas noktalarının soğuk kaynak oluşturması nedeniyle oluşur. Kaynak olmuş temas noktası tamamen veya kısmen parçalandığında malzeme aşınma ürünü haline gelir ve kopan parçacıklar serbestçe düşebilir veya yüzeyler arasında kalarak abrasif aşınmaya neden olabilirler. Bu oluşumda yüzeylerin karşılıklı fiziksel ve kimyasal etkileşimleri önemli ölçüde rol oynamaktadır. Kayma halinde yüksek basınçlara ilaveten, temas noktalarında ayrıca aşırı sıcaklık artışlarının da olması, kaynak bağlarının oluşumunu kolaylaştırır. Oluşan bağ, malzeme yüzeyleri ne kadar temiz ise, o oranda kuvvetli olmaktadır. Rutubet, absorbe gazlar ve yağlayıcı maddelerin varlığı bağ kuvvetini ve dolayısıyla aşınmayı azaltır [3,5].

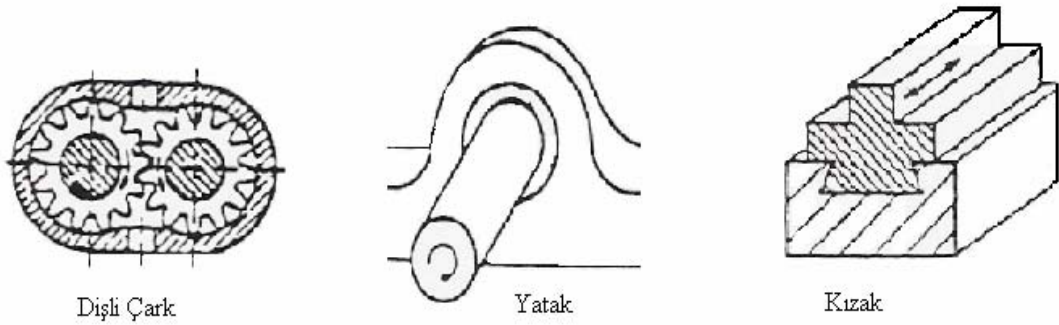


Şekil 2.5. Görünen ve gerçek temas alanları

Şekil 2.5' de şematik olarak gösterildiği gibi malzemenin temas eden yüzeyleri ne kadar hassas işlenirse işlensin yüzeyde mikroskobik girinti ve çıkıntılarının olduğu bir gerçektir. Bu bakımdan temas halinde olan iki yüzey bu çıkıntılar vasıtasıyla temas eder. Bu çıkıntılar arasındaki girintiler ise temas alanının dışında kalır [2].

### 2.2.2.2. Alışma aşınması

Genellikle katkılı yağlayıcılarla yağlanan sürtünme yüzeylerinde, örnek olarak dişli çarkların yatakların ve kızakların alışma çalışması dönemlerinde görülen genellikle yüzey pürüzlülüklerinin düzelmesine yol açtığı için arzulanan ve kontrol altında tutulabilen bir aşınma şeklidir. Şekil 2.6' da alışma aşınmasının oluşabileceği tribolojik sistemler görülmektedir.



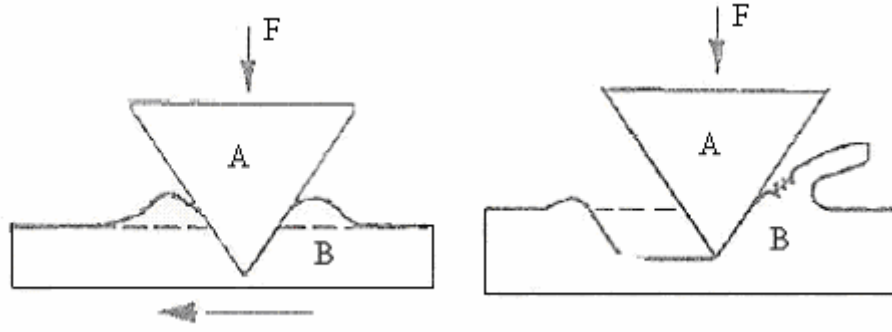
Şekil 2.6. Alışma aşınmasının oluştuğu tribolojik sistemler [2]

### 2.2.2.3. Yenme tipi aşınma

Yenme aşınması ani olarak kendini gösteren bir olaydır. Birbiri üzerinde kayan etki yüzeylerindeki basınç ve kayma hızı belirli bir kritik değeri aştığında ve ortam sıcaklığının çok yüksek olması halinde yüzeylerde çok kuvvetli bir aşınma meydana gelmektedir. Genellikle roket kızaklarında ve top namlularında görülen bir aşınma türüdür [3].

### 2.2.2.4. Abrasif aşınma

Sürtünen sert yüzeylerin daha yumuşak malzemeleri kesmesi şeklinde meydana gelen aşınma türüdür. Sert partiküller ya dışarıdan sisteme girerler ya da adhesif aşınma ürünleri olarak sistemin içinde meydana gelirler. Sert yüzey pürüzleri kesici takım gibi işlev görerek daha yumuşak malzemelerden malzeme koparır. Aşınmadan dolayı kopan parçacıklar yabancı maddeler gibi davranır ve aktif olarak olaya karışır.

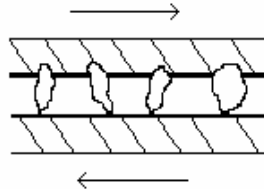


Şekil 2.. Abrasif aşınma mekanizması [1]

Abrasif aşınma mekanizmasında etkili olan temel faktörler, sertlik, aşındırıcı, tane veya pürüzün boyutu ve şekli, uygulanan normal yük ve kayma hızı olarak sayılabilir. Şekil 2.7' de abrasif aşınma mekanizması gösterilmektedir [3].

### - İki elemanlı abrasyon

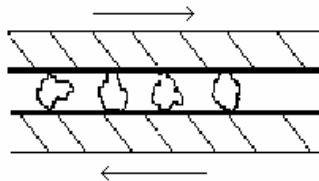
Sürtünen yüzey çiftlerinden sert ve pürüzlü olanının veya yüzeylerden birisine gömülmüş sert bir partikülün diğer yüzeyi kazıması iki elemanlı abrasyon olarak adlandırılır ( Şekil 2.8 ).



Şekil 2.8. İki elemanlı abrasyon

### - Üç elemanlı abrasyon

Sürtünen yüzey çiftlerinin dışında üçüncü bir elemanın serbest aşındırıcı olarak yüzeylerin arasında bulunması ve kazıyıcı etki yapması üç elemanlı abrasyon olarak adlandırılır ( Şekil 2.9 ).



Şekil 2.9. Üç elemanlı abrasyon

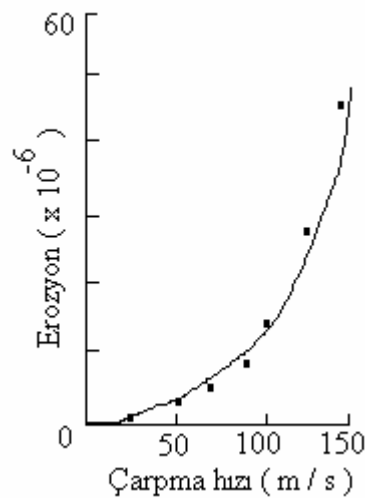


Abrasif aşınma dayanımı sertlikle doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu sebeple abrasif aşınma dayanımını arttırmanın en etkili ve ekonomik yolu, uygun yüzey sertleştirme tekniklerinin kullanılmasıdır [9].

### 2.2.2.5. Eroziyon aşınma

Eroziyon aşınma, abrasif aşınmayla bir çok yönden benzerlikler göstermektedir. Eroziyon aşınmanın abrasif aşınmadan temel farkı, aşınmanın, sert partiküllerin yüzeyi kazınmasından ziyade yüzeye çarpması sonucunda oluşmasıdır. Buna örnek olarak gaz türbinlerinin nozul ve kanatçıklarının yanma ürünleri içerisindeki katı parçacıklar tarafından aşındırılması verilebilir [3]. Sert partiküllerin bağıl hareketleri katı yüzeye paralel olduğunda aşınma, abrasif erozyon olarak adlandırılır. Sert partiküllerin bağıl hareketleri yüzeye dik olduğunda aşınma, çarpma erozyonu olarak adlandırılır [10].

Eroziyon aşınmayı etkileyen temel faktörler, aşındırıcı partikülün özellikleri ( aşındırıcı boyutu, şekli, sertliği ), aşınmaya maruz kalan elemanın özellikleri ( elemanın sertliği ve yüzey kalitesi ) ve ortamın özellikleri ( partikülün çarpma veya yalama hızı, çarpma açısı ve birim zamanda çarpan partikül miktarı ) olarak üç ana grup altında incelenebilir. Şekil 2.10' da çarpma hızının erozyon aşınmasına olan etkisi görülmektedir [3].



Şekil 2.10. Aşındırıcı çarpma hızının erozyona etkisi [11]

### 2.2.2.6. Pulcuk kalkması ( Pitting )

Bu tip aşınma daha çok yuvarlanma sürtünmesine maruz, çizgisel veya noktasal temas halindeki çok küçük temas alanlarına sahip olan yüzey çiftlerinde meydana gelmektedir. Genel görünüşü yüzeylerden küçük pulcuk ve parçacıkların kalkarak çukurcukların meydana gelmesi şeklindedir. Pulcuk kalkması sert çeliklerde yumuşak çeliklere nazaran daha sık görülmektedir. Rulmanlı yataklarda ve dişli çarklarda görülebilen bir aşınma türüdür [3].

### 2.2.2.7. Koroziyon aşınma

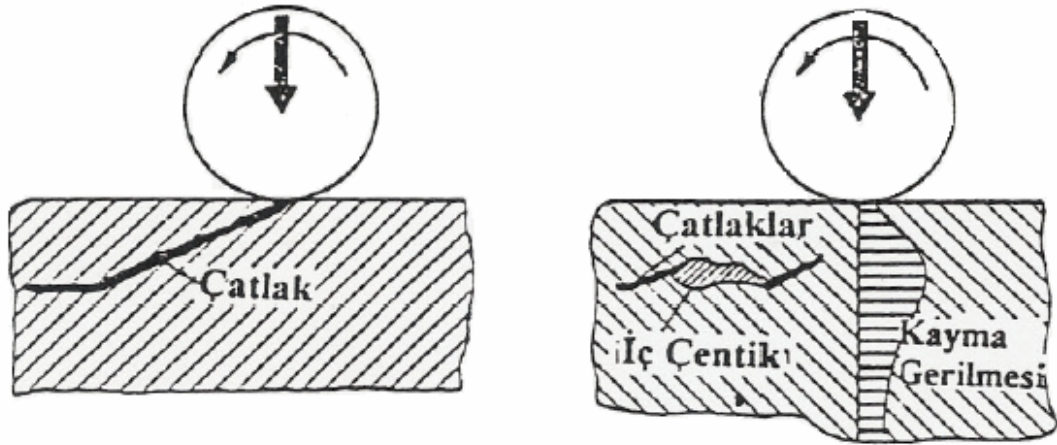
Kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan ve özellikle metallerde etkili olan bir aşınma türüdür. Korozyon diğer aşınma mekanizmalarından farklı olarak, kimyasal korozyon, elektrokimyasal korozyon ve sürtünme oksidasyonu gibi farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Koroziyon aşınma genellikle aşınmanın hafif bir şeklidir, fakat yüksek sıcaklıklarda ve nemli ortam içerisinde aşırı bir hal alabilir [3,5]

Malzemelerin yüksek sıcaklık ve gaz ortam içerisinde oksitlenmesi kimyasal korozyon, çözelti ortamlarında meydana gelen oksitlenme ise elektrokimyasal korozyon olarak adlandırılır. Demir esaslı malzemelerde daha çok gözlenen korozyon ise oksidasyondur. Sürtünme oksidasyonu mekanik aşınma ile koroziyon aşınmanın bir bileşimini teşkil etmektedir. Sürtünme oksidasyonu, aralarında çok küçük bağıl hareket olan ve oksitlenmeye elverişli bütün malzeme türlerinde meydana gelebilmektedir. Özellikle ambalajlanmış bir şekilde uzun süre bekleyen makinelerin rulmanlı yataklarında ve mil-göbek gibi geçme olan yerlerinde, nakliyat sırasında meydana gelecek küçük sarsıntı ve titreşimler sürtünme oksidasyonunun oluşmasına neden olabilirler [3].

### 2.2.2.8. Yorulma aşınması

Değişik yüklemeler etkisi altında meydana gelen bir aşınma türüdür. Böyle bir aşınma çok sayıda yükleme periyodundan sonra meydana gelmektedir. Yüzey bölgesi, titreşimli değişken zorlanmaya maruz kaldığı zaman malzeme yüzeyinin

hemen altında mikro çatlaklar oluşur. Bu çatlakların yüzeye oluşması sonucunda pulcuk kalkması meydana gelir ve yüzeyden büyük parçacıklar koparak çukur ve oyukların oluşmasına neden olur. Genellikle dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda, demiryolu raylarında, soğuk veya sıcak haddeme işlemlerinde görülmektedir. Şekil 2.11’ de yüzey yorulmasında çatlağın oluşumu ve ilerlemesi yorulmasının meydana görülmektedir [2,5].



Şekil 2.11. Yüzey yorulmasında çatlağın oluşumu ve ilerlemesi [2]

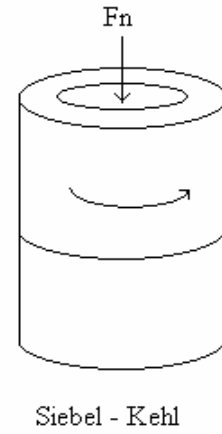
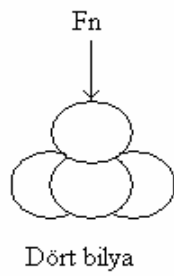
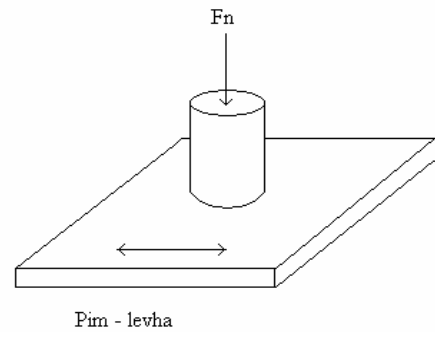
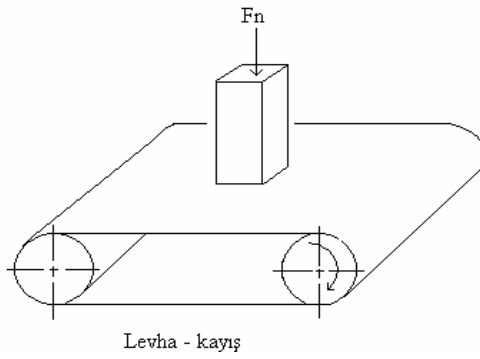
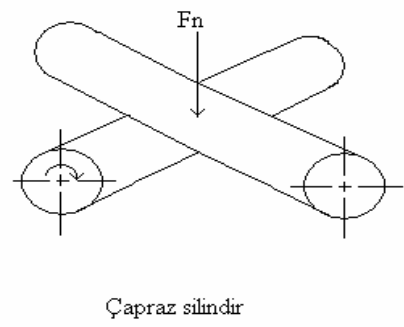
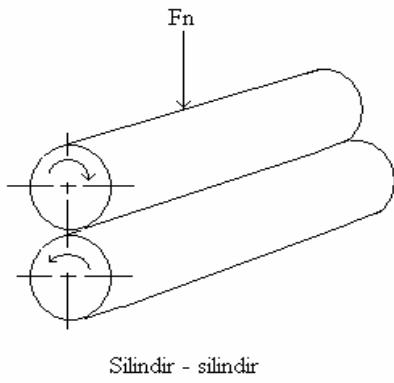
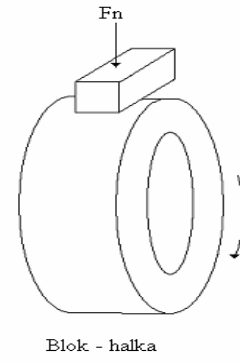
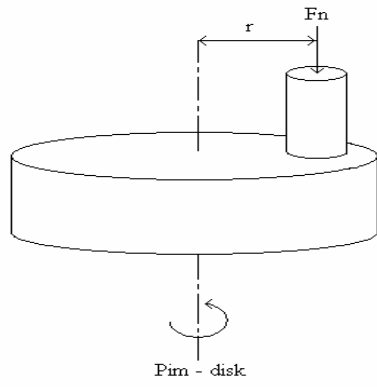
## **BÖLÜM 3. AŞINMA DENEY YÖNTEMLERİ ve CİHAZLARI**

### **3.1. Model Deney Yöntemleri**

Sistem veya sistem elemanlarının sürtünme ve aşınma davranışlarının belirlenebilmesi için yapılan testler, tasarım açısından oldukça önemlidir. Sürtünme ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler, gerçek makineler veya model deney düzenekleri kullanılarak yapılmaktadır. Doğrudan makine üzerinde ve gerçek şartlarda yapılan deneyler hem oldukça pahalıdır, hem de karmaşık tribolojik etkiler nedeniyle değerlendirilmeleri zordur. Bu sorunları ortadan kaldırmak için bir çok model deney yöntemleri geliştirilmiştir [12].

Sürtünme direnci ve aşınma dayanımının ölçülmesinde kullanılan model deney yöntemlerinin sayısının fazla olmasının sebebi, sürtünme ve aşınma mekanizmalarının ve tribolojik sistemlerin fazla olmasındandır. Bu sebeple günümüzde sürtünme ve aşınma üzerine yapılan çalışmaların çok büyük bir kısmı uluslararası standartlarla belirlenmiş test teknikleri ve parametreleri kullanılarak yapılmaktadır.

Sürtünme ve aşınma testleri genellikle aynı sistemler üzerinde yapılmaktadır. Buradaki en önemli parametre ölçüm yöntemlerindeki farklılıklardır. Yine test süresi de önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Sürtünme testleri çoğunlukla kısa sürerken, aşınma testleri bazen çok uzun süreler alabilmektedir. Sürtünme ve aşınma testleri için geliştirilen model deney sistemlerinin temel prensipleri şekil 3.1' de görülmektedir [3].

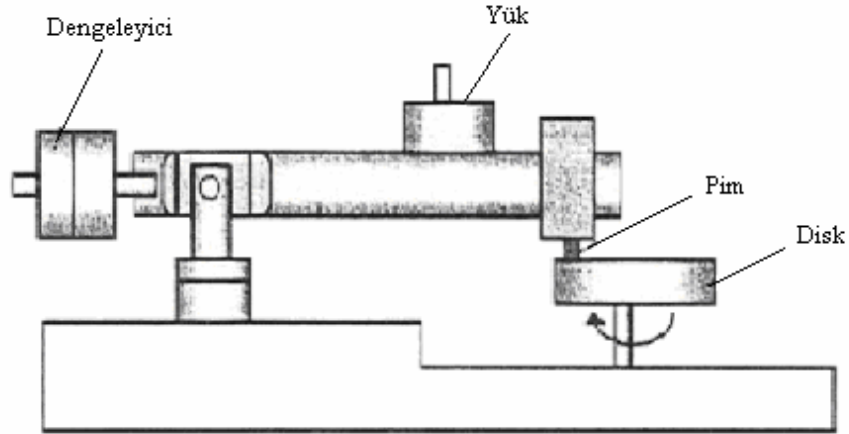


Şekil 3.1. Model deney sistemleri [ 3,12]

## 3.2. Aşınma Deney Cihazları

### 3.2.1. Pim - disk cihazı

Pim-disk ( disk üzerine pim ) yöntemi, model test yöntemlerinin en basit ve en yaygın kullanılanlarından birisidir. Deneyde kullanılan yatay döner disk genellikle metal bileşenlerden oluşmaktadır. Deneyde aşınma durumu incelenecek olan numune koni, küre veya silindir şekline sahip bir pimdir. İzafe kayma hızı, diskin merkezi ile pimin temas noktası arasındaki radyal “r” mesafesi değiştirilmek suretiyle ayarlanabilir. Pim üzerinden diske uygulanacak normal yük, mekanik, pnömatik veya bir hidrolik silindir vasıtasıyla sağlanabilir. Bu test tekniği kullanılarak kuru kayma halindeki sürtünme ve aşınma davranışları incelenebilmektedir. Şekil 3.2’ de pim-disk cihazı şematik olarak gösterilmektedir [3].



Şekil 3.2. Pim-disk cihazının şematik görünümü [13]

Şekil 3.3’de Sakarya Üniversitesi Metalürji Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan pim-disk aşınma test cihazı görülmektedir. Cihazda aşınan numune pim şeklinde olup, aşındırıcı ise altta döner kısımda ve disk şeklindedir. Kullanılan deney numuneleri 6 mm çapında ve 50 mm yüksekliğindedir. Daha büyük numuneler denemek için numunenin bağlandığı pens tertibatının ölçüleri değiştirilmelidir.



Şekil 3.3. Pim-disk aşınma test cihazı

Cihaz 50 cm x 70 cm boyutlarında bir sehpa üzerine yerleştirilmiştir. Elektrik motoru bir flanş vasıtasıyla sehpa üzerine bağlanmış ve aşındırıcı diski döndüren mil, iki adet rulmanla yataklanmıştır. Motor ile milin bağlantısında da kaplin kullanılmıştır.

