

**OTOMOTİV'DE KULLANILAN SÜRTÜNME  
MALZEMELERİNİN SÜRTÜNME KATSAYISINI  
TESBİT EDEN  
TEST CİHAZI TASARIMI VE İMALATI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MUSTAFA TİMUR**

**DANIŞMAN**

**Yrd.Doç.Dr.İbrahim MUTLU**

**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**ARALIK 2007**

Bu tez çalışması 106M006 numaralı proje ile Tübitak tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OTOMOTİV'DE KULLANILAN SÜRTÜNME MALZEMELERİNİN  
SÜRTÜNME KATSAYISINI TESBİT EDEN  
TEST CİHAZI TASARIMI VE İMALATI**

**MUSTAFA TİMUR**

**DANIŞMAN**

**Yrd.Doç.Dr. İbrahim MUTLU**

**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**ARALIK 2007**

## ONAY SAYFASI

Yrd.Doç.Dr. İbrahim MUTLU danışmanlığında, Mustafa TİMUR tarafından hazırlanan “Otomotiv’de Kullanılan Sürtünme Malzemelerinin Sürtünme Katsayısını Tespit Eden Test Cihazı Tasarımı Ve İmalatı”, başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 14/12/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı , Adı, SOYADI

İmza

Başkan : Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Üye : Yrd.Doç.Dr. İbrahim MUTLU

Üye : Yrd.Doç.Dr. Mustafa AYDIN

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç.Dr. Zehra BOZKURT  
Enstitü Müdürü

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
RESİMLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	2
2.1 Sürtünme .....	2
2.1.1 Sürtünmenin Tanımı .....	2
2.1.2 Sürtünme Teorisi .....	4
2.1.3 Sürtünme Kanunları.....	5
2.1.4 Sürtünme Katsayısı.....	9
2.1.5 Sürtünmenin Ölçülmesi .....	13
2.1.6 Sürtünme Kuvvetine Etki Eden Faktörler.....	14
2.1.7 Sürtünme Malzemelerindeki Aşınmanın İncelenmesi.....	15
2.1.8 Aşınmanın Neden Olduğu Zararlar Ve Aşınma Çeşitleri .....	16
2.2 Otomobillerdeki Fren Sistemleri.....	17
2.2.1 Fren Sisteminin Parçaları.....	17
2.2.2 Disk Fren Sistemleri .....	18
2.2.3 Kampana ve Disk Malzeme Özellikleri.....	21
2.3 Otomobillerdeki Sürtünme Malzemelerinin Özellikleri.....	23
2.3.1 Balata ve Taşıt Güvenliği.....	23
2.3.2 Balata Malzemelerinin Kompozisyonu .....	25
2.4 Literatür Özeti.....	28
2.5 Amaç ve Kapsam.....	30
3. MATERYAL METOT .....	31
3.1 Fren Balatası Test Cihazının Tasarımı İle İlgili Çalışmalar .....	31
3.2 İmalat Aşamaları .....	31

3.3 Fren Balatası Test Cihazının İmalatı .....	34
3.4 Sürtünme Katsayısı Test Cihazında Kullanılan Donanımlar ve Özellikleri.....	38
3.4.1 Sıcaklık Ölçme Aleti.....	38
3.4.2 Elektrikli Isıtıcı.....	38
3.4.3 Yük Hücresi.....	38
3.4.4 Bilgisayar Programı .....	39
3.4.5 Hidrolik Ünite.....	39
3.4.6 İnvörtör.....	40
3.4.7 Disk Malzemesi .....	40
4. BULGULAR .....	41
4.1 Sertlik ve Yüzey Pürüzlülüğü .....	41
4.2 Sıcaklık Ölçümü.....	43
4.3 Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması .....	43
4.4 Deney Şartları .....	44
4.5 Deney Sonuçları.....	46
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	51
6. KAYNAKLAR .....	53
7. ÖZGEÇMİŞ.....	57
8. EKLER .....	58