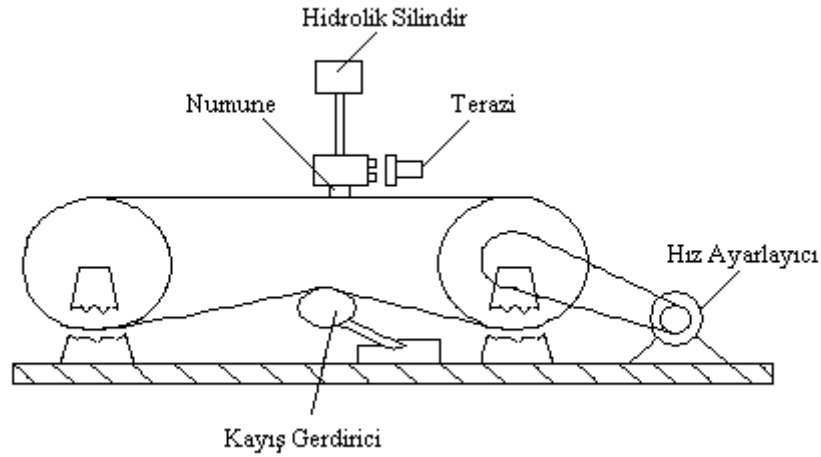
Numuneye uygulanacak olan yük için bir yük kolu tasarlanmış, bu kolun bir ucuna ağırlık asmak, diğer ucuna da kolu dengede tutmak için gerekli olan tertibat bağlanmıştır. Kolun tezgaha bağlandığı noktada da, kolun aşağı yukarı ve sağa sola hareketini sağlamak için rulman kullanılmıştır.

### 3.2.2. Levha - kayış cihazı

Bu sistem iki geniş silindir ve bu silindirlerin üzerinden geçen eğilebilir özelliğine sahip bir kayıştan meydana gelir. Kayış silindirlerin etrafında dönmekte olup, kayışın gerginliği basit bir gerdirme mekanizması ile ayarlanabilmektedir. Yine

silindirlere bir tanesi hız ayarlı olup, silindirin devri değiştirilmek suretiyle kayışın hızı değiştirilebilmektedir. Kayış, lastik, çelik şerit veya takviye edilmiş kompozit malzemelerden olabilir. Deneyde aşındırmayı sağlayacak yüzey, kayışın bir yüzüne zımpara kağıdı yapıştırılması veya bir aşındırıcı örtülmesi ile sağlanır.

Deneyde kullanılacak olan test numunesi bir hidrolik silindir vasıtasıyla itilmek suretiyle kayış üzerine bastırılarak bir normal yük meydana getirilir. Kayış ve numunenin arasında oluşan sürtünme kuvvetinin tesiriyle numune deformasyona uğrar. Numuneyi tutmakta olan kafa sağ ve sol taraftan yataklanmıştır. Kayışın hareket yönü tarafında bulunan yatağa sürtünme kuvvetinin ölçülmesi için bir terazi yerleştirilmiştir. Şekil 3.4’ de levha-kayış cihazı şematik olarak gösterilmektedir.

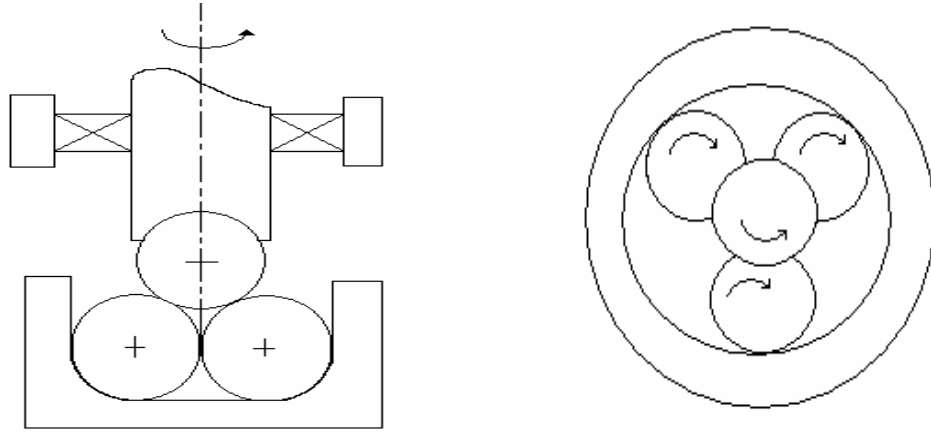


Şekil 3.4. Levha - kayış cihazının şematik görünümü [3]

### 3.2.3. Dört bilya düzeneği

Bu deneyde dört adet aynı büyüklükte bilya numune olarak kullanılmaktadır. Bu bilyalardan üç tanesi, deney esnasındaki şartlarda rahatça hareket edebilecekleri bir kabın içersine konulmuşlardır (Şekil 3.5). Dördüncü bilya ise kendi şekline uygun olarak oyuk açılmış bir milin içersinde olup diğer üç bilyanın üzerine gelecek şekilde terleştirilmiştir. Mil döndürülmeye başladığında üstteki bilyanın etkisiyle altta bulunan bilyalar zıt yönde dönmeye başlarlar. Dönen bilyalardaki radyal yükün çok az miktardaki artışı yorulma ömründe çok büyük düşüşleri meydana getirecektir. Bunun sebebi de temas alanlarındaki gerilmelerin artmasıdır.





Şekil 3.5. Dört bilya test düzeneği [3]

### 3.3. Aşınma Ölçüm Yöntemleri

#### 3.3.1. Ağırlık farkı metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesinde olması dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybının ölçülmesi  $10^{-3}$  veya  $10^{-4}$  gram hassasiyetinde oldukça duyarlı bir teraziyle yapılır.

Ağırlık farkı metoduna göre, ağırlık kaybı miktarı; aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde, birim sürtünme yoluna karşılık olarak (g / km) veya ( mg / km ) cinsinden, birim alan için hesap edilecekse, (g / cm<sup>2</sup>) cinsinden ifade edilir. Hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde ise malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine düşen yük hesaba katılarak, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybindan yola çıkılarak ağırlık kaybı hesaplanır [12].

Ağırlık farkı ölçümünde en çok aşağıda verilen bağıntı kullanılmaktadır [14].

$$W_a = \frac{G}{d.M.S} \text{ Bu bağıntıda;}$$

$$W_a = \text{Aşınma oranı ( mm}^3 \text{ / Nm )}$$

$$G = \text{Ağırlık kaybı ( mg )}$$

$M =$  Yükleme ağırlığı ( N )

$S =$  Aşınma yolu ( m )

$d =$  Malzeme yoğunluğu ( mg / mm<sup>3</sup> )

olarak verilmiştir. Aşınma oranının ters değeri de aşınma direnci (  $Wr$  ) olarak kabul edilmiştir.

$$Wr = \frac{1}{Wa}$$

Ağırlık farkı metodunda en çok kullanılan ölçme yöntemi tartı yöntemidir. Aşındırılan malzeme tartılarak tek bir sayı şeklinde aşınma miktarı bulunur. Tartma işlemi bir kimyasal terazide yapılır. Bu yöntemde malzemenin devamlı temiz olmasına ve üzerinde tortu kalmamasına dikkat edilmelidir. Tartı yönteminin yanı sıra aşınma miktarını radyoaktif izleyiciler kullanarak ölçmek mümkündür. Bu ölçümde aşınma öncesinde veya sonrasında değil, doğrudan aşınmanın meydana geldiği sırada ölçüm yapmak mümkün olmaktadır [2].

### 3.3.2. Kalınlık farkı metodu

Aşınma sırasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi ve başlangıç değeriyle karşılaştırılması suretiyle aşınma miktarı ölçülmektedir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık hassas ölçü aletleri kullanılarak + 1 µm duyarlılıkta ölçülmelidir [2]. Kalınlık farkı esasına dayanan ölçümler, çoğu zaman aşınmanın hangi elemanda, ne oranda, düz mü yoksa eğik mi olduğu hakkında net bir bilgi veremediği için daha çok hacimce meydana gelen değişimler dikkate alınmaktadır [3].

### 3.3.3. İz değişim metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu iz karakteristیک bir boyutunun ( çapının ) değişimi izlenir. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan aletler, Vickers veya

Brinell sertli ölçme uçlarıdır. Bu uçların bıraktığı izlerin boyutlarında meydana gelen değişme mikroskop vasıtasıyla ölçülerek değerlendirilir [2].

### 3.3.4. Radyoizotop metodu

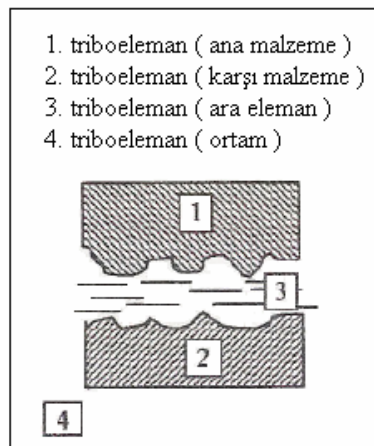
Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü  $\alpha$  parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçüm yapılabilmesi avantaj sağlar. Fakat ekonomik olmaması nedeniyle ancak özel amaçlarda kullanılır [12].

### 3.4. Aşınma Testlerinin Değerlendirilmesi

Herhangi bir sürtünme veya aşınma testi yapılırken test parametrelerinin çok dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve elde edilen bilgilerin düzgün ve anlaşılır bir şekilde kaydedilmesi gerekir. Şekil 3.6' da tribolojik bir raporun hazırlanmasında sürekli olarak göz önünde tutulması gereken sisteme ait giriş ve çıkış büyüklükleri verilmiştir ve Tablo 3.1' de bu bilgilerin toplu olarak not edileceği bir rapor örneği hazırlanmıştır. Bu rapor bütün aşınma ve sürtünme parametrelerini içeren ve elde edilen bilgilerin değerlendirilmesini kolaylaştıran bir rehber niteliğindedir. Bu raporda sürtünme ve aşınma parametrelerinin analizleri ve değerlendirilmesi yapılarak, test sonuçları genel bir doküman halinde elde edilebilir [3].

#### Giriş Büyüklükleri

Hareket şekli  
Normak kuvvet  
Hız  
Sıcaklık  
Süre



#### Çıkış Büyüklükleri

Sürtünme kuvveti  
Sürtünme katsayısı  
Sıcaklık  
Aşınma  
Temas şartları

Şekil 3.6. Tribosistem elemanları ve tribosisteme ait giriş ve çıkış büyüklükleri [3]

Tablo 3.1. Sürtünme ve aşınma testleri için rapor örneği [3]

<b>Tribolojik Sistemin Tanımlanması</b>					
<b>Özellik :</b>	Bileşim	Yoğunluk	Hacim	Şekil	Boyut
1. Triboeleman					
2. Triboeleman					
Yağlayıcı					
Ortam					
<b>Giriş Büyüklükleri</b>	Normal kuvvet	Temas alanı	Temas basıncı	Sıcaklık	Süre
1. Triboeleman					
2. Triboeleman					
<b>Çıkış Büyüklükleri</b>	Sürtünme katsayısı	Aşınma yolu	Aşınma alanı	Aşınma hacmi	Aşınma katsayısı
1. Triboeleman					
2. Triboeleman					

## BÖLÜM 4. FRENLER

### 4.1. Frenleme Kuvveti

Frenler, motorlu taşıt aracının emniyetini sağlayan düzenlerdendir. Hareket halindeki taşıtı yavaşlatmak ve durdurmak, aracın hızını kontrol altında bulundurmak ve diğer taraftan duran aracı sabitlemek üzere kullanılırlar. Sayılan bu görevleri yerine getirmek için frenleme kuvvetine gereksinim duyulmaktadır. Fren donanımları bu kuvveti oluşturur. Motorlu taşıt araçlarında frenleme kuvvetini meydana getiren fren mekanizmaları genellikle sürtünme kuvvetinden yararlanarak çalışırlar. Gerek eski gerekse en modern araçlarda, fren tipine bakılmaksızın sürtünme prensiplerinden yararlanılmaktadır [14].

Bilindiği gibi hareket halindeki cisimler kinetik enerjiye sahiptirler. Kinetik enerji, hareket halindeki cismin hızının karesiyle kütesinin çarpımının yarısına eşittir.

$$Ek = \frac{1}{2} M \times V^2 \quad (4.1)$$

Burada,

Ek : Kinetik enerji

M : Cismin kütlesi

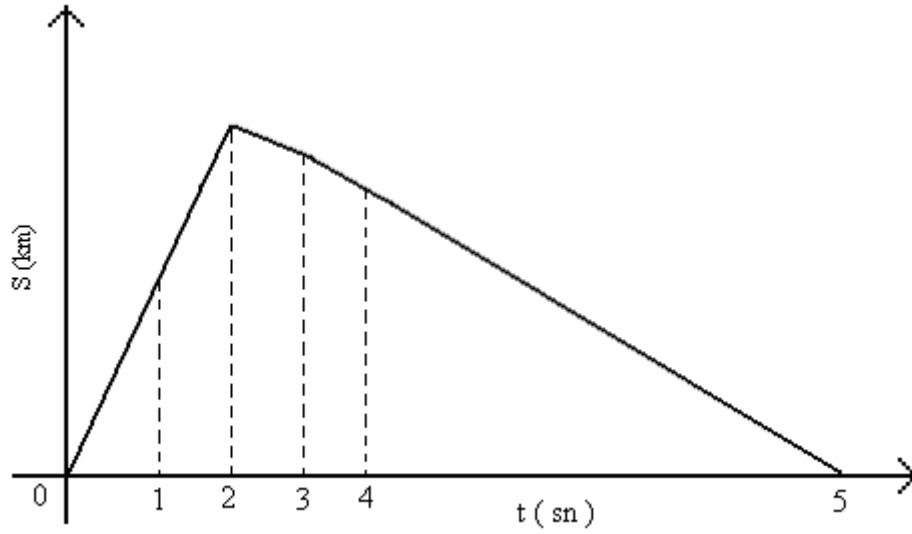
V : Cismin hızı

Bu ifadeye göre kinetik enerji hızın karesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Belirli bir hızda giden aracın o andaki hızı için belirli bir frenleme kuvvetine ihtiyaç duyulur. Aracın hızı bir an için bir öncekine göre iki katına çıkarılırsa, kinetik enerji de dört katına çıkar. Örnek olarak V yerine 2V alınır,

$$Ek = \frac{1}{2} M \times (2V)^2 = \frac{1}{2} M \times (4V)^2 = 2M \times V^2 \quad (4.2)$$

Burada görülen değer bir öncekinin dört katıdır. Fren mekanizmasının, aracın hızının karesiyle doğru orantılı olarak artan bu enerjiyi yenerek aracı durdurması gerekmektedir. Bu bakımdan da fren gücünün motor gücünden büyük olması gerekmektedir [14].

Aracın durdurulması sırasındaki frenleme olayı belirli bölümlerden oluşur. Şekil 4.1’ de frenleme sırasında alınan yol grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Frenleme sırasında alınan yol grafiği [14]

0. Tehlikenin görüldüğü zaman

1. Sürücünün durmak için karar verme zamanı

2. Sürücünün freni uygulamak için harekete geçme zamanı

3. Sürücünün ayağını gaz pedalından çekip fren pedalına basma zamanı

4. Fren mekanizmasının çalışması

5. Aracın durması

Frenlemenin başlamasından bitmesine kadar geçen zaman görüldüğü gibi belirli bölümlerden oluşmaktadır. Bu zaman aralıkları kullanılan araca, frenlerin verimine ve aracı kullanan kişiye göre değişiklikler gösterir. Her zaman aralığı içerisinde araç bir miktar yol alacaktır. Belirli bir hızda giden aracın istenilen noktada durdurulması için alınacak yolun bilinmesi gereklidir. Bu nedenle her motorlu taşıt aracının belirli bir durma mesafesi vardır [14].

## 4.2. Fren Verimi

Bir taşıtın durma mesafesine etkiyen en önemli faktörlerden birisi de fren verimidir. Fren verimi aşağıdaki faktörlere göre değişir ;

- Fren pedalına uygulanan kuvvet
- Aracın tekerleği üzerindeki yük
- Frenleme yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayısı
- Yol ile lastik arasındaki sürtünme katsayısı

Frenleme ile araç tekerleklerinin hareketine zıt yönde bir kuvvet oluşturulur. Bu kuvvet frenleme kuvveti olarak bilinir ve aracın frenleme verimi [5] ;

$$\eta_f = \frac{F}{G} \times 100 \quad (4.3)$$

$\eta_f$  : Frenleme verimi

$F$  : Ortalama fren kuvveti ( N )

$G$  : Taşıtın ağırlığı ( N )

Frenleme esnasında oluşan sürtünme katsayısı ise sürtünen yüzeyler arasında meydana gelen sürtünme kuvvetinin normal yüklere oranı olarak tanımlanır ;

$$\mu = \frac{F_s}{W} \quad (4.4)$$

$\mu$  : Sürtünme katsayısı

$F_s$  : Sürtünme kuvveti ( N )

$W$  : Normal yük ( N )

## 4.3. Hidrolik Frenler

Günümüz araçlarında büyük çoğunlukla hidrolik frenler kullanılmaktadır. Hidrolik frenlerde, fren hidroliği adı verilen bir sıvı frenlemeyi oluşturacak basıncın fren mekanizmasına iletilmesinde kullanılır. Bir hidrolik fren sistemi genel olarak fren

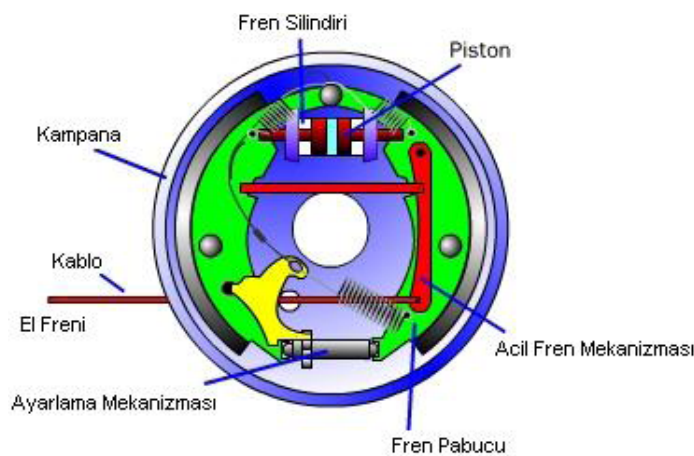
pedalı, merkez silindiri, hidrolik sıvısı, teker silindirleri, balatalar, disk ve kampanalar ile hidroliği taşıyan borulardan oluşmaktadır.

Frenleme sırasında fren pedalına uygulanan ayak kuvveti pedalda itme hareketini oluşturur ve bu hareket merkez silindirin pistonunu iter. Piston üzerindeki itme kuvveti hidrolik sıvısının balatalara ulaşmasını sağlar ve böylece balatalar ile fren teker mekanizması arasında oluşan sürtünme kuvveti aracın durmasını sağlar.

#### 4.3.1. Kampanalı frenler

Fren kampanası tekerin civatalarla bağlı olduğu dönen elemandır ve tekerlek ile aks arasındadır. Fren tekerlek mekanizması kampana tarafından örtülür ve kampana aynı zamanda fren siper tablasına çok yaklaşmak suretiyle mekanizmanın dış etkilerden korunmasını sağlar.

Fren pedalına basıldıktan sonra merkez silindirde oluşan basınç fren teker silindirlerine kadar iletilir. Teker silindirlerinin pistonları açılmak suretiyle bu basıncı itme kuvvetleri halinde pabuçlara iletirler ve pabuçlar açılarak kampanaya temas ederler. Pabuçlar dönmeyeceklerinden dolayı dönmekte olan kampanayı durdururlar. Frenleme sırasında taşıtın hareketli oluşundan dolayı meydana gelen kinetik enerji sürtünme sonucunda ısıya dönüşür. Taşıtın kinetik enerjisi arttıkça ısıya dönüşen miktarda artar. Bu ısı çoğunlukla kampananın hava ile temasta olan yüzeyi üzerinden taşınımıyla atılır. Şekil 4.2’ de kampanalı fren mekanizması görülmektedir [15].



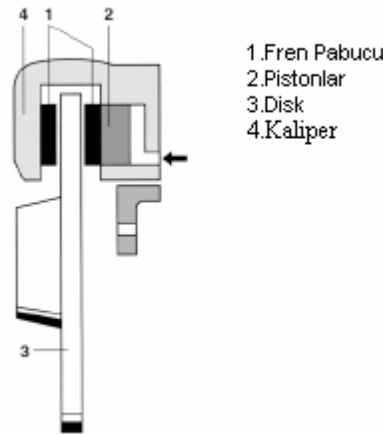
Şekil 4.2. Kampanalı fren



### 4.3.2. Diskli frenler

Son yıllarda otomobil teknolojisindeki gelişmeler taşıtların hız sınırının oldukça artmasını sağlamıştır. Bu gelişmeler kendini bilhassa seyahat taşıtları ile spor otomobillerde açıkça göstermiştir. Doğal olarak bu durumda taşıt frenlerinin zorlanmalarını da arttırmıştır. Kampanalı frenler bugünkü zorlanmalar karşısında zayıflama göstermektedir. Fakat bu olay tüm tekerleklerde aynı zamanda meydana gelemeyeceğinden taşıtın hareket yönünde kalması zorlaşır. Bu sebeple bir çok taşıt , özellikle ön akslar disk frenlerle donatılmaktadır [15].

Diskli fren sistemi sabit bir kaliper ile bu kaliper üzerine yerleştirilen fren balata ve pabuçları ile fren hidrolik silindiri ve pistonlarından oluşur ve şekil 4.3' de diskli fren sistemini oluşturan parçalar görülmektedir [14].



Şekil 4.3. Diskli fren sisteminin şematik görünüşü [15]

Fren pedalına basılmasıyla , merkez pompası pistonu fren sıvısını boru ve hortumlar üzerinden kaliperin pistonlarına ulaştırır. Böylece her iki taraftaki fren balataları aynı anda diske eşit kuvvetle bastırılır. Fren pedalına tesir eden kuvvet, balatanın basılma miktarının ve böylece frenleme miktarının büyüklüğünün bir ölçüsü olmaktadır. Frenin çözülmesiyle fren pedalı yayı ile merkez pompası pistonu geriye başlangıç konumuna gelir. Aynı zamanda fren boru ve hortumlarında ve tekerlek silindirlerindeki basınç azalarak , pistonları sızdırmazlık keçelerinin elastikliği ve sürtünme yüzeylerindeki sürtünme kuvveti ile geriye doğru çekerek fren balataları üzerindeki baskı kuvvetleri ortadan kalkmış olur [15].

Diskli frenlerde balatanın disk üzerindeki kuvvet dağılımı kampanalı fren tipine oranla daha kararlı ve daha homojendir. Yüksek hızlardaki frenlemelerde aniden kavrama eğilimi daha düşüktür. Diskli frenlerde sürtünme, diskin iki tarafında da olduğundan sürtünme kuvveti;

$$F = 2 \times \mu \times N \text{ olur. Buradan,} \quad (4.5)$$

$$R_0 = \frac{R_2 + R_1}{2} \quad (4.6)$$

$$T_B = 2 \times \mu \times N \times \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (4.7)$$

$$T_B = 2 \times \mu \times N \times R_0 \text{ olur.} \quad (4.8)$$

Burada,

$T_B$  : Frenleme torku (Nm)

$N$  : Normal reaksiyon tepki kuvveti (N)

$\mu$  : Sürtünme katsayısı

$R_0$  : Ortalama balata yarıçapı (cm)

$R_1$  : Balata iç yarıçapı (cm)

$R_2$  : Balata dış yarıçapı (cm)

Günümüzde kullanılan frenlerde, fren sürtünme katsayısı genellikle 0,3-0,4 arasında değişmektedir. Balata yüzeylerine gelen ortalama fren basınçları ise 600-800 N / cm<sup>2</sup> arasındadır. Bu değer 1200 N / cm<sup>2</sup>, ye kadar çıkabilir [5].

#### 4.3.3. Diskli ve kampanalı frenlerin karşılaştırılması

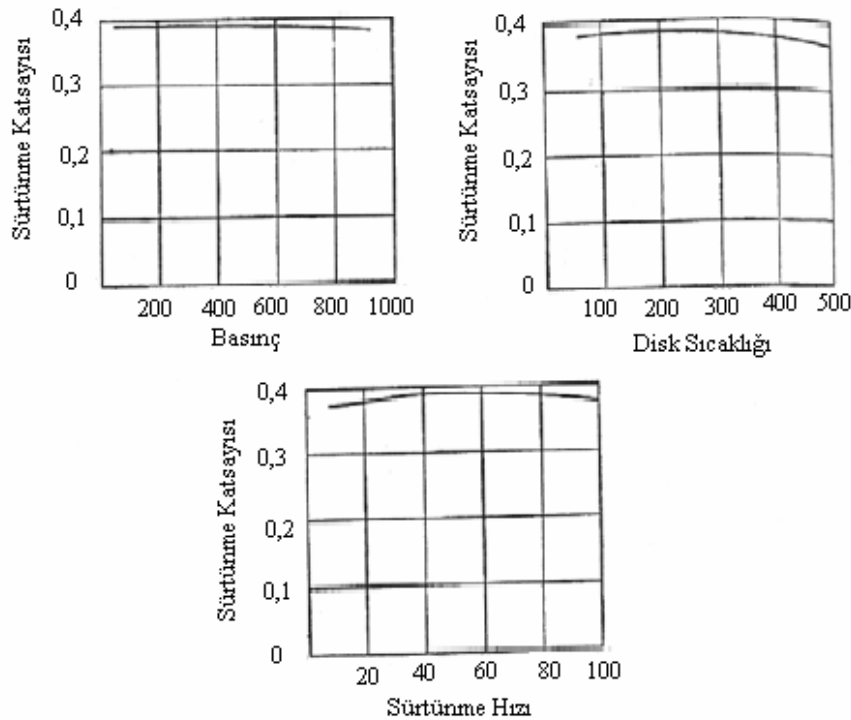
Diskli frenler kampanalı frenlere oranla yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır. Balata ile disk arasında aşırı ısınmadan dolayı oluşan sürtünme kayıplarına karşı dayanıklıdır. Aşırı ısınmalar hem balatanın hem de kampananın sürtünme yüzeylerinde zamanla cam gibi bir parlaklık oluşturur ve frenleme etkisinde zayıflama meydana gelir. Diskli frenlerin dış havayla temasının çok olması ve daha

küçük sürtünme yüzeylerine sahip olması dolayısıyla parlak yüzeyin oluşması azdır ve bu bakımdan da frenleme verimleri kampanalıya göre daha yüksektir [5,14].

Diskli frenlerde fren balatası daha dar bir yüzeye sahiptir ve bu nedenle daha büyük frenleme kuvvetlerine ve basınçlarına ihtiyaç duyulabilir. Kampanalı frenlerde balataya gelen basınç  $2,1 \text{ kg/cm}^2$  iken diskli frenlerde  $10,5 \text{ kg/cm}^2$  hatta ağır hizmet tipi araçlarda  $42 \text{ kg/cm}^2$  gibi yüksek basınçlar uygulanmaktadır. Bu nedenle diskli frenlerde kullanılan balatanın daha yüksek sürtünme katsayısına sahip olması ve uzun ömürlü olması istenir [14].

Diskli frenlerde disk ısındıkça frenleme iyileşir. Fakat kampanalı frenlerde kampananın ısınması ile genişleme olacağından frenleme verimi giderek azalır. Disk ısınmayla beraber pabuçlara doğru açılır ve bu nedenle otomatik ayarlayıcıların işini kolaylaştırır [5].

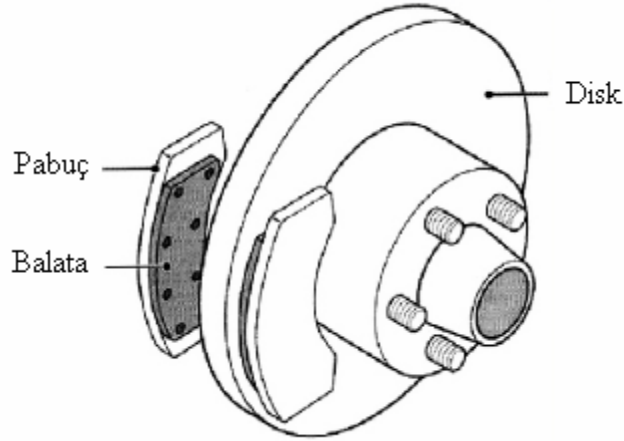
Diskli frenlerin bu avantajlarının yanında dış havaya daha çok maruz kaldıkları için, nem ve dış kirliliklere maruz kalışı dolayısıyla dış etkenlerden korunmalarının zor oluşu şikayet konusudur. Şekil 4.4' de verilen grafiklerde diskli frenlerin daha kararlı sürtünme özellikleri gösterdiği anlaşılmaktadır [5,15].



Şekil 4.4. Diskli frenlerde sürtünme özellikleri [5]

## BÖLÜM 5. OTOMOTİV FREN SİSTEMLERİNDE BALATALAR

TS 555' e göre balata, sürtülmeli frenler için uygulanan fren kuvvetinin taşıtların tekerlekleri ile bağlantılı disk veya kampanalara sürtünme yolu ile aktarılmasını sağlayan eleman olarak tanımlanır. Balata, fren pabuçu ile disk veya kampana arasındaki sürtünme görevini üzerine alır. Balata, pabuca yapıştırma veya perçinleme yöntemlerinden birisi ile tutturularak, pabuca bağlı olarak çalışır [7]. Şekil 5.1' de balata, pabuç ve diskten oluşan fren sistemi görülmektedir.



Şekil 5.1. Disk ve balata malzemesinin şematik görünümü [16]

Otomotiv fren sistemlerinde kullanılan fren balataları sayısız bileşen içerdiklerinden dolayı genellikle en karmaşık kompozit malzemelerden sayılırlar. Fren balata malzemeleri aşınma direnci, yüksek sıcaklıkta sürtünme kararlılığı ve titreşimsiz çalışma gibi bir çok ihtiyacı güvenilir bir şekilde karşılamak için polimerler, seramikler ve metaller gibi çok farklı bileşen kompozisyonlarından üretilirler. Fren balata malzemesinin kompozisyonu kadar, disk-balata sürtünme çifti arasında meydana gelen tribolojik olayların da fren performansı üzerindeki etkileri büyüktür. Uygulanan frenleme yükü ve süresindeki artış ile birlikte, birbirine temas eden yüzeylerde sıcaklık artışı meydana gelir. Fren balata malzemesinin kompozisyonuna bağlı, belirli bir sıcaklık değerinden sonra balata içersinde bulunan reçinenin

bağlayıcı özelliğini yitirmesi durumunda aşınma olayında büyük bir artış meydana gelir. Yüksek sıcaklıklar malzemelerin dayanımını azaltarak farklı aşınma mekanizmalarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Aşınma mekanizmalarının ilerlemesine bağlı olarak yüzeyde mikro boşluklar ve bu mikro boşlukların birleşmesi neticesinde de mikro çatlaklar meydana gelmektedir.

Frenleme esnasında meydana gelen bu olumsuz olayları en aza indirmek için balataların seçilmesi konusunda yapılan bir çok çalışmada zararları dünyaca kabul edilen asbestli balataların yerine, yüksek performansa sahip asbestsiz balata kullanılması uygun görülmüştür [17]. Tablo 5.1' de balata malzemesinden istenen özellikler verilmiştir.

Tablo 5.1. Balata malzemesinden istenilen özellikler [5]

BALATALARDAN İSTENİLEN ÖZELLİKLER
Tüm çalışma koşullarında sabit sürtünme performansı
Sürtünme davranışlarındaki değişimin az olması
Yüksek Sıcaklık direnci
Yüksek ısı iletkenliği
İyi korozyon direnci
Yüksek mekanik mukavemet
Düşük gürültü seviyesi
Hava koşullarından etkilenmeme
Balata malzemesinin sağlığa zararsız olması
Yüksek aşınma mukavemeti

### 5.1. Balata Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Otomotiv fren balata malzemeleri genellikle bir çok farklı bileşenden oluşan tozların sıcak preslenmesi ile ortaya çıkan kompozitlerdir. Frenleme performansı temel olarak balata malzemesinin kompozisyonu ve mikro yapısı tarafından kontrol

edilmektedir [17]. Fren balatalarının yapımında kullanılan maddeler benzer özellik ve kullanım amaçlarına göre genel olarak dört sınıfta incelenirler [5]. Bunlar;

- Yapısal malzemeler ( takviye malzemeleri )
- Dolgu maddeleri
- Bağlayıcı maddeler
- Katkı maddeleri ( sürtünme ayarlayıcı maddeler )

Yapısal malzemeler balatanın mekanik dayanımını arttırmak, dolgu maddeleri maliyeti azaltmak, bağlayıcılar diğer bileşenleri bir arada tutmak ve katkı maddeleri de kararlı sürtünme özellikleri elde etmek için kullanılırlar [17].

### **5.1.1. Yapısal malzemeler ( takviye malzemeleri )**

Takviye malzemeleri olarak bilinen elyaflar, ana yapıyı oluşturmak için bir yandan diğer yana uzanacak şekilde örülmüş veya üst üste bindirilmişlerdir. Temel görevleri balatanın mekanik dayanımını, gücünü ve sağlamlığını arttırmaktır.

#### **5.1.1.1. Asbest**

Elektriğe ve ısıya karşı yalıtkanlığı, diğer yandan ateşe dayanıklılığı, asbestin tüketim alanlarını belirleyen başlıca teknolojik özellikleridir. Bütün bu özelliklerinden dolayı asbest, 3000' den fazla endüstriyel ürünün yapımında kullanılmaktadır. Basınca dayanıklı borular, iç-dış cephe ve tavan kaplama malzemeleri ve levhaları, fren balataları, çeşitli contalar, özel filtreler, kağıt ürünleri asbestin kullanıldığı başlıca ürünlerdir [18].

Asbest, kömür ve demir cevherleri gibi doğal bir mineraldir. İşlendikten sonra ortaya çıkan asbest, elyaf yumağı görünüşündedir. Ateşe karşı dayanıklılığı kadar önemli olan diğer özellikleri gerilme direnci, esnekliği ve bükülebilme özelliğidir. Asbest elyafı kristal yapıya sahip olan magnezyum silikat, kalsiyum-magnezyum silikat ve kompleks sodyum-demir silikat bileşimindeki bir grup mineralin adıdır. Asbestin balatalarda kullanımıyla ilgili faydalı özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Sıcaklık dayanımı 650 °C' ye kadar kararlı olması, 650 °C üzerinde katı silikonlara ayrışması
- Ayrışma ürünleri asbestten daha yüksek sürtünme katsayısına sahip olması
- Düşük ısı iletkenliği
- Yeterli mukavemet
- Esneklik
- Kesmeye dayanıklılık
- Yüksek yüzey alanı
- Makul fiyatlara sahip olması

Asbestin sayılan faydalı özelliklerinin yanında en büyük dezavantajı kanserojen bir bileşik olmasıdır. Vücuda solunum, ağız yada sindirim yoluyla alınabilir. Asbestin solunması, mide, gırtlak ve akciğer kanseri gibi hastalıklara sebep olur. Asbestin insan sağlığına zararlı olması nedeniyle, son yıllarda asbest kullanımı durma noktasına gelmiş ve bu sebeple asbestin özelliklerini karşılayacak alternatif malzeme arayışları hız kazanmıştır [5].

#### **5.1.1.2. Cam elyafı**

Cam elyafı silikat, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve en çok kullanılanıdır. Cam elyafı özel olarak tasarlanmış ve dibinde küçük deliklerin bulunduğu özel bir ocaktan eritilmiş camın itilmesiyle üretilir. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak nakliye edilir. Elyafın işlem sırasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Cam elyafı halen aramid ve karbon elyaflarından daha yüksek dayanıklılık özelliğine sahiptir [19].

Cam elyafının kullanım amacına bağlı olarak elyaf sarma biçimleri farklı olabilir. Elyaf çapı ve demetteki lif sayısı farklılaşabilir. Cam elyafı biçimlendirildikten sonra yıpranmaya dayanımın artması için kimyasallarla bir kaplama işlemi yapılır. Kaplama malzemesi olarak genellikle elyafın kompozit malzemeye uygulanmasından önce kolaylıkla kaldırılabilen ve suyla çözülebilen polimerler kullanılmaktadır.

Elyaf ile reçinenin birbirine iyi yapışması çok önemlidir. İyi yapışmaktan dolayı birbirinden kayan takviye malzemeleri, kompozit malzemenin sertliğini ve sağlamlık performansını düşürür. Bu durumun engellenmesi için elyaf kimyasallarla kaplanır. Şekil 5.2’ de cam elyaf tozu ve Şekil 5.3’ de cam elyafın üretilmesi görülmektedir.



Şekil 5.2. Cam elyaf tozu [20]



Şekil 5.3. Cam elyaf üretimi [21]

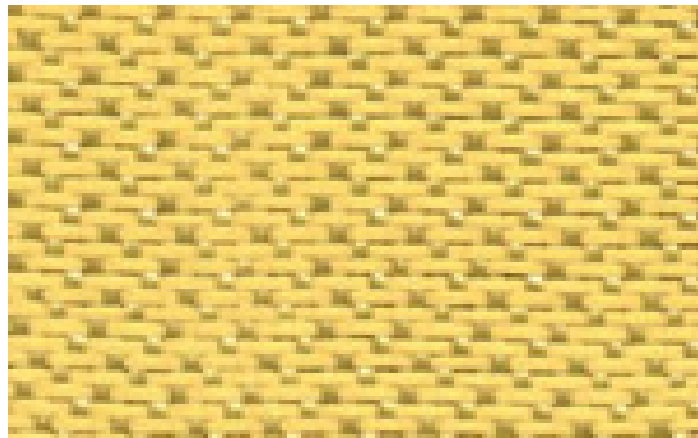


### 5.1.1.3. Aramid ( kevlar )

Aramid kelimesi bir çeşit naylon olan aromatik poliamid maddesinden gelmektedir. Aramid elyafı piyasada daha çok ticari ismi kevlar ( Dupont ) olarak bilinmektedir. Genellikle sarı renge sahiptir. Farklı uygulamaların ihtiyaçlarını karşılamak için birçok farklı özelliklerde aramid elyafı üretilmektedir. Aramid ticari olarak mevcut olan en mukavim ve rijit organik elyaftır. Balatalarda kullanılmasını sağlayan başlıca özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Düşük yoğunluk
- Yüksek dayanıklılık
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma dayanımı
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek kimyasal dayanım
- Cam elyafının kompozitlere göre %35 daha hafif olması

Aramid elyaflar balataların yanı sıra, askeri kasklar, kurşun geçirmez yelekler, eldiven, motosiklet koruma giysileri, avcılık giysi ve aksesuarları, hava araçları gövde parçaları, endüstri ve otomotiv uygulamaları için kemer ve hortum yapımı gibi alanlarda da kullanılmaktadır [19]. Şekil 5.4' de aramid elyafı görülmektedir.



Şekil 5.4. Aramid elyafı [20]

En çok bilinen ve kullanılan aramid elyafı Dupont firmasının tescilli ismi olan Kevlar'dır. Kevlar 29 ve Kevlar 49 olarak iki çeşidi bulunmaktadır. Kevlar 29 üstün darbe dayanımı özelliğine sahiptir ve bu nedenle çoğunlukla kurşun geçirmez yelek yapımı gibi uygulamalarda kullanılırlar [22]. Tablo 5.2' de belli başlı elyaflar karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.2. Belli başlı elyafların karşılaştırılması [19]

Malzeme	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)
S-Cam	2.49	4750
Alüminyum	3.28	1950
Karbon	2.00	2900
Kevlar 29	1.44	2860
Kevlar 49	1.44	3750

#### 5.1.1.4. Çelik yünü

Çelik yünü uygun takviye etme özelliği, iyi ısı ve sürtünme kararlılığı, ekonomik oluşu ve karıştırma esnasında parçalanmaya karşı direnci sayesinde en çok kabul gören alternatif malzemelerden biridir. Korozyon dezavantajına rağmen yumuşak çelik elyaf daha kolay işlenebilir ve ucuz olması nedeniyle tercih edilmektedir. Uzun elyaflar daha iyi takviye sağlarken, kısa elyaflar da kalıplamada kolaylık sağlamaktadır. Uzun elyaflar ticari araçlardaki balata uygulamalarında başarı ile kullanılmaktadır [5]. Bununla birlikte çelik yünü içeren sürtünme malzemesinde kayma hızı arttıkça sürtünme katsayısının düştüğü tespit edilmiştir. Bu durumun en başta gelen sebebi ise çelik yünü etkisiyle artan aşınma oranı ve ara yüzeyde oluşan sürtünme filminin kalınlığının artarak teması kesmesidir [16].

### 5.1.1.5. Taş yünü

Taş yünü daha çok yüksek sıcaklıklarda ısı izolasyonunda kullanılan, 1150 °C üzerindeki sıcaklıklarda erimeye başlayan ve yanmayan bir elyaf türüdür. Taş yünü değişik boydaki elyaflardan oluşmakta ve diğer malzemelerle karıştırıldığında parçalanarak iç yapıya dağılmaktadır [5].

### 5.1.1.6. Mika

Mika potasyum alüminyum silikat bileşenlerinden meydana gelmiştir. Potasyum atomları silikat katları arasında zayıf bağlar kurarlar. Bunun neticesinde kalınlığı 25 mikrondan daha az ince levha yapısı oluşur. Bu levhalar mükemmel elektrik dayanımı, düşük ısı iletimi ve iyi bükülme özellikleri gösterirler. Mükemmel elektriksel özelliklerinden dolayı, toz mika elektrik endüstrisinde termoset reçineler için dolgu maddesi olarak geniş uygulama alanları bulur. Mikanın elektriksel özellikleri, ısı, çatlama ve rutubet dayanımını yükseltir. Mika karıştırıldığı malzemeye üstün boyutsal stabilite verir ve maliyeti düşürür [23].

Mikalar çok geniş alanda kullanılmaktadır. Kullanıldıkları endüstrilere göre sıralama yapılacak olursa, elektrik - elektronik sanayinde telefon santralleri ve dinamo gibi yüksek voltaj üreten aletlerinin yapımında, boya sanayinde emülsiyon ve sentetik boyalar, korozyona karşı kullanılan boyalar, alüminyum boyalar, dahili ve harici boyaların imalinde, plastik endüstrisinde, otomobil, elektrik ve yapı endüstrilerinde kullanılan sert plastiklerin imalinde dolgu maddesi olarak kuvvetlendirici etki yaratmaktadır. Ayrıca otomobilin içine gelen motor sesini önlemek amacıyla otomobil tabanına yerleştirilen malzemelerde de katkı maddesi olmak üzere çok farklı alanlarda az da olsa kullanımı mevcuttur [24].