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

# OTOMOTİV'DE KULLANILAN SÜRTÜNME MALZEMELERİNİN SÜRTÜNME KATSAYISINI TESBİT EDEN TEST CİHAZI TASARIMI VE İMALATI

Mustafa TİMUR

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilimdalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. İbrahim MUTLU

Bu çalışmada otomotiv fren balatalarının farklı sıcaklık, hız ve basınç altında sürtünme katsayısını belirlemek için test cihazı tasarım ve imalatı yapılmıştır. Hareket halindeki taşıtlar, yavaşlatılmak veya durdurulmak istendiğinde sürtünme veya kayma vasıtasıyla kinetik enerjileri alınarak yavaşlatılır veya durdurulurlar. Bunun yapılabilmesi için sürtünen yüzeylerin oluşturduğu malzeme çiftinin sürtünme katsayısının yüksek ve stabil olması gereklidir. Can ve mal güvenliğini sağlamak için fren balatalarının sürtünme katsayısının tespiti çok önemlidir.

Hız, sıcaklık, basınç gibi değişkenler ele alınarak bu değişkenlerin otomotiv sürtünme malzemeleri üzerinde etkisini incelemek amacıyla test cihazı üretilmiştir. Bu cihazda, sürtünme yüzey sıcaklığı 0–400 °C arasında, hız değerleri 0–14 m/s arasında, basınç değerleri ise 0-40 MPa arasında değiştirilebilmektedir. Bu değişkenlerin etkisini belirlemek için sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturulmuştur. Bu çalışmada piyasadan temin edilen on farklı balata ile çalışılmıştır. Her saniyede değerler bilgi kütüğüne kaydedilmekte ve değişkenlerin etkileri incelenmektedir.

**2007, 64 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Balata, Balata Test Cihazı, Fren, Sürtünme Katsayısı

## **ABSTRACT**

**M.Sc.Thesis**

### **DESIGN AND MANUFACTURING OF THE TESTING DEVICE FOR THE FRICTION COEFFICIENT OF THE MATERIALS USED IN DISC-BRAKE SYSTEMS IN AUTOMOTIVE**

Mustafa TİMUR

Afyonkarahisar Kocatepe University  
Institute for the Natural and Applied Sciences  
Machine Education Department

Advisor: Yrd.Doç.Dr. İbrahim MUTLU

In this study, in order to define friction coefficients of automotive brake lining under different temperatures, speeds and pressures, test equipment was designed and manufactured. When vehicles in motion are required to or stopped by friction and slipping, their kinetic energy is absorbed. As a result, the vehicles are slowed down or stopped. In order to do this, coefficients of friction of surface material couple needs to be high and stable. Identifying the friction coefficient of brake lining is very important for providing safety of passengers and vehicles.

This test equipment was designed to investigate variables such as temperature, speed, pressure that are occurred in automobiles. The equipment enables to change friction surface temperature from 0 to 400°C, speed from 0 to 14 rpm and pressure from 0 to 40 MPa. This study was carried out for ten different pads which, provided from automotive industry. Friction coefficient-temperature-time graphs are obtained to identify the effect of these variables. Values of variables measured are recorded every second in the database, and then their effects are investigated.

**2007, 64 Page**

**Keywords:** Brake Lining, Brake Lining Test Equipment, Brake, Friction Coefficient

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın gerekleőmesinde yapmış olduğu çok değerli katkı ve yönlendirmeler ile bana büyük destek veren ve elinden gelen yardımı esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU' ya en içten teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca test cihazının yapımında emeği geçen TMT firması sahibi Dursun OBANOėLU bey'e çalıőmamızın üretim aőamasını gerekleőtirmemizde tüm fabrika imkanları ile yardımcı olan apar Makine'nin sahibi Mustafa ÇAPAR bey'e, deneysel çalışmalarda emekleri geçen Öğr.Gör. İlker SUGÖZÜ, Göksan AKPINAR beylere ve Nursel ALTAN hanımefendiye, çalışmaların yazım aşamasında yardımcı olan değerli kardeőim Fırat TİMUR'a, tezin hazırlanması safhasında manevi desteğini esirgemeyen çalıőmalarım ile bugünlere gelmemi sağlayan çok kıymetli aileme en içten teőekkürlerimi sunarım.