### 5.1.2. Dolgu maddeleri

Dolgu maddeleri istenen sürtünme özelliklerini bozmadan balatayı geliştirmek, hacim doldurmak ve maliyeti düşürmek amacıyla kullanılırlar. Balatanın mukavemet ve korozyon direncinin artırılması, sürtünme esnasında oluşan ısının homojen olarak

dağılması ve balataların renklendirilmesi dolgu maddelerinin yardımıyla sağlanmaktadır. Dolgu maddesinden istenilen özellikler aşağıda sıralanmıştır [5].

- Takviye edici özelliği olması
- Kalıcı olması, su ve diğer sıvılardan etkilenmemesi
- Kararlı olması, ışık ve ısı etkisiyle çözülmemesi
- Aşınma ve alevlenmeye karşı direnci arttırması
- Maliyeti düşürmesi

### 5.1.2.1. Barit

Kimyasal bileşeni  $BaSO_4$  ve özgül ağırlığı  $4,5 \text{ g / cm}^3$  olan baritin yoğunluğunun yüksek olması, aşındırıcılığının düşük olması, yüksek basınç ve ısıya karşı dayanıklı olması, manyetik özelliğinin olmaması, çeşitli kaynaklardan kolay ve uygun maliyetle elde edilebilmesi bir çok sektörde yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Özellikle petrol endüstrisinde, cam ve boya sanayinde sık olarak kullanılmaktadır.

Kristal bir yapıya sahip olan barit, beyaz, gri veya sarımsı renklerde bulunmaktadır. Kimyasal dayanımı yüksek olan barit sürtünme malzemelerinde de önemli kullanım alanına sahiptir [25].



Şekil 5.5. Barit kristali

#### 4.1.2.2. Talk

Magnezyumlu kayalıklarda beyaz, gri ve donuk yeşil renklerinde bulunan talk, sulu magnezyum silikattır ve çok yumuşak bir mineraldir. Termoset reçine sistemlerinde kullanıldığı zaman elektriksel yalıtkanlığı ve ısı rutubet dayanımı sağlar. Talk dolgu malzemeli sistem mekanik olarak, kolay işlenebilir. Levha ve hamur hazır kalıplama bileşimlerinde dolgu maddesi olarak kullanılabilir [23].

Talk; seramikte, boya yapımında, çatı kaplamasında, haşarat ilacı üretiminde, kauçuk ve kağıt sanayinde, kozmetik ürünlerinde, asfalt dolgu maddesi yapımında, hayvan yemi ve gübre üretiminde kullanılmaktadır [26].



Şekil 5.6. Talk minerali

#### 5.1.2.3. Alçı

Alçı taşı dünyanın varoluşundan bu yana bulunan düşük yoğunlukta bir taştır. İşlendikten sonra çok çeşitli kullanımı olan taş, bugün dünyanın birçok ülkesinde ev ve işyerlerinin duvar ve tavan kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yanmazlığı ve dayanıklılığı ile tanınan alçının, hafiflik, işleme kolaylığı, yüzeye nefes aldırma ve bakteri üretmeme gibi bir çok avantajı bulunmaktadır [27].

Yoğunluğu 1,23 g / cm<sup>3</sup> olan alçı yüksek ısı iletkenliği ve nem dzenleyici özelliği ile yeni geliştirilen sürtünme malzemelerinde % 50' lere varan oranlarda dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır [5].



şekil 5.7. Alçı mineralleri [27]

#### 5.1.2.4. Kil

Tabiatta bol miktarda bulunan minerallerdendir, fakat saf kil bulmak oldukça zordur. Esas maddesi içersinde su bulunan silikattır. İçersinde en çok kalker, silis, mika ve demir oksit bulunur. Sarımtırak, kırmızımtırak ve esmer gibi renklerde bulunur. Bu özelliğini bileşiminde bulunan yanıcı maddeler verir. Kilin yapısı itibariyle su çekme özelliği vardır ve bu yüzden kil daima nemlidir. Genellikle 0,002 mm' den daha küçük tanelidir. Kili meydana getiren sulu SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olarak isimlendirilen maddeler, tabakalar meydana getirerek birleşirler ve kil minerallerini meydana getirirler [5,28].

Kilin plastisite özelliğinden dolayı, ezilmiş kile uygun miktarda su katıldığı zaman işlenebilme ve şekillendirme özelliği kolaylaşır. Kil, su ile yoğrulup şekillendirildikten sonra kurumaya terk edilirse şekillendirme esnasında verilmiş olan ölçüleri küçülür [28].

### 5.1.2.5. Diatomit ( kieselguhr )

Diatomik fosil kalıntılarda bulunan silikattır. % 70-90 sulu silikat, geri kalanı katışık maddelerdir. Diatomit ürünleri sanayide birçok işlemlerde ara ve yardımcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Genellikle filtre ve yardımcı malzemesi, izolasyon malzemesi, aşındırıcı ve yüzey temizleyici olarak kullanılmaktadır.

Diatomitin hemen hemen rakipsiz olduğu kullanım alanı, süspansiyon halindeki katı tanecikleri sıvılardan ayırmak amacıyla uygulanan filtrasyon işlemleridir. Diatomit ürünlerinin ikinci büyük kullanım alanı fonksiyonel dolgu işlemleridir. Burada kullanılan dolgu malzemesi nihai mamulün özelliklerini geliştirerek performansını artırmaktadır. Bu amaç için diatomitin hafiflik, dayanıklılık, ısı-ses-elektrik izolasyon kabiliyeti, yüksek gözeneklilik ve emicilik özelliklerinden yararlanılmaktadır. Diatomitin fonksiyonel dolgu işlemi için kullanıldığı en önemli uygulamalar boya, plastik, lastik, kağıt, ilaç, kozmetik, cila, kibrit, diş macunu ve kimya sanayidir [29].

### 5.1.3. Bağlayıcı maddeler

Bağlayıcılar balata bileşenlerini kullanım öncesinde ve kullanım sırasında bir arada tutan yapıştırıcılardır. Genellikle polimer esaslı termoset fenolik reçineler balata içersinde bağlayıcı olarak kullanılırken, sönümlenme özelliğini arttırmak için doğal veya sentetik kauçuk da reçinelere ilave edilebilir [5].

Frenleme esnasında oluşan çok yüksek sıcaklıklar polimerlerin yapısını bozarak kimyasal bağların yanmasına ve bağlayıcılık özelliğini yitirmesine neden olur ve balata-disk ara yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvvetlerinde büyük bir düşüş meydana gelir. Termoset fenolik reçinelerin en büyük özelliği sıcaklıkla sertleşmeleridir. Her reçine farklı bir sıcaklık aralığında bağlayıcılık özelliği kazanır. Bu olaya polimerizasyon adı verilmektedir. Polimerizasyon tamamlandıktan sonra reçinenin sertleşmesine kürleşme denir. Kürleşme termoset bir reçinenin özelliklerinin geri dönülmez bir şekilde kimyasal bir reaksiyonla değişmesidir. Bu işlemin sonucunda reçine sürekli bir yapı kafesine sahip olacağı için moleküller

arasında kayma olmaz ve reçine yüksek sıcaklıklarda bile yapısı bozulmayacak şekilde kullanışlı hale gelir. Termoset reçinelerin içersinde % 40 fenol, % 22 formaldehit, % 4 kresol, % 34 su, çözücü ve diğer dolgu maddeleri bulunmaktadır [5, 16].

#### **5.1.4. Katkı maddeleri ( sürtünme ayarlayıcı maddeler )**

Katkı maddeleri, kararlı sürtünme özellikleri elde etmek ve hem disk hem de balatalarda aşınma kontrolünü sağlamak için kullanılır. Bu maddeleri yağlayıcılar ve abrasifler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Yağlayıcı özelliğe sahip en önemli katkı maddesi grafit olmakla beraber, zirkonyum silikat, potasyum titanat, pirinç ve sürtünme tozu gibi katkı maddeleri de abrasifler olarak karşımıza çıkmaktadır [17].

##### **5.1.4.1. Grafit**

Doğal grafit tek başına veya diğer bazı malzemelerle karıştırılıp, şekillendirilerek, sayılamayacak kadar çok geniş alanlarda kullanılmaktadır. Kayganlığı, yumuşaklığı ve makine parçaları üzerinde uzun müddet yapışabilmesi özelliği nedeni ile, makine yataklarında yağlama maddesi olarak kullanılabilir. Sürtünme malzemelerinde öncelikle sürtünme katsayısını yüksek sıcaklıklarda kararlı tutmak ve balata-disk aşınmasını kontrol etmek için kullanılır [17, 30].

Grafit, iki boyutlu halkalar şeklinde dizilmiş karbon atomu tabakalarından oluşan parlak ve yumuşak bir malzemedir. Grafit pulcukları mükemmel uzama özelliğine sahiptirler ve bu özelliği sayesinde yüzeylerde küçük kontak noktaları oluşturarak, yüzeylerde yırtılmanın azalmasını sağlamakta ve sürtünmenin azalmasında büyük rol oynamaktadır. Bununla birlikte gürültüyü azaltma ve vibrasyonu sönümleme gibi faydaları bulunmaktadır. [5, 16].

##### **5.1.4.2. Zirkonyum silikat**

Abrasif olarak kullanılan zirkonyum silikat sürtünme torku üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek oranlarda kullanılması durumunda yüksek bir sürtünme



katsayısı sağlamasına karşın tork kararsızlığını arttırdığı gözlenmiştir. Tork değerinin büyük değişiklikler göstermesi ise ara yüzeyde oluşan sürtünme tabakasının kalkmasına sebep olur ve bu durum aşınmayı arttırdığı için istenmemektedir [16].

#### **5.1.4.3. Potasyum titanat**

Potasyum titanat liflerinin direkt olarak sürtünme ve aşınma davranışlarını iyileştirdiği yapılan araştırmalarda görülmüştür. Özellikle yüksek sıcaklıklarda aşınmanın % 40 ve sürtünmenin % 30 oranında azaldığı görülmüştür. Termal dayanımının yanında bağlayıcı reçine ile uyumlu olması dikkat çekmektedir [16].

#### **5.1.4.4. Pirinç**

Balatalarda abrasif olarak yer alan pirincin içersindeki çinko, sürtünme esnasında balata yüzeyinden diske transfer olur. Bu sebeple frenleme sonrasında balata yüzeyi ve sürtünme tabakası içersinde yer almaz. Disk yüzeyi incelendiğinde çinko ve oksijenin homojen bir şekilde dağılmış olduğu görülür. Pirincin abrasif olarak görev yapmasının yanı sıra, yüksek sıcaklıklarda oluşan çinko oksit sebebiyle pirinç, katı yağlayıcılık özelliği de kazanır [16].

#### **5.1.4.5. Sürtünme tozu**

Sürtünme tozu organik esaslı bir malzemedir ve genellikle yüksek sıcaklıklarda sürtünme dayanımını ve aşınmayı iyileştirmek için kullanılır. Bağlayıcı sistemin elastikiyetini arttırarak kesikli sürtünmeye yardımcı olur ve buna bağlı olarak oluşan gürültü ve vibrasyonu azaltır [16].

## **BÖLÜM 6. TASARIM VE İMALAT**

### **6.1. Tasarım**

Bu çalışmada çeşitli fren balatalarının sürtünme ve aşınma davranışlarının incelenebileceği bir aşınma deney cihazının tasarlanması ve imal edilmesi amaçlanmıştır.

Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Laboratuvarında bulunan pim-disk deney düzeneğinde aşındırılacak numunelerin genellikle pim şeklinde olması ve bunun aksine piyasada bulunan balataların şekillerinin genellikle kare olması ve bu balatalardan küçük numunelerin alınmasının zor olması ve aşındırıcı olarak kullanılan disk çapının belli limitleri aşması durumunda diskin salgı yapması gibi pim-disk cihazının olumsuz yönleri düşünüldüğünde, bu deney düzeneğinin fren balatalarının aşınma ve sürtünme davranışlarının incelenmesinde yeterli olmayacağına karar verilmiştir.

İmal edilecek olan yeni deney düzeneğinde temel hedef fren balatalarının aşınma ve sürtünme davranışlarının incelenmesi olduğu için, imalat aşamasında aşındırıcı disk için günümüz taşıtlarında kullanılan fren diskinin kullanılmasına, yine tek taraflı yük uygulaması yerine diskin her iki tarafından da yük uygulanabilmesi için çift taraflı baskı sağlayan bir fren kaliperinin kullanılmasına karar verilmiştir. İstenilen yükü uygulamak için ise hidrolik basıncından yararlanabileceğimiz tek pistonlu bir fren merkez pompasının kullanılmasına karar verilmiştir.

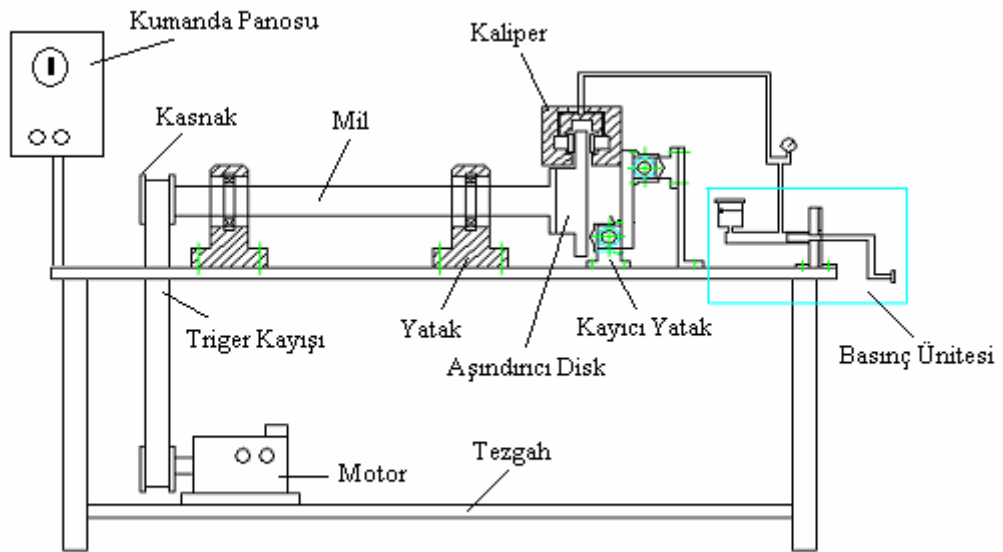
### **6.2. İmalat**

İmalat aşamasında ilk olarak deney cihazını oluşturan parçaları üzerinde taşıyacak olan bir sehpa hazırlandı. Kullanılacak parçaların tezgah üzerinde kaplayacakları yer

düşünülerek bu sehpa, 80 cm x 100 cm ölçülerinde yapıldı ve sehpanın yerden yüksekliği kullanımı kolaylaştırmak için 75 cm olarak ayarlandı. Şekil 6.1 ve şekil 6.2' de imalatı yapılan aşınma test cihazının resimleri görülmektedir.



Şekil 6.1. Aşınma test cihazı



Şekil 6.2. Aşınma test cihazının şematik görünümü

Hazırlanan sehpanın üzerine cihazın yapımında kullanılacak olan parçaların ağırlıkları düşünülerek sehpa ile aynı ölçülerde ve 10 mm kalınlığında bir sac plaka kesildi. Bu plakanın üzerine motordan gelen kayışın geçebilmesi için ve aşındırıcı diskin güvenli bir şekilde dönebilmesi için uygun ölçülerde iki adet kanal açıldı.

Aşındırıcı fren diskini güvenli ve salgsız bir şekilde döndürebilmek için 50 mm çapında bir transmisyon mili seçildi ve milin bir ucuna kasnak takılabilmesi için kama kanalı açıldı. Milin diğer ucuna ise aşındırıcı fren diskini bağlanabilmesi için bir flanş bağlandı ve aşındırıcı disk, flanşa dört adet cıvata ile bağlanarak gerekli görüldüğü durumlarda diskin değiştirilebilmesine olanak sağlandı. Şekil 6.3' de deneylerde kullanılan aşındırıcı disk görülmektedir.



Şekil 6.3. Aşındırıcı disk

Deney düzeneğinde fren diskini döndürülebilmesi için 5,5 kW gücünde 2880 d / d ve 18,24 Nm moment üretebilen bir elektrik motoru seçilmiştir. Elektrik motoru tezgahın alt kısmına cıvatalar aracılığıyla bağlanmıştır. Elektrik motorunun dairesel hareketi kayış kasnak kullanılarak fren diskini döndürecek olan mile aktarılmıştır. Kayışın gerginliğinin ayarlanabilmesi için elektrik motorunun bağlandığı noktalara kanal delikler açılmış ve motorun bu delikler üzerinde kaydırılması suretiyle kayışın gerginliğinin ayarlanabilmesi sağlanmıştır. Deney yapılması sırasında yük altında kayış-kasnak mekanizmasının kaçırması için triger kayışı olarak bilinen dişli kayışların ve dişli kasnakların kullanılması uygun görülmüştür (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Elektrik motoru-triger kayışı ve kasnağı

Elektrik motorunun devrinin fren diskinin devriyle aynı olması için, aynı ölçüde kasnaklar kullanılmış ve motorun devrini ayarlamak için hazırlanmış olan kumanda panosuna elektronik bir devir ayarlayıcı (inverter) tezgah üzerine monte edilmiştir. Şekil 6.5' de deney cihazı kumanda panosu ve şekil 6.6' da elektronik devir ayarlayıcı (inverter) görülmektedir.

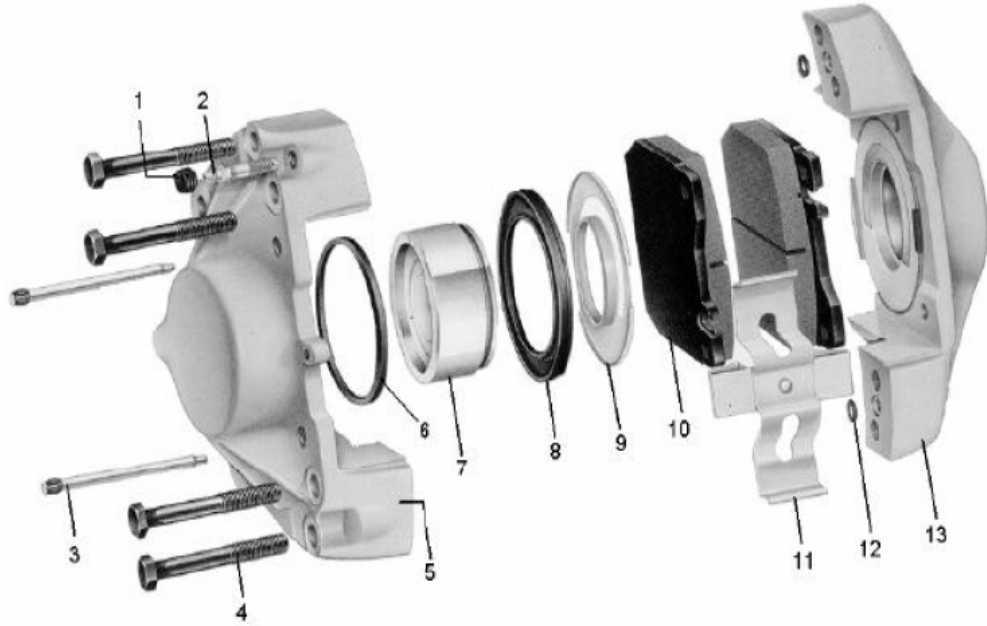


Şekil 6.5. Kumanda panosu



Şekil 6.6. Elektronik devir ayarlayıcı (inverter)

Aşındırıcı diski döndürecek olan transmisyon mili iki adet yatak kullanılarak tezgaha monte edilmiştir. Balataların dönen diske sürtünebilmesi için çift pistonlu bir fren kaliperi kullanılmıştır. Şekil 6.7' de aşınma cihazında kullanılan fren kaliperi ve tüm parçaları açılmış şekilde görülmektedir.



- |                                      |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Toz tapası                        | 7. Piston                     |
| 2. Hava alma tapası                  | 8. Kir lastiği                |
| 3. Fren pabucu sabitleme kupilyası   | 9. Koruma                     |
| 4. Yataklama bağlantı civatası       | 10. Fren pabucu               |
| 5. İç taraf yataklama bağlantı zarfı | 11. Pabuç tutucu yayı         |
| 6. Sızdırmazlık contası              | 12. Sızdırmazlık elemanı      |
|                                      | 13. Dış taraf yataklama zarfı |

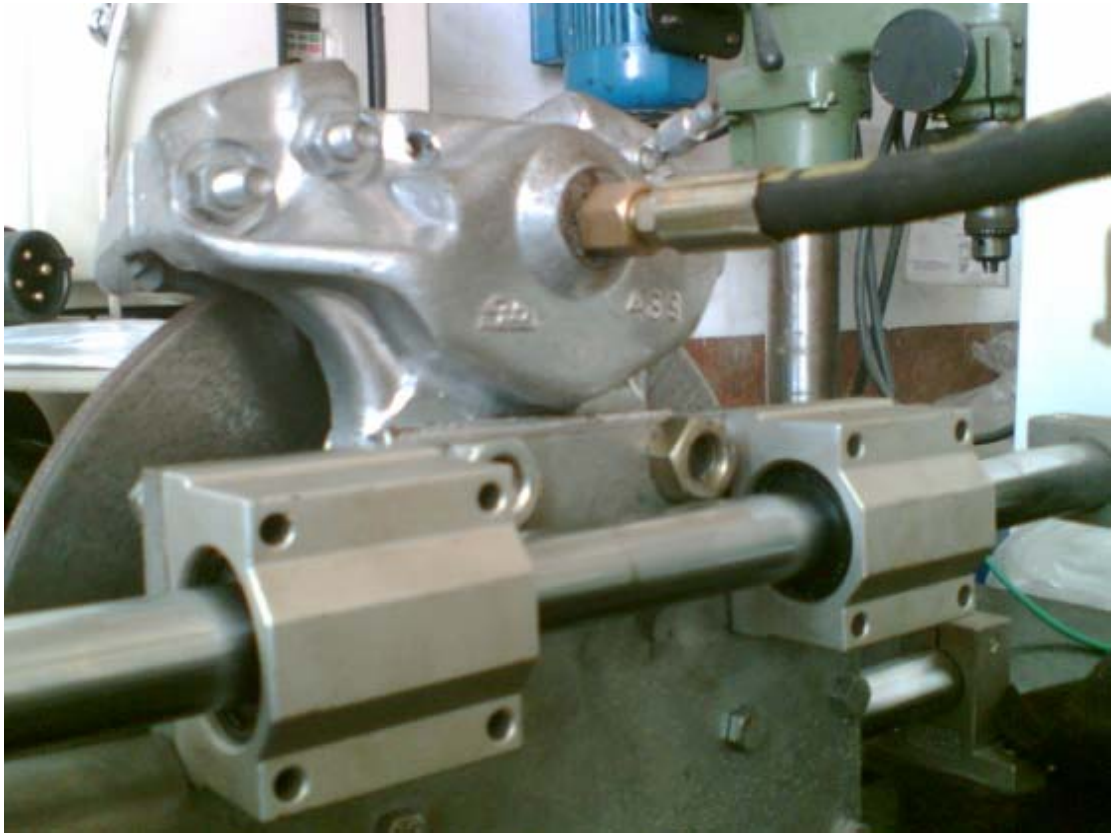
Şekil 6.7. Fren kaliperi ve parçaları

Fren kaliperinin içersinde balataların bağlandığı elemanlara pabuç adı verilmektedir. Şekil 6.7' de fren kaliperi içersinde bulunan pabuçlar, üzerindeki balatalar ile birlikte görülmektedir. Deneylerde kullanılacak olan çeşitli tiplerdeki balatalardan alınan numuneler 15x15 mm ebatlarında hazırlanmıştır ve numunelerin pabuçlara bağlanabilmeleri için, pabuçların üzerine balatalar tatlı sıkı girecek şekilde yuvalar açılmıştır. Şekil 6.8' de balata yuvaları görülmektedir.



Şekil 6.8. Balata yuvaları

Fren kaliperi diskin dönme yönünde hareket edebilecek şekilde dört adet kayıcı rulman ile tezgah üzerine bağlanmıştır. Şekil 6.9’ da kayıcı yataklar ile fren kaliperinin bağlantısı görülmektedir.



Şekil 6.9. Fren kaliperi ve kayıcı yataklar

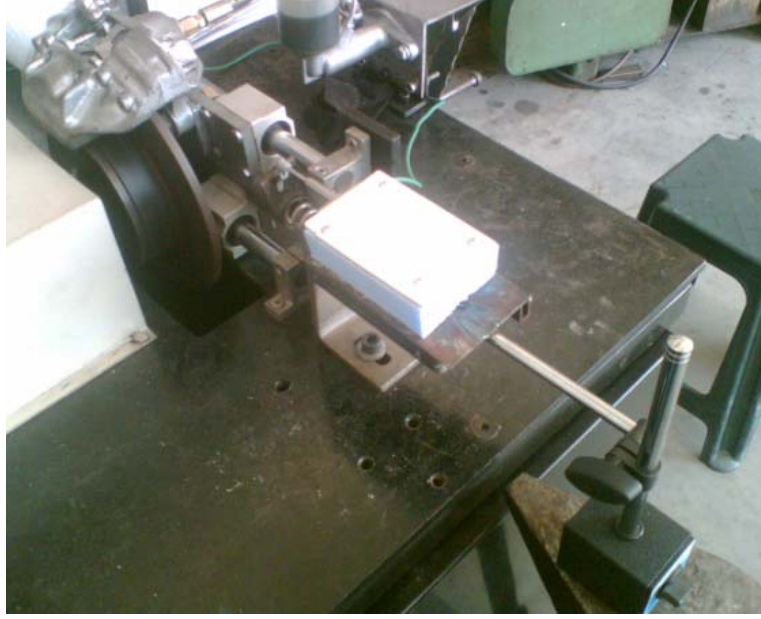


Fren kaliperi hareket edeceği yönde bir helisel yay ile temas halindedir. Diskin dönmesiyle birlikte fren kaliperi de diskle beraber hareket etmek isteyeceği için kayıcı yataklar bu hareketi çok rahat bir şekilde sağlayacak ve kaliper, yaya belli bir kuvvet uygulayacaktır. Yaya uygulanan bu kuvveti algılayıp bilgisayara aktarmak için  $10^{-6}$  mm hassasiyetinde Solartron marka ölçü cihazı kullanılmıştır. Bu ölçü cihazı yaya uygulanan kuvveti mesafe olarak bilgisayara aktarmaktadır. Ölçü cihazının tezgah üzerinde meydana gelebilecek titreşimlerden etkilenmesini önlemek için bir komperatör ayağı kullanılmıştır. Ölçü cihazı, komperatör ayağına kaynakla tespit edilerek tezgaha dokunmayacak şekilde sabitlenmiştir. Şekil 6.10' da ölçü cihazının basma yayına teması ve şekil 6.11' de ölçü cihazının komperatör ayağı vasıtasıyla tezgahın dışına sabitlenmesi görülmektedir.



Şekil 6.10. Ölçü cihazı ve basma yayı





Şekil 6.11. Ölçü cihazının komperatör ayağı ile tespit edilmesi

Fren kaliperi içerisinde bulunan pistonlara hidrolik basıncının sağlanması için tek pistonlu bir fren merkez pompası kullanılmıştır. Pompanın hidrolik çıkışı, bir rekor vasıtasıyla çift çıkışlı hale getirilmiştir. Çıkışlardan bir tanesine boru bağlanarak fren kaliperi ile bağlantı sağlanmış, diğer çıkışa ise manometre takılarak uygulanacak basınç değerinin ölçülmesi sağlanmıştır. Fren merkez pompasındaki pistonu hareket verebilmek için pistonun arka kısmına ince dişli bir vida ile kol tertibatı yapılmıştır. Kolu çevirmek suretiyle piston önündeki hidroliği sıkıştırarak balataların diske basmasını sağlamış ve bu basınç değeri de manometreden okunmuştur. Şekil 6.12' de fren merkez pompası ve manometreden oluşan basınç ünitesi görülmektedir.



Şekil 6.12. Fren merkez pompası - manometre ve basınç ünitesi

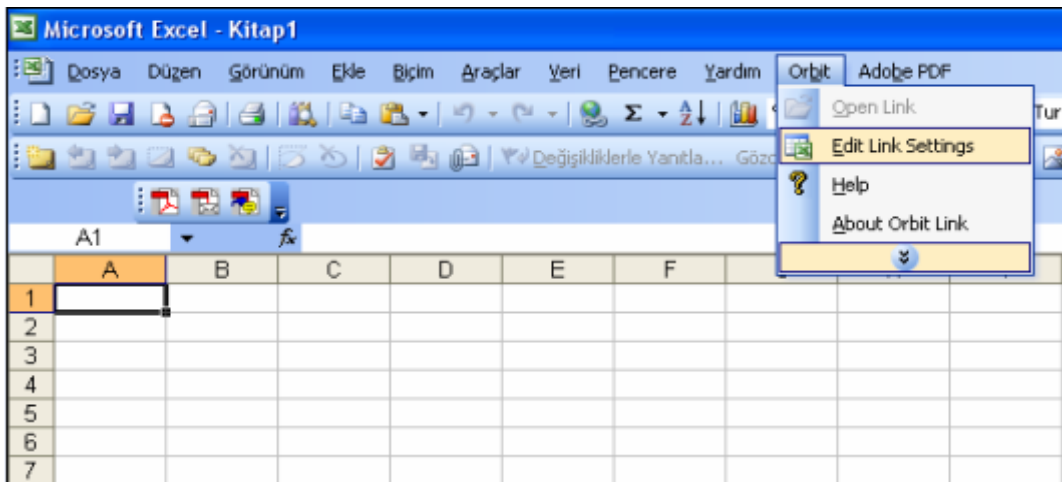
Son olarak tezgahın alt kısmına gerekli malzemelerin konulabilmesi için bir raf yapılmış ve tezgahın etrafı kapatılarak dolap haline getirilmiştir.

### 6.3. Deneyler İçin İşlem Basamakları

Aşınma test cihazında deney yapacak olan kişiye kolaylık sağlamak amacıyla izlenecek yol aşağıda açıklanmaktadır ;

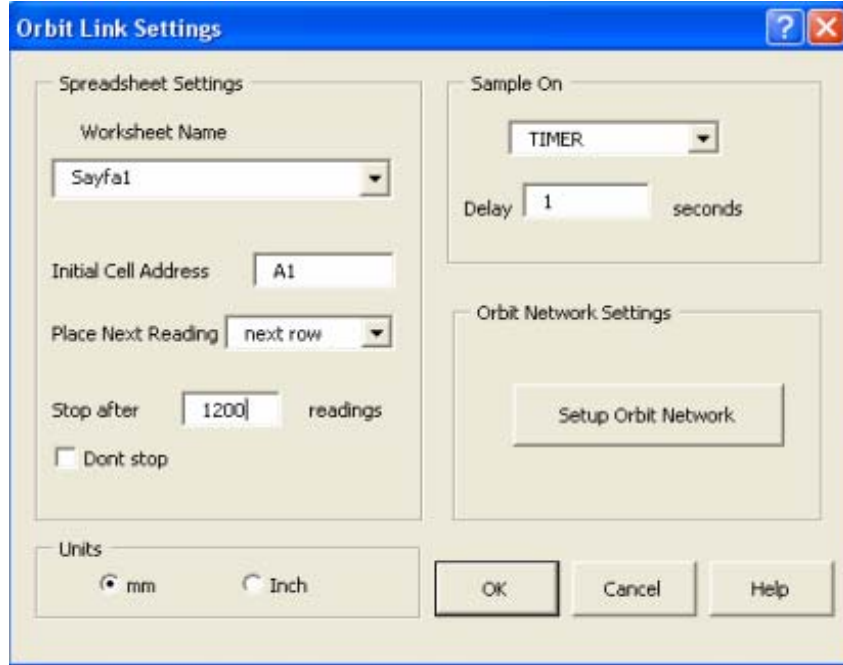
- Deneye tabi tutulacak olan balata numunelerinin ağırlıklarının hassas terazi ile ölçülüp kaydedilmesi
- Numunelerin balata yuvalarına yerleştirilmesi ve balata yuvalarının fren kaliperine takılması
- Sıcaklık ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçü aletinin kaliper üzerine bağlanması
- Yayın basmasını ölçecek cihazın deney için hazırlanması ve kalibrasyonu

Deney sırasında yayın basma mesafesini ölçen cihaz, elde ettiği verileri Excel programına aktarmaktadır ve Excel, ölçü cihazını Orbit adıyla tanımaktadır. Orbit üzerine tıklanarak Edit Link Settings seçeneğine gidilir (Şekil 6.13).



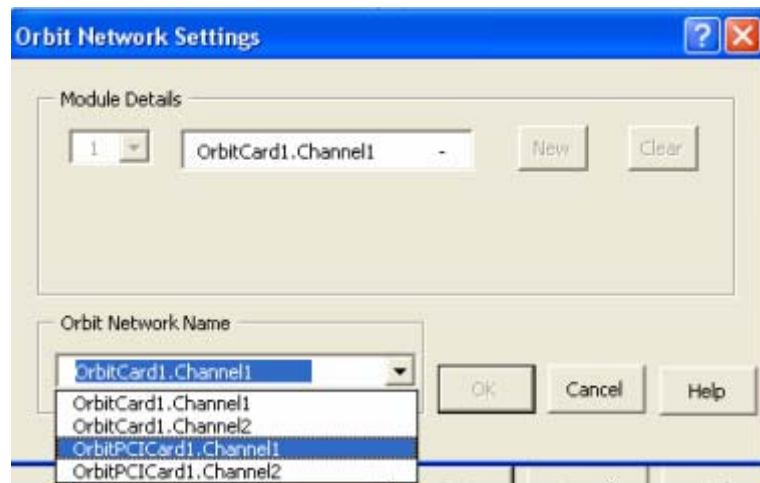
Şekil 6.13. Ölçü cihazının excelde tanıtılması

Ekrana gelen tablodan ölçü cihazının kaç tane veri okuyacağı, ne kadar zamanda bir veri okuyacağı ve okuyacağı veriyi nereye yazacağı belirlenir ve Setup Orbit Network seçeneğine gidilir (Şekil 6.14).

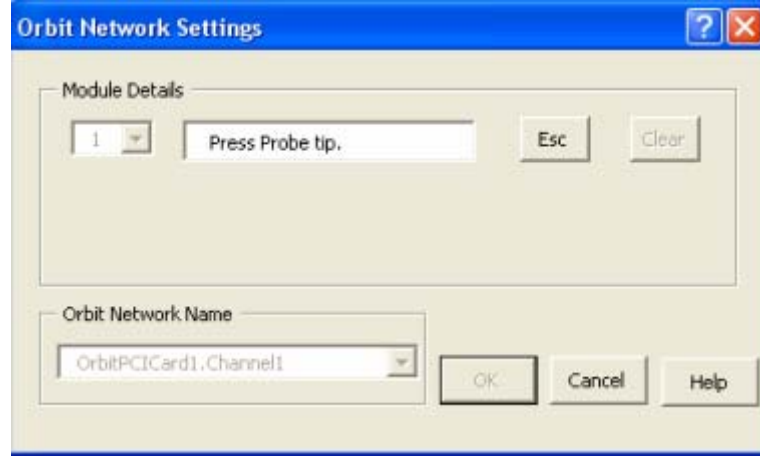


Şekil 6.14. Ölçü cihazının ayarlarının yapılması

Ekrana gelen tablodan ölçü cihazının bağlı olduğu kanal seçilerek ölçü cihazının ucuna dokunulur ve bilgisayarın ölçü cihazını algılaması sağlanır (Şekil 6.15).

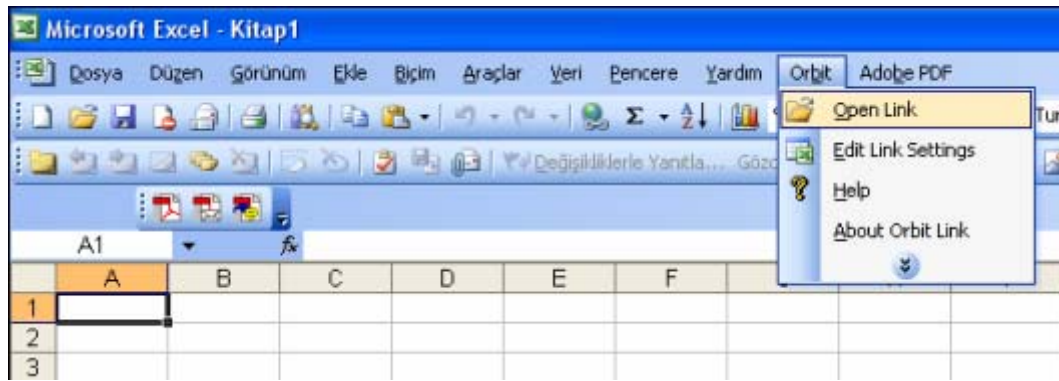


Şekil 6.15. Cihazın bağlı olduğu kanalın seçilmesi



Şekil 6.16. Bilgisayarın cihazı algılaması

Daha sonra tekrar Orbit seçeneğine gidilir ve Open Link seçeneği seçilir (Şekil 6.17).



Şekil 6.17. Deney verileri için link açılması

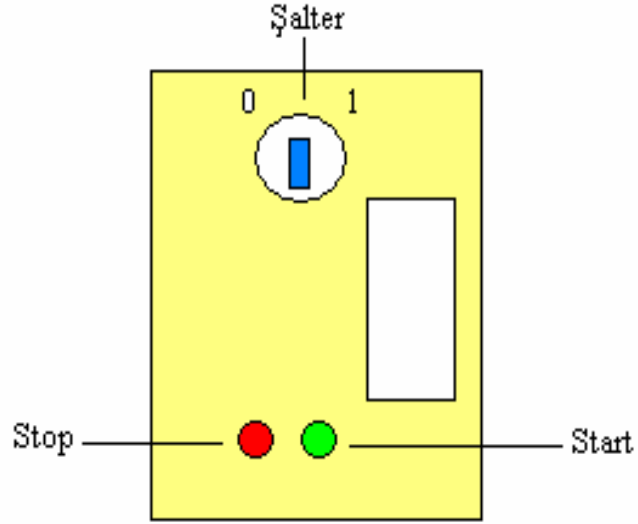
Ekrana gelen tablodan Zero seçilerek ölçü cihazı sıfırlanır ve ekrana Readings Zeroed seçeneği gelir (Şekil 6.18).



Şekil 6.18. Kalibrasyon işleminin tamamlanması

Readings Zeroed seçeneği tıklandığında ölçü cihazının o anki konumu sıfırlanmış olur ve ölçü cihazı ilk veriyi sıfır olarak ekrana yansıtır.

- Kumanda panosundan şalter açılarak start tuşuna basılması ve devir ayarlayıcının (inverter) çalıştırılması



Şekil 6.19. Kumanda panosunun şematik görünümü

- Çalışılacak devrin, frekans-devir tablosundan seçilmesi

Tablo 6.1. Frekans ve devir tablosu

FREKANS	DEVİR	FREKANS	DEVİR
5	300	18	1080
6	360	19	1140
7	420	20	1200
8	480	21	1260
9	540	22	1320
10	600	23	1380
11	660	24	1440
12	720	25	1500
13	780	26	1560
14	840	27	1620
15	900	28	1680
16	960	29	1740
17	1020	30	1800

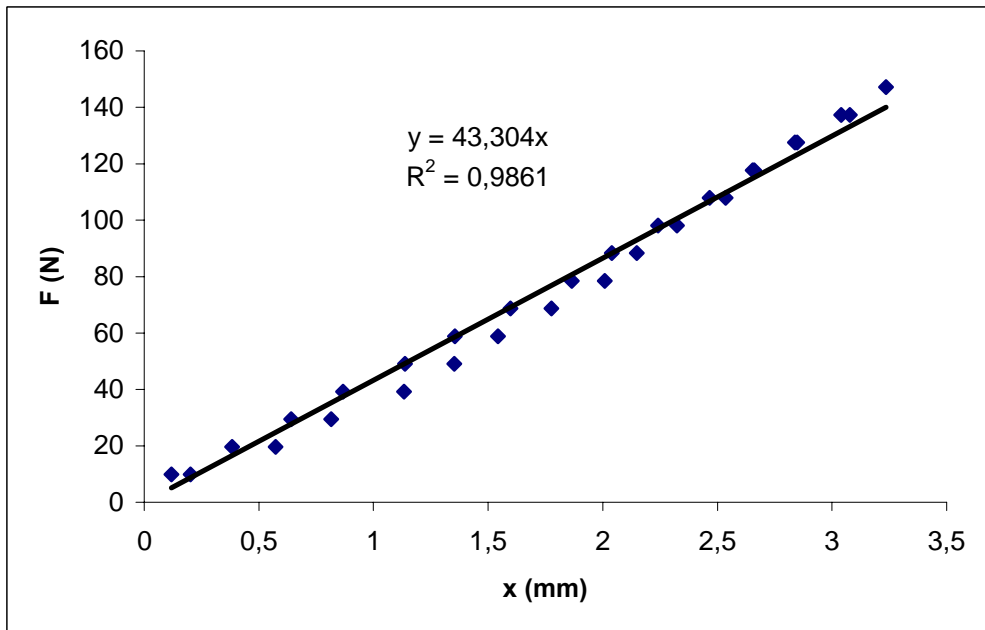
- Devir ayarlayıcı (inverter) üzerindeki RUN tuşuna basılarak diskin döndürülmesi
- Uygulanacak basınç değerinin basınç kolu vasıtasıyla manometreden okunarak ayarlanması
- Deney sırasında elde edilen sıcaklıkların kaydedilmesi
- Deney tamamlandıktan sonra stop tuşundan diskin durdurulması ve şalter kapatılarak elektriğin kesilmesi
- Balata numunelerin yerlerinden çıkarılarak son ağırlıklarının tartılması ve aşınma miktarlarının bulunması
- Bilgisayara aktarılan verilerin kaydedilmesi ve sürtünme kuvvetleri ve katsayılarının Formül 7.3 ve 7.4 yardımıyla hesaplanması

## BÖLÜM 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneye tabi tutulacak balataların aşınma ve sürtünme katsayısı gibi bir takım özelliklerini belirlemek amacıyla tasarımı ve imalatı yapılan aşınma test cihazında aşınma miktarı, sıcaklık, sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı gibi gerekli ölçümlerin yapılabilmesi için deney düzeneğinde bir takım aparatlar ve ölçü aletleri kullanılmıştır.