Mustafa TİMUR  
Afyonkarahisar, 2007



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### 1. Simgeler

$F_s$	Sürtünme Kuvveti (N)
$F_D$	Dikey Kuvvet
$F_Y$	Yatay Kuvvet
$\mu$	Sürtünme Katsayısı
$\mu_s$	Statik Sürtünme Katsayısı
$\mu_k$	Kinetik Sürtünme Katsayısı
$v$	Kayma hızı (m/s)
$P$	Basınç (bar)
$T_B$	Frenleme torku (Nm)
$N$	Normal reaksiyon tepki kuvveti (N)
$R_0$	Balata ortalama yarıçapı (cm)
$R_1$	Balata iç yarıçapı (cm)
$R_2$	Balata Dış yarıçapı (cm)
$R_a$	Pürüzlülük değeri ( $\mu\text{m}$ )
HB	Brinell Sertliği
HRC	Rockwell Sertliği

### 2. Kısaltmalar

GDD	Gri Dökme Demir
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No		Sayfa No
Şekil 2.1	Sürtünmede temas alanları	2
Şekil 2.2	Coulomb'un sürtünme modeli	4
Şekil 2.3	Sürtünmenin malzeme yapısı üzerine etkisi	5
Şekil 2.4	Statik ve kinetik sürtünme katsayısı	7
Şekil 2.5	Alçak ve yüksek basınçlarda meydana gelen yüzey şekilleri	8
Şekil 2.6	Kuru sürtünme modeli	9
Şekil 2.7	Dinamik ve statik sürtünme katsayısının farklılıkları	11
Şekil 2.8	Statik-kinetik sürtünme katsayısı değişimi	12
Şekil 2.9	Sürtünme kuvvetinin kayma esnasındaki değişimi	13
Şekil 2.10	Disk fren sistemi	19
Şekil 2.11	Fren diskinde sürtünme	21
Şekil 2.12	Kampanalı ve disk frenin şematik görünüşü	22
Şekil 2.13	Disk ve balata malzemesinin şematik resmi	24
Şekil 2.14	Balatalardaki malzemelerin içyapı ve izometrik görünüşü	26
Şekil 3.1	Üretimi yapılan sürtünme katsayısını tespit cihazı	36
Şekil 3.2	Yük hücresi	39
Şekil 4.1	1" lik balata tutucu	44
Şekil 4.2	½" lik balata tutucu	44
Şekil 4.3	Balatanın takılma işlemi	44
Şekil 4.4	A balatasının sıcaklık-sürtünme katsayısı-zaman grafiği	47
Şekil 4.5	B1 balatasının sıcaklık-sürtünme katsayısı-zaman grafiği	47
Şekil 4.6	B2 balatasının sıcaklık-sürtünme katsayısı-zaman grafiği	47
Şekil 4.7	B3 balatasının sürtünme katsayısı-zaman grafiği	48
Şekil 4.8	C1 balatasının sürtünme katsayısı-zaman grafiği	48
Şekil 4.9	C2 balatasının sürtünme katsayısı-zaman grafiği	48
Şekil 4.10	D balatasının sürtünme katsayısı-zaman grafiği	49
Şekil 4.11	E1 balatasının sürtünme katsayısı-zaman grafiği	49
Şekil 4.12	E2 balatasının sürtünme katsayısı-zaman grafiği	49
Şekil 4.13	E3 balatasının sürtünme katsayısı-zaman grafiği	50