### 7.1. Helisel Yay ve Solartron Ölçü Aleti

Bölüm 6.2' de de açıklandığı gibi aşınma esnasında balataların bağlandığı fren kaliperi, diskin dönme yönüne doğru hareket etmek isteyecektir. Fren kaliperinin bu hareketini sınırlamak için bir helisel yay kullanılmıştır ve yayın yer değiştirme miktarını belirlemek amacıyla bilgisayara  $10^{-6}$  mm hassasiyetinde veri girebilen bir ölçü aleti kullanılmıştır. Yayın basılması ve salınması durumunda bir yer değiştirme olacağından ve bu yer değiştirme miktarını algılayacak olan ölçü aleti, algıladığı mesafeyi bilgisayara milimetre olarak aktaracağından sürtünme kuvvetinin hesaplanabilmesi için helisel yayın "k" yay sabitinin bulunması gerekmektedir.



Şekil 7.1. Yaya uygulanan kuvvetlere bağlı olarak "k" yay sabitinin bulunması

Helisel yayın “k” yay sabitini bulmak için yay üzerine 1-15 kg ve 15-1 kg aralıklarında ve ağırlıklar 1'er kg artırılarak ve azaltılarak uygulanan yükler neticesinde elde edilen uzama değerleri ile Kuvvet-Uzama Grafiği elde edilmiştir ve bu grafik şekil 7.1' de görülmektedir. Elde edilen grafiğin eğiminden “k” yay sabiti

$$k = 43,304 \text{ N/mm}$$

olarak bulunmuştur. Farklı yüzey basınçlarında bilgisayar ekranından okunan değerler ve fren merkez silindiri ve pistonu tarafından balatalara uygulanan kuvvet dikkate alınarak sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı aşağıdaki formüller ile bulunacaktır.

$$Pb = \frac{Ph \times Ap}{Ab} \quad (7.1)$$

$Pb$  : Balataya uygulanan basınç ( $\text{kg} / \text{cm}^2$ )

$Ph$  : Manometreden okunan değer ( $\text{kg} / \text{cm}^2$ )

$Ap$  : Merkez silindiri pistonunun yüzey alanı ( $\text{cm}^2$ )

$Ab$  : Balatanın yüzey alanı ( $\text{cm}^2$ )

Formül ( 7.1)' de balatanın yüzey alanı  $Ab = 1,5 \times 1,5 = 2,25 \text{ cm}^2$  ve merkez silindiri pistonu yüzey alanı  $Ap = \pi \times d^2 / 4 = 3,14 \times 4,5^2 / 4 = 15,89 \text{ cm}^2$  olarak yerlerine konulursa;

$$Pb = 7,06 \times Ph \text{ olarak bulunur.} \quad (7.2)$$

Diskli frenlerde yay sabiti ile yayın yer değiştirme miktarının çarpımının ikiye bölünmesi balata başına düşen sürtünme kuvvetini vereceğinden;

$$Fs = k * x / 2 \quad (7.3)$$

$$\mu = Fs / Pb \quad (7.4)$$



$F_s$  : Sürtünme kuvveti ( N )

$k$  : Yay sabiti ( N / mm )

$x$  : Yayın uygulanan kuvvet sonucundaki yer değiştirme ( mm )

$\mu$  : Sürtünme katsayısı

## 7.2. Hassas Terazi

Aşınma deneyleri kütle esasına göre yapılmıştır. Kütle kaybını ölçmek için  $10^{-3}$  gram hassasiyetinde bir terazi kullanılmıştır. Her ölçüm öncesinde terazinin kalibrasyonu yapılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Kütle kaybı fark değer olarak belirlenmiştir ve balata yüzey alanına bölünerek birim alana düşen aşınma miktarı hesaplanmıştır.

$$W = \frac{G_i - G_s}{AB} \quad (7.5)$$

$W$  : Birim alana düşen aşınma miktarı

$G_i$  : Deneyden önceki balata ağırlığı

$G_s$  : Deneyden sonraki balata ağırlığı

$AB$  : Balata yüzey alanı

## 7.3. Sıcaklık Ölçü Aleti

Deneyler sırasında oluşan sürtünme neticesinde hem fren diski hem de balatalar ısınmaktadır. Sıcaklık artışının aşınma ve sürtünme kuvveti üzerindeki etkisini incelemek amacıyla sıcaklıkları ölçmek için Elimko marka dijital göstergeli bir cihaz kullanılmıştır. Sıcaklıklar manuel olarak kaydedilmiştir.



Şekil 7.2. Sıcaklık ölçü aleti

#### 7.4. Deneyler

Deneylerde otomotiv sanayinde kullanılan fren balatalarından alınan üç adet numunenin sürtünme ve aşınma özellikleri için yapılan testler aşağıdaki işlem sırasına göre gerçekleştirilmiştir.

1. Deneyler Ağustos ayında yapılmış ve tüm deneyler için başlangıç sıcaklığı 40 °C olarak alınmıştır.
2. Deneye başlamadan önce her numune hassas terazide tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir.
3. Tüm numuneler 1400 kPa basınç altında 11304 m yol alacak şekilde devamlı sürtünmeye tabi tutulmuştur ve sürtünme neticesinde meydana gelen sıcaklık değişimleri sıcaklık ölçü aletinden okunarak kaydedilmiştir.
4. 1400 kPa basınç altında yapılan deneyler sonunda numuneler tekrar hassas terazi ile tartılarak kütle kayıpları bulunmuştur.
5. Daha sonra 1400 kPa basınç altında yapılan tüm işlemler 2800 kPa basınç altında gerçekleştirilmiştir.
6. Tüm deneyler sonucunda elde edilen verilerin aritmetik ortalamaları hesaplanarak, uygulanan basınçlar altındaki sürtünme kuvvetleri ve sürtünme katsayıları bulunmuş ve sürtünme katsayılarının sıcaklıkla değişimi belirlenmiştir.
7. Numunelerin aşınma miktarlarını ölçmede kütleli fark yolu seçilmiştir. Deneyler sonunda tüm numuneler hassas terazide tartılarak kütle kayıpları bulunmuştur. Kütle kayıplarının sürtünme yüzey alanına bölümleriyle birim alana düşen aşınma miktarları bulunmuştur.

#### 7.5. Deney Sonuçları

Deneyler için piyasadan temin edilen balataların üretiminde temel olarak kullanılan malzeme asbesttir. Balataların temin edildiği firma olan Erka Balata ile yapılan görüşmeler sonunda, balataların üretiminde asbestin yanında sürtünme tozu, is karası, barit, grafit, demir oksit, alüminyum oksit, kurşun oksit, magnezyum oksit ve bu malzemelerin birbirine tutunmalarını sağlamak için de reçine kullanıldığı öğrenilmiştir. Balataların üretiminde kullanılan bu malzemelerin hangi oranda

karıştırıldıkları, balataları üreten firma tarafından gizlendikleri için hangi oranda katıldıkları konusunda bir bilgiye ulaşamamıştır. Bu sebeple deneylerde kullanılan balata numuneleri, kullanıldıkları araçlara göre sınıflandırılmıştır.

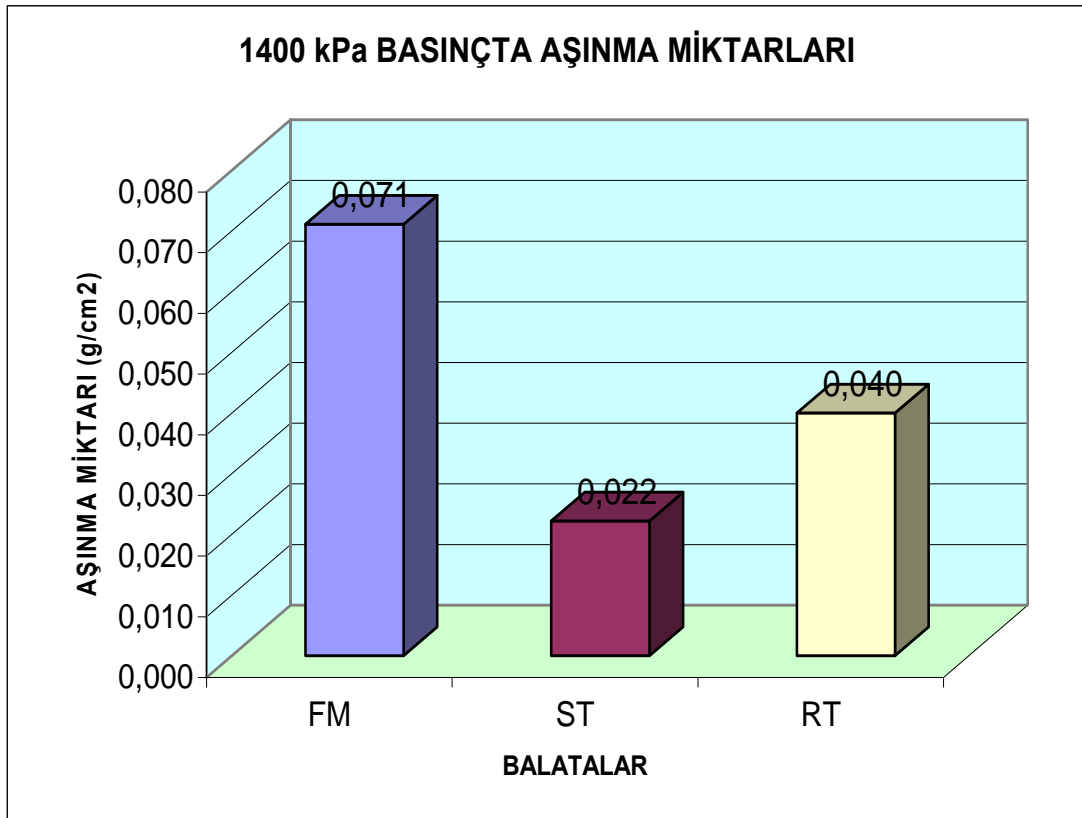
FM : Ford ve Mercedes marka araçlarda kullanılan fren balatası

ST : Sanayi tipi iş makinelerinde kullanılan fren balatası

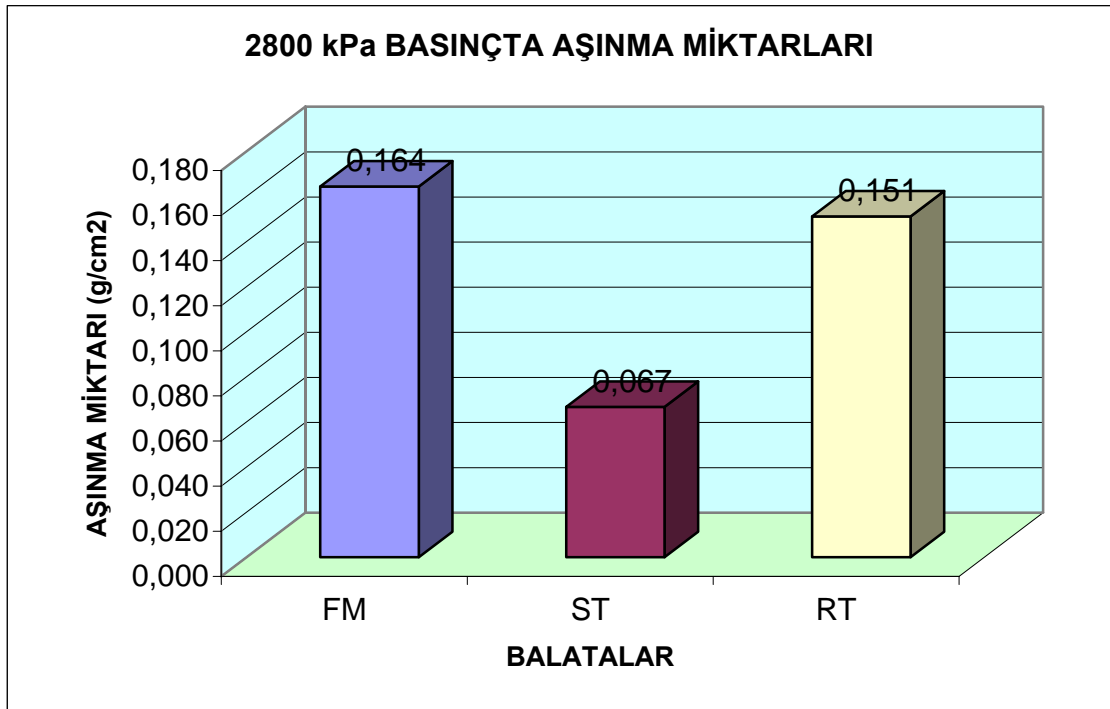
RT : Tofaş ve Renault marka araçlarda kullanılan fren balatası

### 7.5.1. Aşınma miktarı

Aşınma miktarlarını incelemek için tüm numuneler deneye başlamadan önce hassas teraziyile tartılmış ve ağırlıkları manuel olarak kaydedilmiştir. Daha sonra numuneler sırasıyla 1400 kPa ve 2800 kPa basınç altında sürekli sürtünmeye tabi tutulmuş ve her deney sonucunda numuneler tekrar tartılarak kütle kayıpları bulunmuş ve aşınma miktarları tespit edilmiştir. Şekil 7.3 ve 7.4' de 1400 kPa ve 2800 kPa basınç altında gerçekleştirilen deneylerde balataların aşınma miktarları grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7.3. 1400 kPa basınç altında aşınma miktarları



Şekil 7.4. 2800 kPa basınçtaki aşınma miktarları

1400 kPa ve 2800 kPa basınç altında yapılan tüm deneyler sonucunda en az aşınma ST balatasında meydana gelirken, en fazla aşınma FM balatasında meydana gelmiştir.

### 7.5.2. Sıcaklık ve sürtünme katsayısı

Numunelerin sıcaklık ve sürtünme katsayılarını belirlemek için 1400 kPa ve 2800 kPa basınç altında deneyler gerçekleştirilmiştir ve aşındırıcı diskin 11304 metre yol alması sağlanmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına dayanılarak bulunan sürtünme katsayıları ile ilgili grafikler şekil 7.5, şekil 7.6, şekil 7.7, şekil 7.8, şekil 7.9 ve şekil 7.10' da görülmektedir.

Grafiklere bakıldığında 1400 kPa basınçta FM ve RT kodlu balataların sürtünme katsayılarının ST kodlu balataya göre daha kararlı olduğu görülmektedir. FM ve RT balatalarında sıcaklık artışına bağlı olarak sürtünme katsayısında fazla bir değişiklik olmazken, ST balatasında sürtünme katsayısının sıcaklık artışıyla beraber düştüğü gözlenmiştir.

FM balatasının 1400 kPa basınçta yapılan deneyinde, deney sonunda sıcaklık 118 °C' ye ulaşırken sürtünme katsayısının 0,27-0,26 aralığında değişim göstermiştir.

RT balatasının 1400 kPa basınçta yapılan deneyinde, deney sonunda sıcaklık 136 °C' ye ulaşırken sürtünme katsayısı 0,22-0,25 aralığında değişmiştir.

ST balatasının 1400 kPa basınçta yapılan deneyinde, deney sonunda sıcaklık 78 0C' ye ulaşırken sürtünme katsayısının 0,27' den 0,17' ye doğru azaldığı belirlenmiştir.

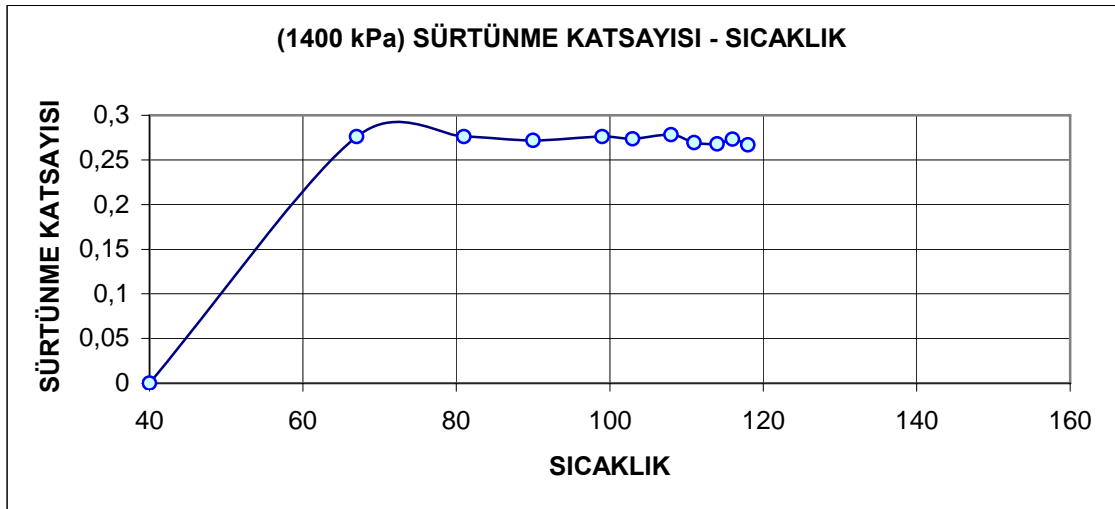
Uygulanan basınç kuvvetinin 2800 kPa basınca çıkarılmasıyla birlikte sürtünme katsayıları da yükselmiş, fakat sıcaklığın artışıyla birlikte sürtünme katsayılarında düşüş gözlenmiştir.

FM balatasının 2800 kPa basınçta yapılan deneyinde, deney sonunda sıcaklık 124 °C' ye kadar yükselmiş ve sürtünme katsayısının 0,34' ten 0,21' e azaldığı belirlenmiştir.

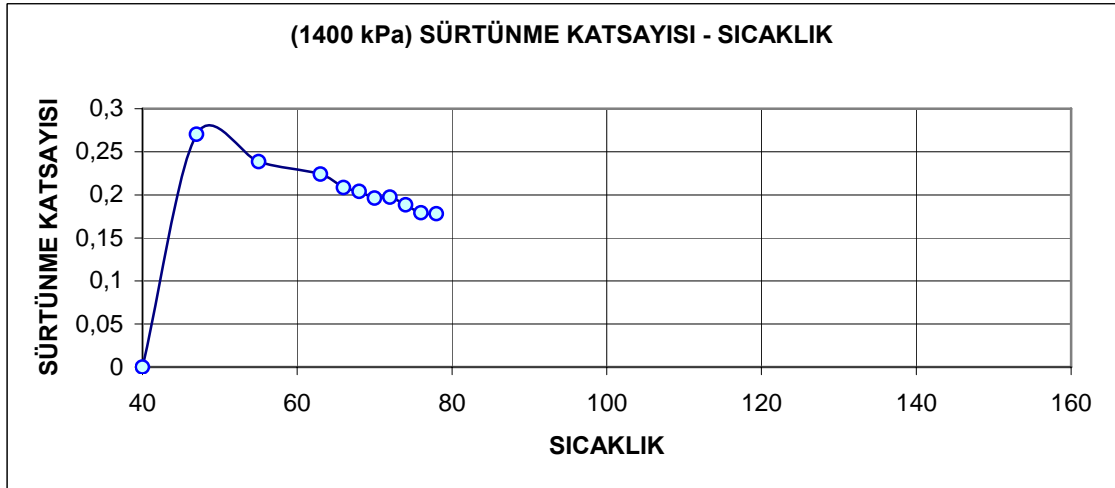
RT balatasının 2800 kPa basınçta yapılan deneyinde, deney sonunda sıcaklık 148 °C' ye kadar yükselmiş ve sürtünme katsayısının 0,45' ten 0,3' e azaldığı belirlenmiştir.

ST balatasını 2800 kPa basınçta yapılan deneyinde, deney sonunda sıcaklık 106 °C' ye yükselirken sürtünme katsayısının 0,22' den 0,12' ye azaldığı gözlenmiştir.

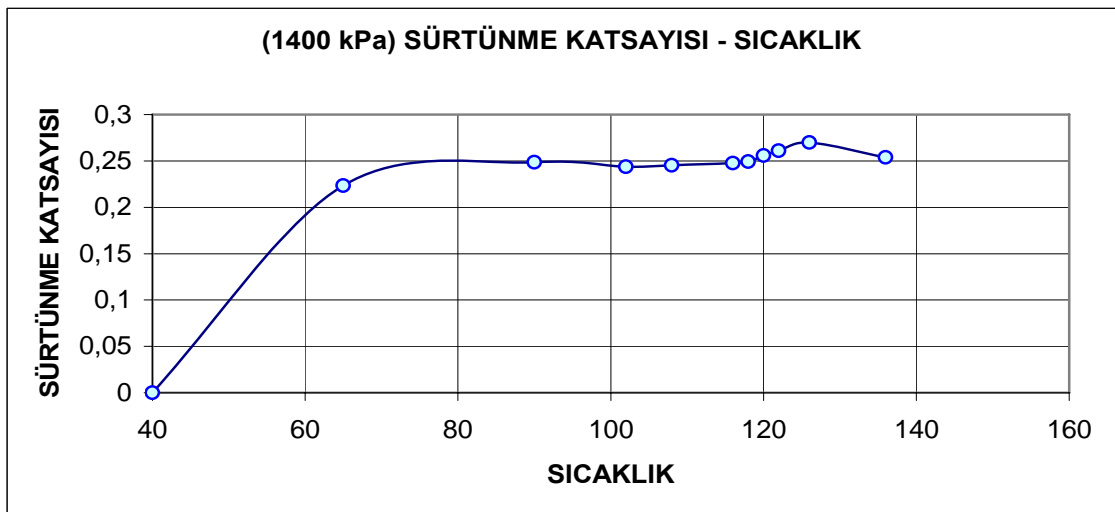
Yapılan deneyler sonucunda sanayi tipi iş makinelerinde kullanılan balataların (ST), binek araçlarda kullanılan balatalara (FM ve RT) oranla daha az ısındığı ve bunun neticesinde de daha az aşındığı görülmektedir. Sanayi tipi balataların daha ağır yükler altında çalıştığı düşünüldüğünde daha geç aşınmaları istenmektedir ve buna bağlı olarak balata yapımında aşınmaya daha çok direnç gösteren maddeler kullanılmaktadır. Binek araçlarda kullanılan balatalar ise daha hassas frenleme işlemlerinde kullanıldığından, balata yapımında daha çok sürtünme ayarlayıcı maddelerin kullanımına önem verilmektedir. Binek araçların balatalarında aşınmanın daha fazla oluşu normal bir durumdur. Elde edilen veriler tasarlanmış olan cihazın doğru ölçümler yaptığını kanıtlamaktadır.