## RESİMLER DİZİNİ

<b>Resim No</b>		<b>SayfaNo</b>
Resim 2.1	Disk fren sistemi	18
Resim 2.2	Disk fren balatası	27
Resim 2.3	Kavisli fren balatası	28
Resim 2.4	Pabuçlu fren balatası	28
Resim 3.1	Chase makine'nin üretmiş olduğu test cihazı	32
Resim 3.2	Michael Eriksson tarafından üretilen test cihazı	33
Resim 4.1	Mahr perthometer	41
Resim 4.2	Mettest Sertlik Ölçme Cihazı	42

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge No		SayfaNo
Çizelge 2.1	TS 555'e göre Balataların Sınıflandırılması	12
Çizelge 3.1	Sürtünme Katsayısı Test Cihazı Parça Listesi	36
Çizelge 3.2	Disk malzemesinin içeriği	40
Çizelge 4.1	Fren Diski Yüzey Pürüzlülük Değerleri	42
Çizelge 4.2	Fren Diski Sertlik Değerleri	42

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda otomobil sektöründe meydana gelen değişimler gün geçtikçe çok daha iyi sonuçlar meydana getirmektedir. Otomobil firmaları kendi ürettikleri araçların sürtünme malzemelerinin verimliliğinin çok iyi performans göstermesi için çok farklı çalışmalar içerisine girmişlerdir. Otomobil icat edilene kadar sürtünme malzemeleri ve sürtünme mekanizmaları konusunda çok az gelişme olmuştur. İlk otomobillerde çok farklı sürtünme malzemeleri (balatalar) kullanılmıştır. Uzun yıllar kullanılan asbest esaslı sürtünme malzemeleri sağlık gerekçesiyle asbest kullanımının yasaklanması sonucu yerini asbest içermeyen elyaf takviyeli kompozit balatalara bırakmaktadır (Bijwe, 1997., Mutlu, 2002).

Hareket halindeki taşıtlar, bir tehlike anında sürtünmeli veya kaymalı zorlamaya maruz bırakılıp kinetik enerjileri alınır ve yavaşlatılıp durdurulurlar. Bunun yapılabilmesi için sürtünen yüzeylerin oluşturduğu malzeme çiftinin sürtünme katsayısı frenlemede önemli rol almaktadır. Sürtünen yüzeylerdeki durdurma tesiri, iyi sürtünme kuvveti temin eden malzeme çiftini seçmek veya yapmakla mümkün olur. Bu malzeme çiftini seçmek veya mevcutlarından daha iyisini yapmak piyasada kullanılan mevcut malzeme çiftlerinin frenlemeye etkisinin bilinmesi ile mümkündür. Mevcut malzeme çiftlerinin frenlemeye etkisinin bulunabilmesi, her malzemenin tesirinin ayrı ayrı değerlendirilmesi ile sağlanabilir. Mevcut malzeme çiftinin birisi balata olup frenleme kuvvetine tesiri pedal kuvvetinin fonksiyonu olarak tanımlanabilir (Mutlu, 2002).

Aynı zamanda balataların bir süre hava ve yol şartlarında su, nem, yağ gibi yolların olumsuz etkileri ile karşı karşıya kalmaları, sürtünme özelliklerinin kısmen bozulmasına sebep olur. Uzun süreli çalışmalarda balata sürtünme yüzeyi ısının etkisi ile sertleşmekte ve parlaklaşmaktadır. Sert ve parlak yüzey (pürüzlülüğün azalması) sürtünen yüzeylerin birbiri üzerinde daha kolay kaymalarına sebep olmaktadır. Bu nedenle yeni balatalar yapım aşamasında ezilme, kesme, aşınma, ısı ve suya dayanıklılık gibi testlerden geçirilmekte ve kullanım esnasında, balataların yukarıda açıklanan olumsuzluklar nedeni ile sürüş esnasında meydana getireceği olumsuz etkilerin minimuma düşürülmesi amaçlanmaktadır (Gemalmayan, 1984).