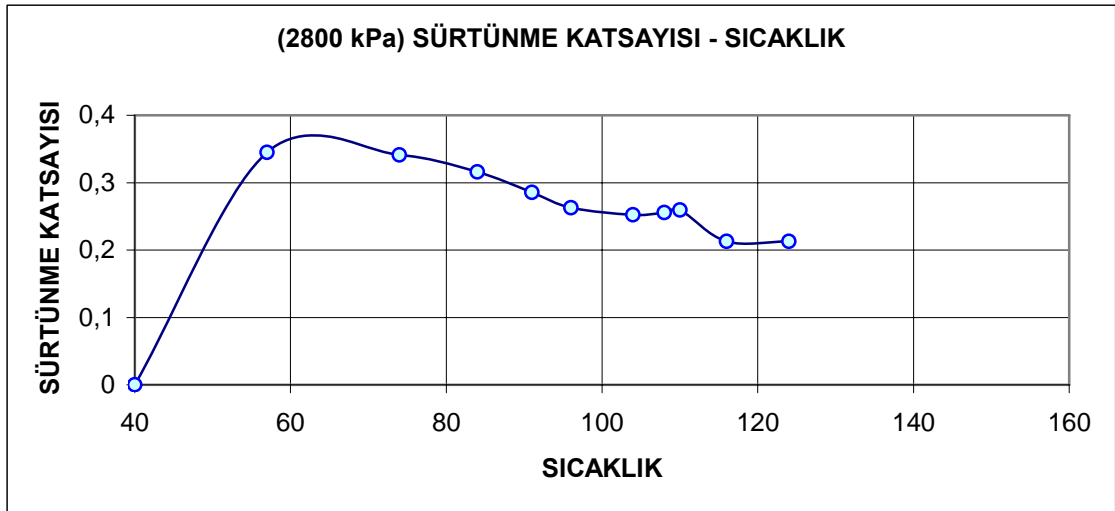
Şekil 7.5. 1400 kPa basınçta FM balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi



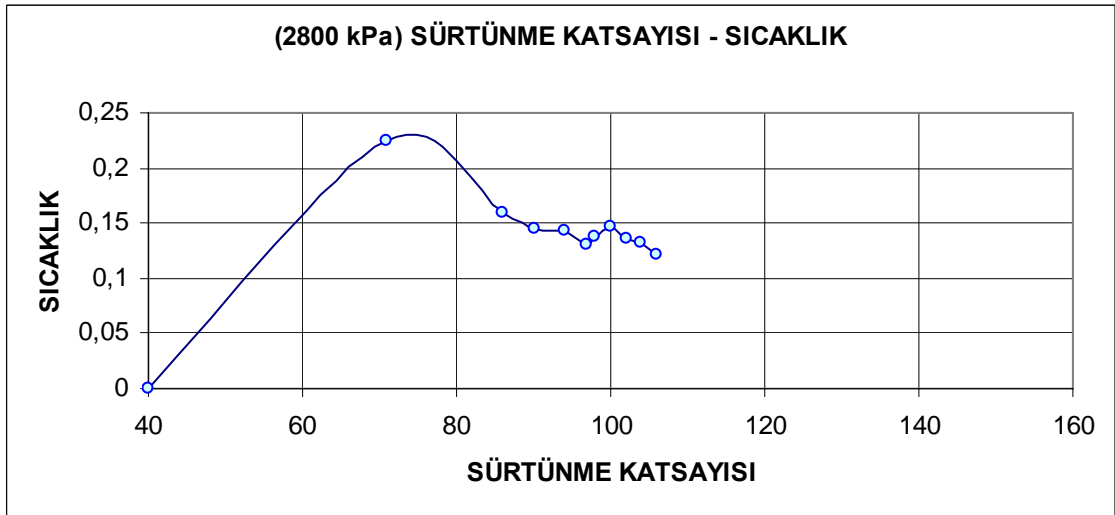
Şekil 7.6. 1400 kPa basınçta ST balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi



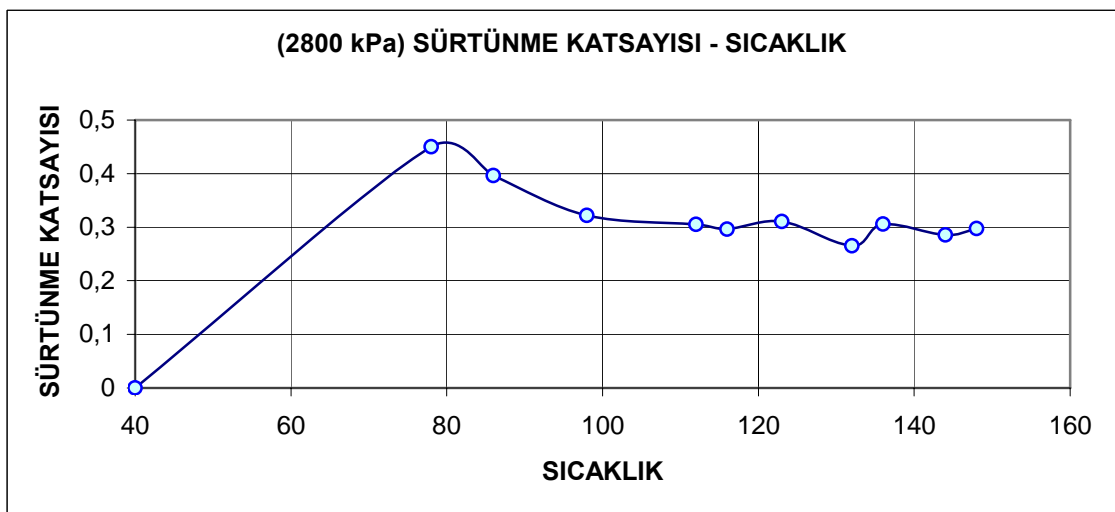
Şekil 7.7. 1400 kPa basınçta RT balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi



Şekil 7.8. 2800 kPa basınçta FM balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi



Şekil 7.9. 2800 kPa basınçta ST balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi



Şekil 7.10. 2800 kPa basınçta RT balatasının sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi

## **BÖLÜM 8. SONUÇLAR**

Bir fren balatasından istenilen temel özelliklerin başında, standartlara uygun aşınma direnci ve sürtünme katsayısı olduğu düşünüldüğünde, balata malzemelerinin aşınma ve sürtünme direnci gibi özelliklerinin bilinmesi ve bu özelliklere bağlı olarak en uygun fren balatasının seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma sürecinde, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi ve Metalürji Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan aşınma test cihazları incelenmiştir. Bu cihazlarda aşındırılacak numunelerin genellikle pim şeklinde olması ve bunun tersine piyasada bulunan balataların genellikle kare şeklinde olması ve bu balatalardan küçük numunelerin alınmasının zor olması ve aşındırıcı olarak kullanılan disk çapının belli limitleri aşması durumunda diskin salgı yapması gibi olumsuz yönleri düşünüldüğünde, bu deney cihazlarının fren balatalarının aşınma ve sürtünme davranışlarının incelenmesinde yeterli olmayacağına karar verilmiştir. Bu sebeple fren balatalarının aşınma ve sürtünme davranışlarının incelenmesinde daha kararlı sonuçlar verebilecek yeni bir aşınma test cihazı tasarlanarak imal edilmiştir.

Tasarım aşamasında araçlarda kullanılan fren sistemlerinin çalışma prensibi düşünülerek, cihazın imalatında günümüz araçlarında kullanılan fren diski, fren kaliperi ve fren merkez pompası kullanılmıştır. Cihazın imalatından sonra piyasada kullanılan çeşitli fren balatalarının aşınma ve sürtünme deneyleri yapılmıştır ve sonuçlar grafik olarak verilmiştir. Tüm deneylerde sürtünme katsayısının belli bir noktaya kadar hızlı bir şekilde yükseldiği ve bu noktadan sonra sıcaklık artışına bağlı olarak düştüğü gözlenmiştir. Son olarak imal edilen aşınma test cihazı Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Laboratuvarına teslim edilmiştir.



## EK A . DENEY VERİLERİ

Tablo A1. FM balatasına ait deney verileri (1400 kPa)

<b>Basınç : 1400 kPa    İlk Ağırlık : 8,384 gr    Son Ağırlık : 8,221 gr    Ağırlık Kaybı : 0,163 gr</b>					
<b>Zaman (sn)</b>	<b>Mesafe (mm)</b>	<b>Sıcaklık (C)</b>	<b>k</b>	<b>Sürtünme Kuvveti (N)</b>	<b>Sürtünme Katsayısı</b>
0	0	40	43,304	0	0
2	1,746222893	67	43,304	75,61843617	0,275979694
4	1,746653845	81	43,304	75,6370981	0,276047803
6	1,720521492	90	43,304	74,5054627	0,271917747
8	1,747730024	99	43,304	75,68370094	0,276217887
10	1,731791905	103	43,304	74,99351667	0,273698966
12	1,761157091	108	43,304	76,26514668	0,278339951
14	1,703679543	111	43,304	73,77613892	0,269255981
16	1,695543169	114	43,304	73,42380137	0,267970078
18	1,729625149	116	43,304	74,89968745	0,273356524
20	1,687943916	118	43,304	73,09472332	0,266769063

Tablo A2. ST balatasına ait deney verileri (1400 kPa)

<b>Basınç : 1400 kPa    İlk Ağırlık : 6,677 gr    Son Ağırlık : 6,627 gr    Ağırlık Kaybı : 0,05 gr</b>					
<b>Zaman (sn)</b>	<b>Mesafe (mm)</b>	<b>Sıcaklık (C)</b>	<b>k</b>	<b>Sürtünme Kuvveti (N)</b>	<b>Sürtünme Katsayısı</b>
0	0	40	43,304	0	0
2	1,71077629	47	43,304	74,08345645	0,270377578
4	1,50873712	55	43,304	65,33435224	0,238446541
6	1,416910381	63	43,304	61,35788715	0,223933895
8	1,319363594	66	43,304	57,13372107	0,20851723
10	1,290711383	68	43,304	55,89296574	0,203988926
12	1,241657549	70	43,304	53,76873849	0,196236272
14	1,247152566	72	43,304	54,00669474	0,197104725
16	1,191426982	74	43,304	51,59355401	0,188297642
18	1,132366062	76	43,304	49,03597993	0,17896343
20	1,126874919	78	43,304	48,79819151	0,178095589

Tablo A3. RT balatasına ait deney verileri (1400 kPA)

<b>Basınç : 1400 kPA İlk Ağırlık : 8,458 gr Son Ağırlık : 8,368 gr Ağırlık Kaybı : 0,09 gr</b>					
<b>Zaman(sn)</b>	<b>Mesafe(mm)</b>	<b>Sıcaklık (C)</b>	<b>k</b>	<b>Sürtünme Kuvveti (N)</b>	<b>Sürtünme Katsayısı</b>
0	0	40	43,304	0	0
2	1,413174714	65	43,304	61,19611783	0,223343496
4	1,572462929	90	43,304	68,09393466	0,24851801
6	1,542453357	102	43,304	66,79440018	0,243775183
8	1,553398595	108	43,304	67,26837277	0,24550501
10	1,56649619	116	43,304	67,83555103	0,247575004
12	1,577784333	118	43,304	68,32437277	0,249359025
14	1,618848619	120	43,304	70,1026206	0,25584898
16	1,65218781	122	43,304	71,5463409	0,261118032
18	1,707822405	126	43,304	73,95554142	0,269910735
20	1,607310796	136	43,304	69,60298672	0,254025499

Tablo A4. FM balatasına ait deney verileri (2800 kPA)

<b>Basınç : 2800 kPA İlk Ağırlık : 8,223 gr Son Ağırlık : 7,856 gr Ağırlık Kaybı : 0,367 gr</b>					
<b>Zaman(sn)</b>	<b>Mesafe(mm)</b>	<b>Sıcaklık ( C)</b>	<b>k</b>	<b>Sürtünme Kuvveti (N)</b>	<b>Sürtünme Katsayısı</b>
0	0	40	43,304	0	0
2	4,362570476	57	43,304	188,9167519	0,344738598
4	4,31506581	74	43,304	186,8596098	0,340984689
6	3,99724219	84	43,304	173,0965758	0,315869664
8	3,61031381	91	43,304	156,3410292	0,285293849
10	3,322587905	96	43,304	143,8813466	0,262557202
12	3,191966238	104	43,304	138,224906	0,25223523
14	3,231778286	108	43,304	139,9489269	0,255381253
16	3,280733048	110	43,304	142,0688639	0,259249752
18	2,690561714	116	43,304	116,5120845	0,212613293
20	2,693437188	124	43,304	116,636604	0,212840518

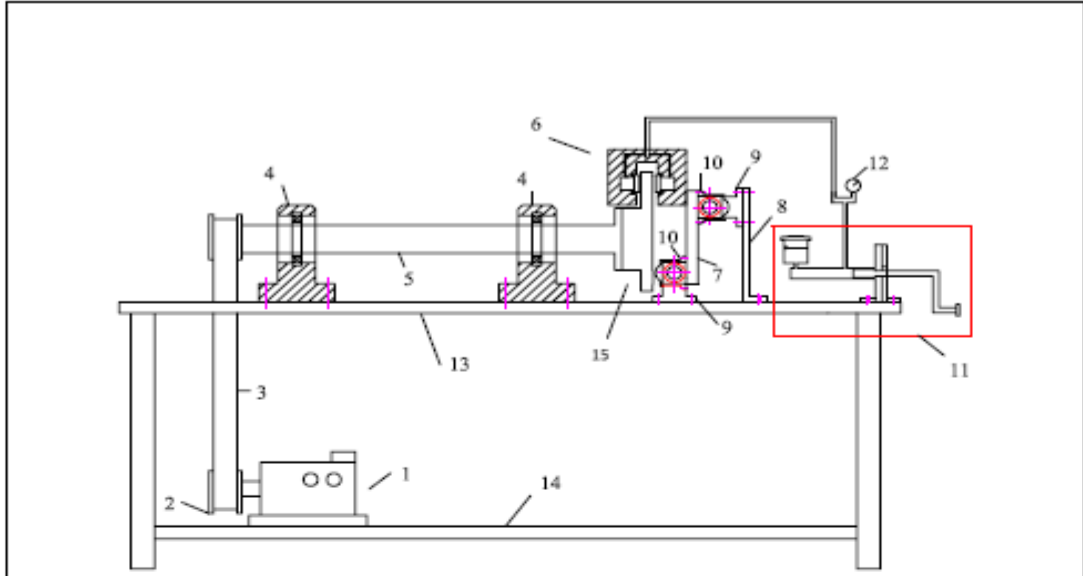
Tablo A5. ST balatasına ait deney verileri (2800 kPa)

<b>Basınç : 2800 kPa İlk Ağırlık : 6,626 gr Son Ağırlık : 6,476 gr Ağırlık Kaybı : 0,25 gr</b>					
<b>Zaman(sn)</b>	<b>Mesafe (mm)</b>	<b>Sıcaklık(C)</b>	<b>k</b>	<b>Sürtünme Kuvveti (N)</b>	<b>Sürtünme Katsayısı</b>
0	0	40	43,304	0	0
2	2,850878095	71	43,304	123,454425	0,225281798
4	2,006759	86	43,304	86,90069174	0,158577905
6	1,839873143	90	43,304	79,67386658	0,145390267
8	1,8041545	94	43,304	78,12710647	0,142567713
10	1,657349524	97	43,304	71,76986378	0,130966905
12	1,748454333	98	43,304	75,71506645	0,13816618
14	1,853939952	100	43,304	80,2830157	0,146501853
16	1,723194714	102	43,304	74,62122391	0,136170117
18	1,66916619	104	43,304	72,28157271	0,13190068
20	1,531477563	106	43,304	66,31910437	0,121020263

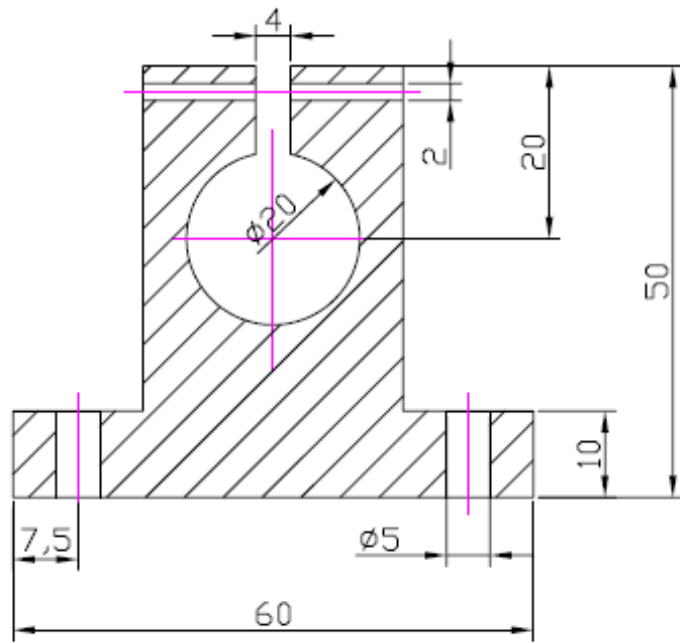
Tablo A6. RT balatasına ait deney verileri

<b>Basınç : 2800 kPa İlk Ağırlık : 8,365 gr Son Ağırlık : 8,022 gr Ağırlık Kaybı : 0,343 gr</b>					
<b>Zaman(sn)</b>	<b>Mesafe(mm)</b>	<b>Sıcaklık (C)</b>	<b>k</b>	<b>Sürtünme Kuvveti (N)</b>	<b>Sürtünme Katsayısı</b>
0	0	40	43,304	0	0
2	5,691633143	78	43,304	246,4704816	0,449763653
4	5,01436181	86	43,304	217,1419238	0,396244386
6	4,070085	98	43,304	176,2509608	0,321625841
8	3,864480238	112	43,304	167,3474522	0,305378562
10	3,749830238	116	43,304	162,3826486	0,296318702
12	3,926806524	123	43,304	170,0464297	0,310303704
14	3,354694381	132	43,304	145,2716855	0,265094317
16	3,865824546	136	43,304	167,4056661	0,305484792
18	3,609649286	144	43,304	156,3122527	0,285241337
20	3,761902438	148	43,304	162,9054232	0,29727267