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Sürtünme

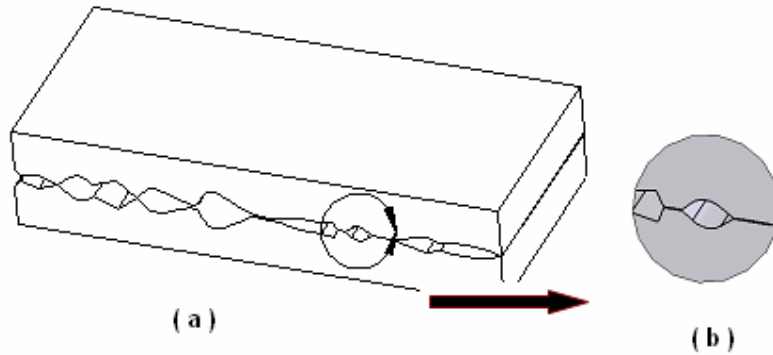
#### 2.1.1 Sürtünmenin Tanımı

DIN 50281'e göre sürtünme "Birbiri üzerinde kayan, yuvarlanan veya kaymalı yuvarlanan elemanların izafi hareketlerini yavaşlatan (Dinamik sürtünme) veya engelleyen (Statik Sürtünme) mekanik direnç " olarak tanımlanır.

Normal atmosfer şartlarında yüzeyler arasında toz, kir, oksit vb. gibi ara elemanların olması nedeniyle pratikte tam bir kuru sürtünme elde edilemez. Bundan dolayı yağlamasız olarak meydana gelen kuru sürtünme yerine " Teknik kuru sürtünme" terimini kullanmak daha doğrudur (Mutlu, 2002).

Genel anlamda, sürtünme temas halindeki yüzeylerin ve birbiri üzerinde hareket eden ya da, hareket ihtimaline karşı gösterilen direnç olarak tanımlanır (Yılmaz, 1997., Ashby, 1996). Birbirlerine temas eden parçalarda sürtünme, kinematik bakımdan kayma, yuvarlanma veya kayma+yuvarlanma sürtünmesi şeklinde olur.

Şekil 2.1 (a)'da üstteki cisim alttaki cisim üzerinde sağa doğru kaymaktadır, diyagram büyütülerek gösterilen (b)'de ise yüzeysel yapışma noktaları görülmektedir.



Şekil 2.1 Sürtünmede Temas Alanları

Sürtünmenin etkileri belirlendiğinden veya fonksiyonları kontrol edildiğinden beri her cihaz geliştirilirken sürtünme özellikleri dikkate alınarak cihazın ömrü ve verimliliği belirlenmektedir. Sürtünme olayı incelenirken temas yüzeylerinin pürüzlü oldukları ve tam madensel temiz yüzeye sahip olmadıkları gibi hususlar göz önünde tutulmalıdır. Şekil 2.1' de görüldüğü gibi yüzeyler birbirleri ile pürüzlerinin tepelerinde temas etmektedirler. Böylece temas alanı çok küçük alanlardan meydana gelmektedir. Bu küçük temas alanlarının toplamı A gerçek temas alanını oluşturur. Bu alan temas yüzeylerinin sınırlarını tayin eden A geometrik alandan çok daha küçüktür.

Sürtünme, faydalı iş enerjisinin büyük bir kısmını yutması ile birlikte günlük yaşamımızda sürtünme olmazsa birçok işin gerçekleştirilemeyeceği de bir gerçektir. Örneğin, yürüme olayından taşıtın hareket ettirilmesine, elimizle kalemi tutmamızdan gözümüzü kırpmamıza kadar temas halindeki yüzeylerin sürtünmesi söz konusudur (Halliday and Resnick,1999).

Sürtünmenin etkileri belirlendiğinden veya fonksiyonları kontrol edildiğinden beri her cihaz geliştirilirken sürtünme özellikleri dikkate alınarak cihazın ömrü ve verimliliği belirlenmektedir. Bunun yanı sıra dünya çapında yapılmış olan istatistiklere göre makine elemanlarının yaklaşık olarak %70'nin işe yaramaz hale gelmesinin nedeni aşınmadır. Ayrıca sürtünme sonucu meydana gelen enerji kayıpları milyonlar tutarında harcamalara yol açar. Onun içindir ki uygun bir yağlama ile sistemin verimi bir oranda artırılırsa bile, tasarruf edilen paranın tutarı milyonlara varmaktadır. Aşınmadan dolayı meydana gelen malzeme kayıpları ve bakım onarım için harcanan zaman göz önüne alındığı takdirde makine konstrüksiyonunun önemi daha iyi anlaşılacaktır.

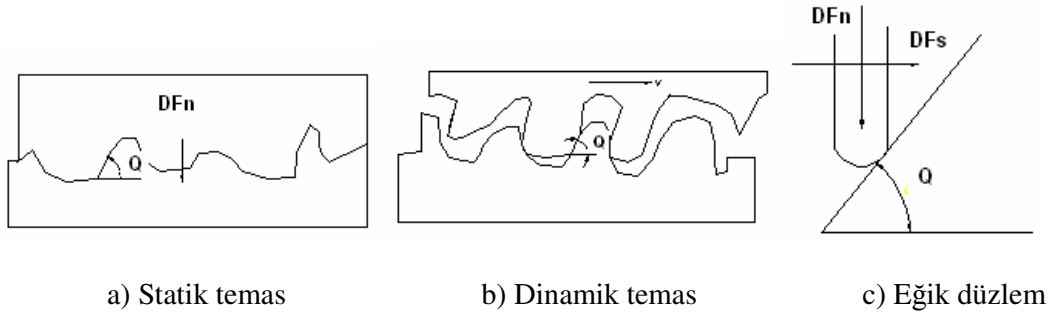
Tekniğin her sahasında malzemelerin sürtünme özelliklerinden ve sürtünme kuvvetinden faydalanılarak çeşitli konstrüksiyonlar gerçekleştirilmiştir. Örneğin; kavramalarda olduğu gibi bir güç nakli, frenlerde olduğu gibi hareket halinde bulunan bir makinenin kinetik enerjisinin alınarak durdurulması, yani bir gücün yutulması veya sevk ve hareket silindirlerinde olduğu gibi bir hareketin iletilmesi gibi çok çeşitli hareketler de olabilir (Karamış, 1995).

## 2.1.2 Sürtünme Teorisi

İlk mekanik sürtünme teorisini kuran Amontons Coulomb'un buldukları temel sürtünme kanunları şunlardır (Halling, 2000). Sürtünme Teorisi;

1. Katı cisimler arasında sürtünme görünen temas alanından bağımsızdır.
2. Sürtünme kuvveti normal kuvvetle doğru orantılı olup, aralarında sürtünme katsayısı olarak tanımlanan sabit bir oran vardır.
3. Kinetik sürtünme kayma hızından bağımsızdır.

Sürtünmede en önemli faktör pürüzlerin etkileşmesidir. Buna göre sürtünme rijit yani deformasyona uğramayan pürüzlü noktaların teması sonucu meydana gelir. Şekil 2.2'de Colulomb'un sürtünme modeli görülmektedir.



**Şekil 2.2** Coulomb'un Sürtünme Modeli

Burada  $DF_s$ ; Sürtünme kuvvetini,  $DF_n$  normal kuvveti ifade eder.  $Q$  ise pürüzün taban açısıdır.