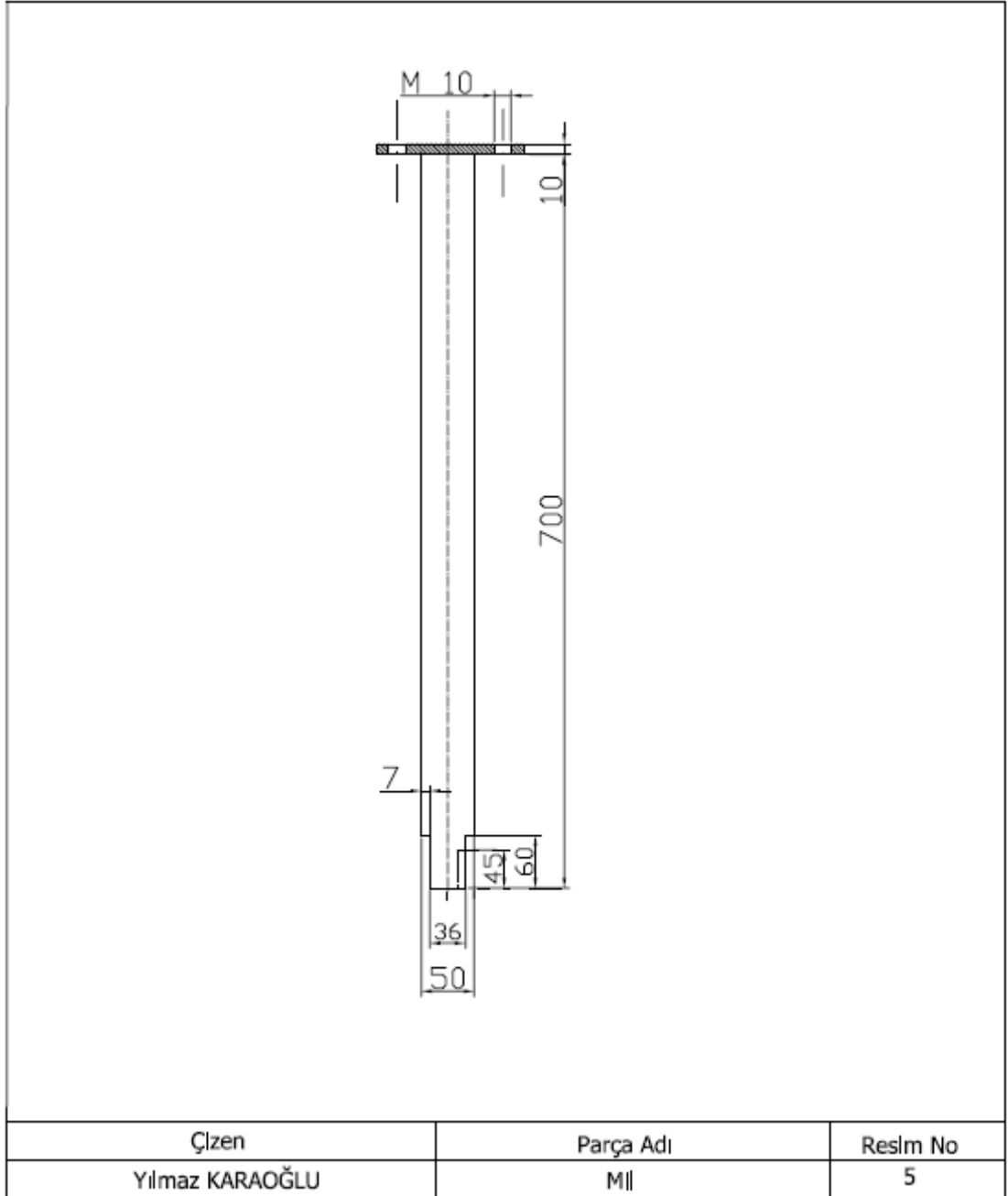
## EK B. PARÇALARIN TEKNİK RESİMLERİ

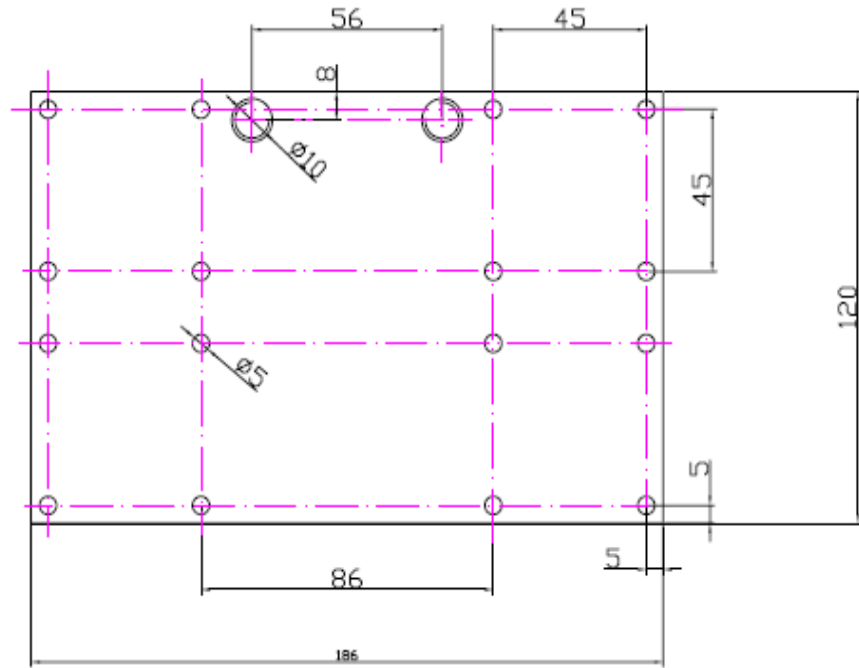


15	1	Ağırlıklı Disk	Tofaş Fren Diski
14	1	Sehpa	L50
13	1	Tabla	St 37 -800 x 1100 x 10 mm
12	1	Manometre	Pakörens 40 kg/cm2
11	1	Hidrolik Güç Ünitesi	Anadol-Tek Pistonlu
10	4	Kayıtç Yataak	KLM
9	4	Kayıtç Yataak Ayağı	KLM
8	2	Ayak Sabitleme Parçası	St 37
7	1	Kayıtç Yataak Bağlanıt Parçası	St 37
6	1	Fren Kalıberı	Ford Taunus - ÇFR Pistonlu
5	1	Mİ	Ç 1040
4	2	Yataak	Ağırlamalar
3	1	Trıger Kayıtç	Ağırlamalar
2	2	Kasnak	Ağırlamalar
1	1	Elektrik Motoru	5,5kw 2880d/d AC
Parça No	Adet	Malzeme Adı	
Çizen: Yılmaz KARAOĞLU	Kontrol:		Tarih: 15,07,2006
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Ana Bilim Dalı		AŞINMA DENEY CİHAZI	

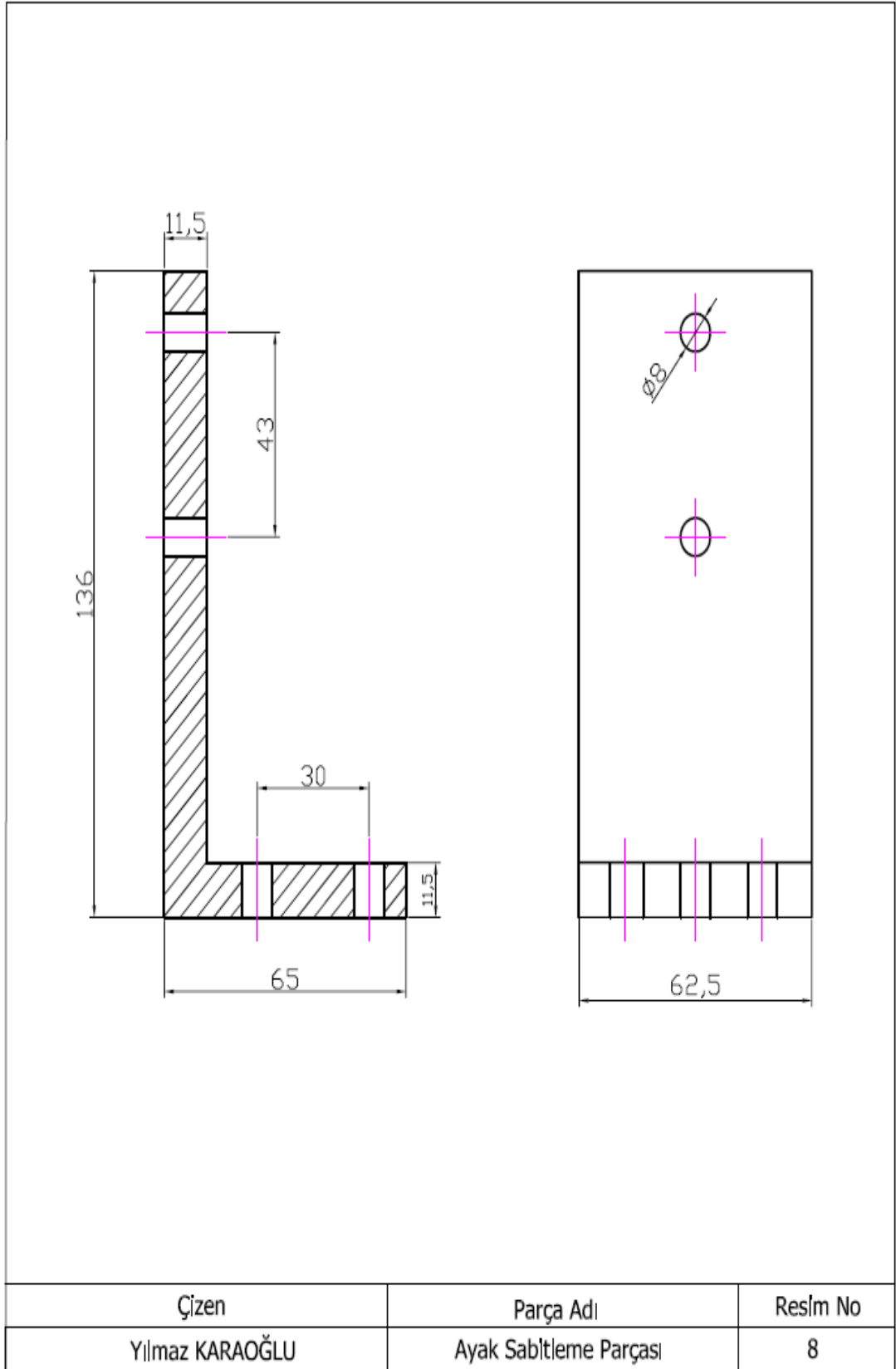


Çizen	Parça Adı	Resim No
Yılmaz KARAOĞLU	Kayıcı Yatak Ayağı	4

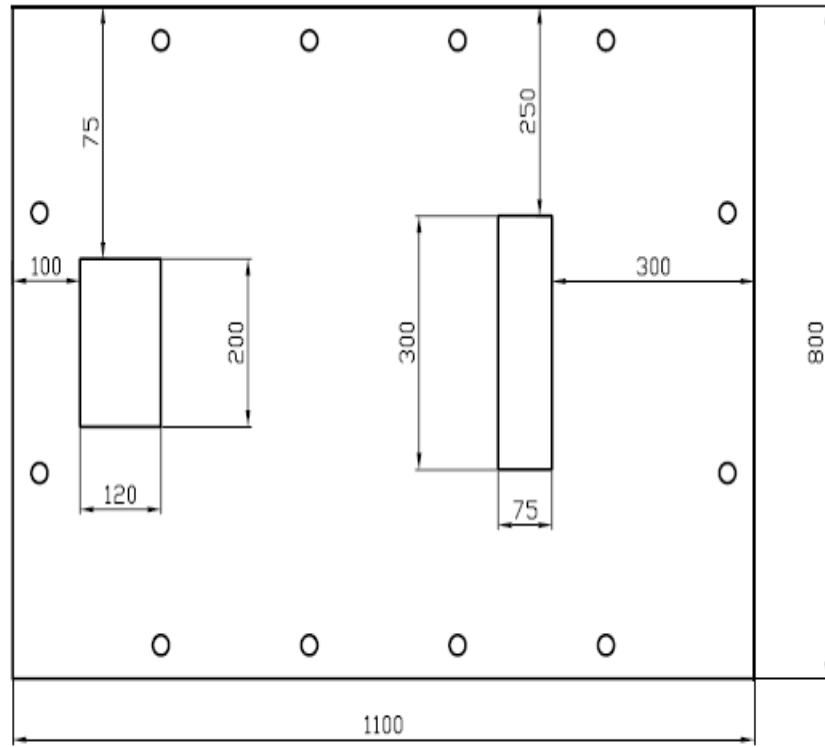




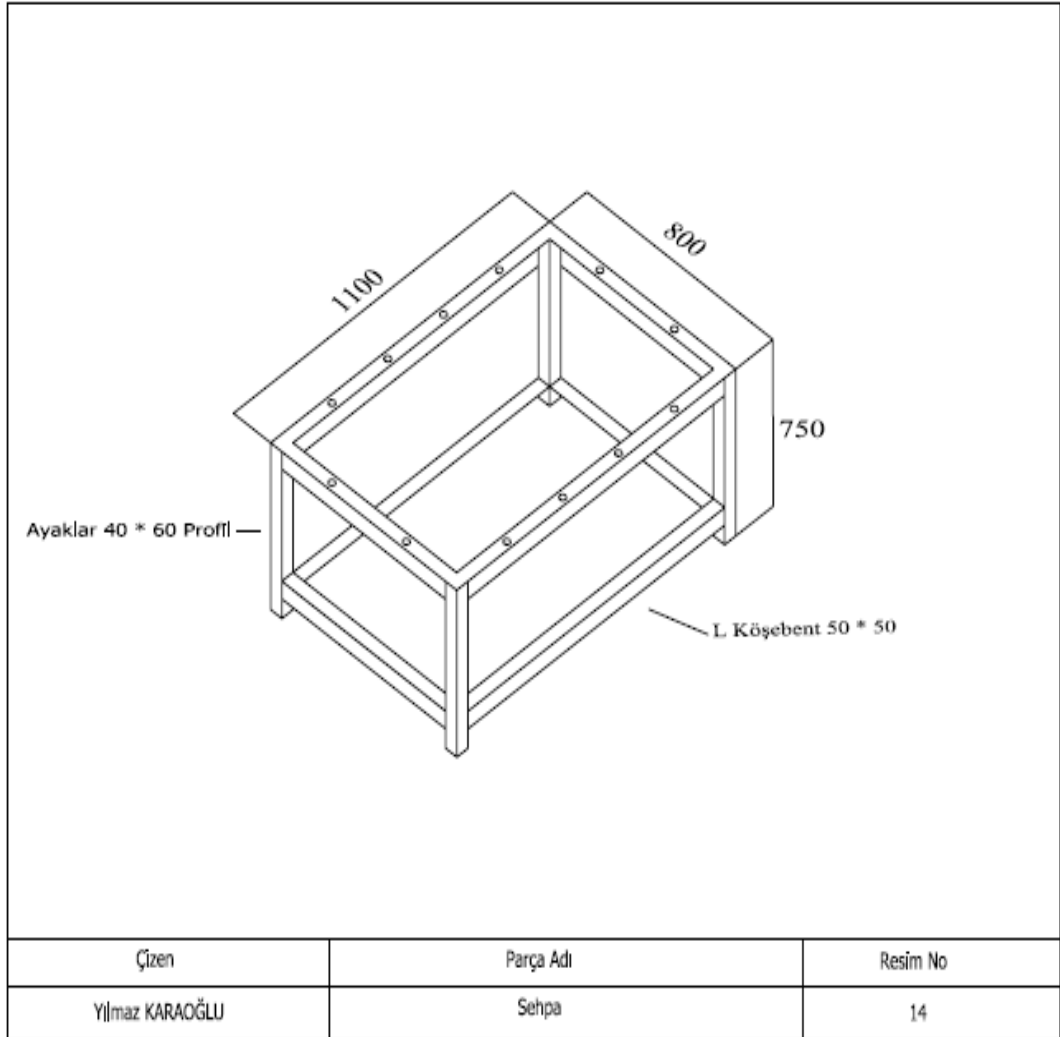
Çizen	Parça Adı	Resim No
Yılmaz KARAOĞLU	Kayıcı Yatak Bağlantı Parçası	7

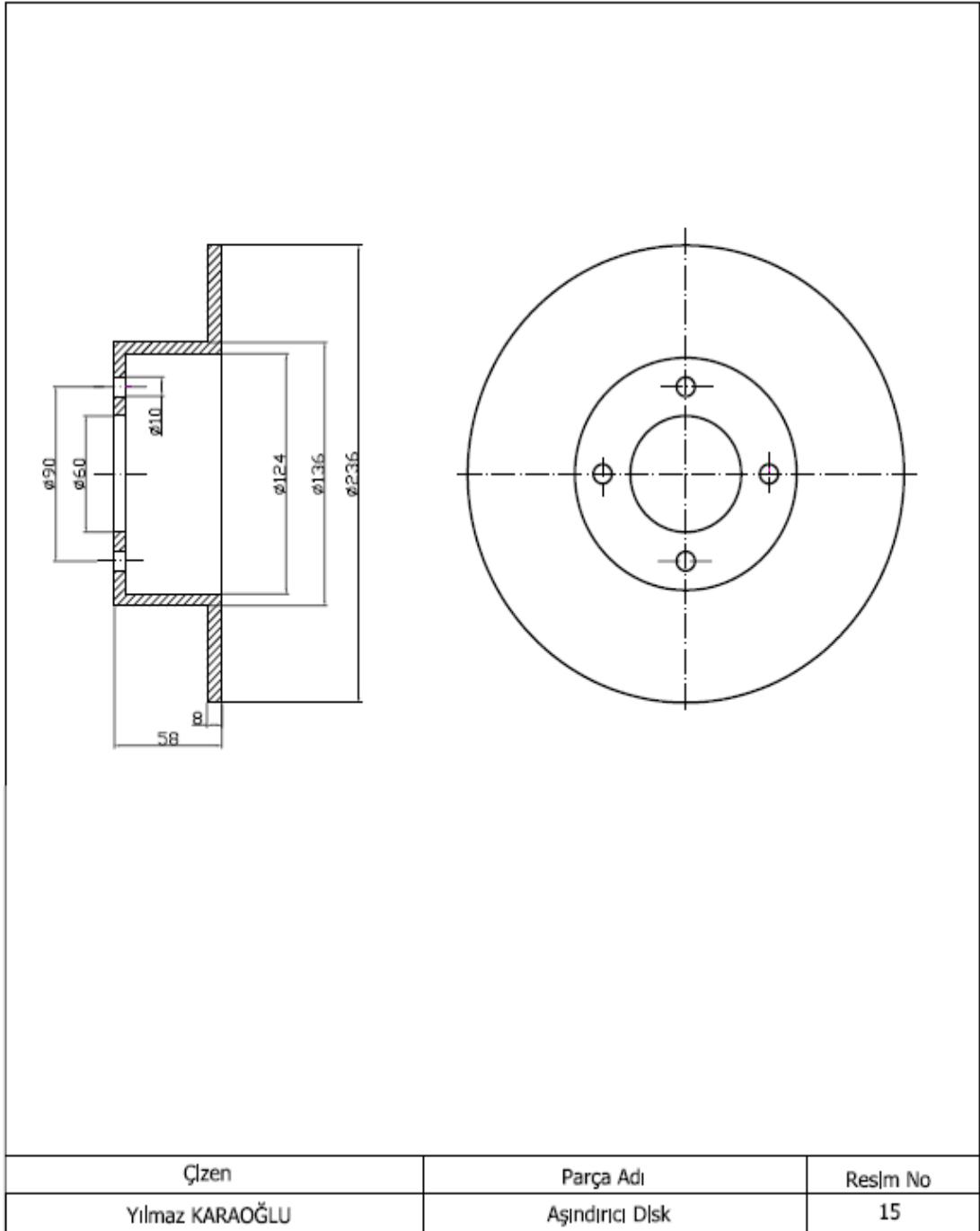






Çizen	Parça Adı	Resim No
Yılmaz KARAOĞLU	Masa	13





## KAYNAKLAR

- [1] KARAGÖZ, Y., “Metallerde Aşınma Yorulması”, İzmir, Mart, 2004.
- [2] ŞİŞMAN, L., “Bir Aşınma Deney Cihazının Tasarım ve İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz, 1999.
- [3] SOYDAN, Y., ULUKAN, L., “Triboloji : Sürtünme, Aşınma, Yağlama Bilimi ve Teknolojisi”, Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Merkezi Teknolojik Yayınlar Serisi No: 1, Sakarya, 2003.
- [4] YILMAZ, F., “Sürtünme ve Aşınma”, 9<sup>th</sup> International Metallurgy and Materials Congress, p 229-256, İstanbul, 1997.
- [5] MUTLU, İ., “Seramik Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kasım, 2002.
- [6] GEDİKTAŞ, M., “Sürtünme Malzemelerinin Deneysel Tayini” İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, 1968.
- [7] TS 555, “Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler İçin”, T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Mart, 1992.
- [8] EYRE, T. S., “Friction and Wear Control in Industry”, Surface Engineering, 1991.
- [9] MOORE, M. A., “The Relationship Between The Abrasive Wear Resistance”, Wear, 59-65, 1974.
- [10] HALLING, J., “Introduction to Tribology”, 1st Ed., Wykeham Publications Ltd., London, 1976.
- [11] HUTCHINGS, I. M., “Friction and Wear Engineering Materials”, London, 1950.
- [12] UZUNER, H., “Polimerlerin Sürtünme ve Aşınma Davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs, 2001.
- [13] KOÇER, T., “Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC Partikül Takviyeli Al-Mg Metal Matriksli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mayıs, 2002.

- [14] ANLAŞ, İ., “Şasi Temel Ders Kitabı”, M.E.B. Yayınları, İstanbul, 1988.
- [15] <http://www.geocities.com/uludagmak>
- [16] GÜNER, R., YAVUZ, N., “Polimer Matriksli Fren Balata Malzemelerinin Kompozisyon ve Üretim Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi”, Mühendislik ve Makine Dergisi, Sayı 553, Şubat, 2006.
- [17] GÜNER, R., YAVUZ, N., “Otomotiv Fren Sistemlerinde Sürtünme Malzemeleri ve Tribolojik Temasın Yapısı”, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, Haziran, 2004.
- [18] <http://www.mta.gov.tr/madenler/turmaden/alan.asp#asbest>
- [19] <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html>
- [20] [http://www.poliya.com.tr/turkce/poliya\\_urunler\\_urun\\_ve\\_ekipmanlar.htm](http://www.poliya.com.tr/turkce/poliya_urunler_urun_ve_ekipmanlar.htm)
- [21] [http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ce\\_uretimi.php](http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ce_uretimi.php)
- [22] [http://www.dupont.com.tr/Advanced\\_Fiber\\_Systems.htm](http://www.dupont.com.tr/Advanced_Fiber_Systems.htm)
- [23] [http://www.camelyaf.com.tr/turkce/soru\\_cevap/diger\\_1.php](http://www.camelyaf.com.tr/turkce/soru_cevap/diger_1.php)
- [24] <http://www.mta.gov.tr/madenler/turmaden/alan.asp#mika>
- [25] <http://www.mta.gov.tr/mineraller/barit.asp>
- [26] <http://www.mta.gov.tr/mineraller/talk.asp>
- [27] [http://www.knauf.com.tr/3\\_1.html](http://www.knauf.com.tr/3_1.html)
- [28] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kil>
- [29] <http://www.mta.gov.tr/madenler/turmaden/alan.asp#diatomit>
- [30] <http://www.mta.gov.tr/mineraller/grafit.asp>

## ÖZGEÇMİŞ

Yılmaz KARAOĞLU, 24.08.1980 tarihinde Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sakarya'da tamamladıktan sonra 1999 yılında Sakarya Anadolu Teknik Lisesi Makine Bölümü'nden ve 2003 yılında Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği programından mezun oldu. Yine 2003 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi programında yüksek lisans öğrenimine başladı ve halen bu okulda öğrenimine devam etmektedir.