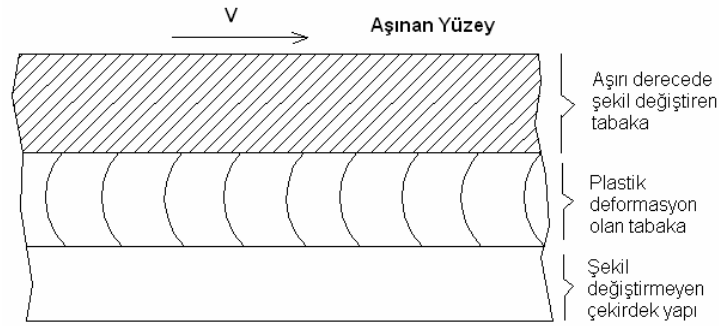
Statik haldeki sürtünmenin dinamik sürtünmeden daha büyük olmasının sebebi temas başlangıcındaki yüzeylerdeki pürüzlerin birbirini tam kavramasına, dolayısıyla bu temasın bozulması için daha fazla sürtünme kuvveti gerektirmesine bağlıdır. Dinamik sürtünmede pürüzler birbiri üzerinden sıçrayarak hareket ettikleri için daha az sürtünme kuvveti gerektirir. Ayrıca yağlayıcı ara maddeler pürüz boşluklarını doldurarak, pürüzlülüğün etkisini, dolayısıyla sürtünmeyi azaltır (Tabor, 2000).



Temas alanının sürtünme esnasında büyümesi için yüzeylerin ideal temiz ve sünek olması gerekir. Rigney ve Hirth Sürtünen yüzeylerden itibaren mikro yapının değiştiğini tespit ettiler. Şekil 2.3 incelendiğinde temas yüzeyinden itibaren malzeme yapısı aşırı ince taneli, plastik deforme olan ve deforme olmayan olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Sürtünme esnasında yüzey tabakaları içinde çok büyük kayma şekil değişimleri meydana gelerek yüzeyde yorulmalar oluşur. Katılar arasındaki sürtünmenin muhtemel iki sebebi vardır; (Rigney and Hirth, 2001)

1. Yüzeyler arasındaki etkileşme mekanizması
2. Yüzeyler arasındaki enerji kaybı

Yüzeyler arasındaki etkileşme mekanizmasının genel olarak sistem girişindeki değerleri kapsar. Temas eden iki katı cisim arasındaki bağıl sürtünme hareketi esnasında sürtünme kuvveti tarafından bir iş yapıldığından temas yüzeyinde bir enerji açığa çıkar. Bu enerji tribolojik sistemin giriş ve çıkış enerjileri arasındaki farka eşit olup, sürtünme enerjisi olarak adlandırılır (Mutlu, 2002).



**Şekil 2.3** Sürtünmenin Malzeme Yapısı Üzerine Etkisi

### 2.1.3 Sürtünme Kanunları

1- Hareketi meydana getirmek için gereken yüzeysel kuvvet genelde tipik bir plastik deformasyondur.

2- Harekete karşı koyan kuvvetin yönü zıttır.

3- Tatbik edilen yük ve sürtünme kuvvetinin oranı gerçek temas alanı ile malzeme sabiti ve temas halindeki yüzeylerin karakteristiklerinin çarpımına eşittir.

4- Gerçek temas alanı, görünürdeki temas alanından büyüktür ve daha fazla iki yüzey arasındaki etkileşimlere yön verir.

5- Genel anlamda, sürtünme kuvveti ile kayma hızı arasındaki ilişki çok zayıftır.

6- Yüzey pürüzlülüğü ile sürtünme kuvveti arasında çok zayıf bir ilişki vardır.

Birçok sürtünme olayı bu kanunlara uymaktadır. Kaymada düşük kesme gerilmesi (s) ve yüksek akma basıncı (P), düşük sürtünme oluşturur.

Sürtünme kuvveti bildiğimiz gibi, bir cismin hareketine karşı koyan kuvvettir. Eğer cisim bir zemin üzerinde hareket ediyorsa, bu kuvvet; cismin alt ve zeminin üst yüzeylerini oluşturan atom veya moleküllerdeki, zıt işaretli yerel elektrostatik yük dengesizliklerinin birbirini çekmesinden kaynaklanır.

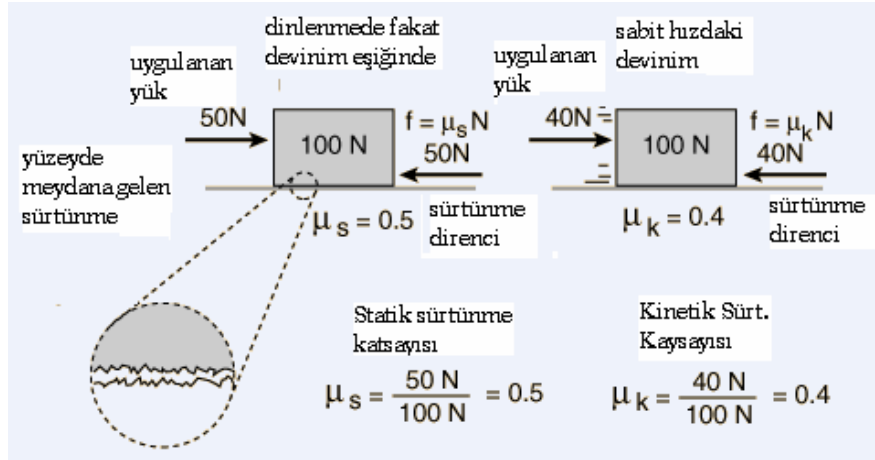
Bu durumda sürtünme katsayısı, cismin durağan ve hareket halleri için farklı değerler alır. Birinci hal için durağan (statik), ikinci hal içinse devingen (dinamik) sürtünme katsayılarından bahsedilir.

Örneğin yatay bir zemin üzerindeki bir cisim için 'durağan sürtünme' katsayısı, cismi durağan halden harekete geçirmek için gereken yatay kuvvetin (FY), cisim üzerinde etki eden dikey kuvvetlerin toplamına (FD) oranı olarak tanımlanır. Yani, eğer sürtünme katsayısı  $\mu$  ise,  $FY = \mu \cdot FD$ 'dir.

Dolayısıyla sürtünme katsayısını belirlemek için; varsayalım ki cisim zemin üzerinde duruyor ve biz onu, üzerine giderek artan bir yatay kuvvet uygulayarak harekete geçirmeye çalışıyoruz.

Cismin kütlesi  $m$  olsun ve üzerinde, ağırlığından başka hiçbir dikey kuvvet bulunmasın. Cisim harekete geçtiği anda uygulamakta olduğumuz yatay kuvvet  $F_Y$  ise, sürtünme katsayısı  $\mu = F_Y / (mg)$  olarak hesaplanabilir. Bu, durağan sürtünme katsayısıdır.

Hâlbuki sürtünme, cisim harekete geçtikten sonra azalır. Bu yüzden; hareket haline geçen cismin giderek hızlanmaması, yani ivme kazanmaması için, uygulamakta olduğumuz yatay kuvveti, artık azaltmamız gerekir. ‘Dinamik’ sürtünme katsayısını hesaplamak için; cismi yatay zemin üzerinde sabit hızla hareket ettiren bu daha küçük yatay kuvvetin  $m \cdot g$ 'ye oranını almak yeterlidir. Her iki durumda da, uyguladığımız yatay kuvvet, ters yöndeki sürtünme kuvvetini dengelemekte, sonuç olarak cisim üzerinde sıfır yatay kuvvet etki etmektedir. Sürtünme katsayısı belirlenirken cismin ivmeleniyor olmaması, yani sabit hızla hareket ediyor olması gereği buradan ( $F = m \cdot a = 0$ ) kaynaklanır.



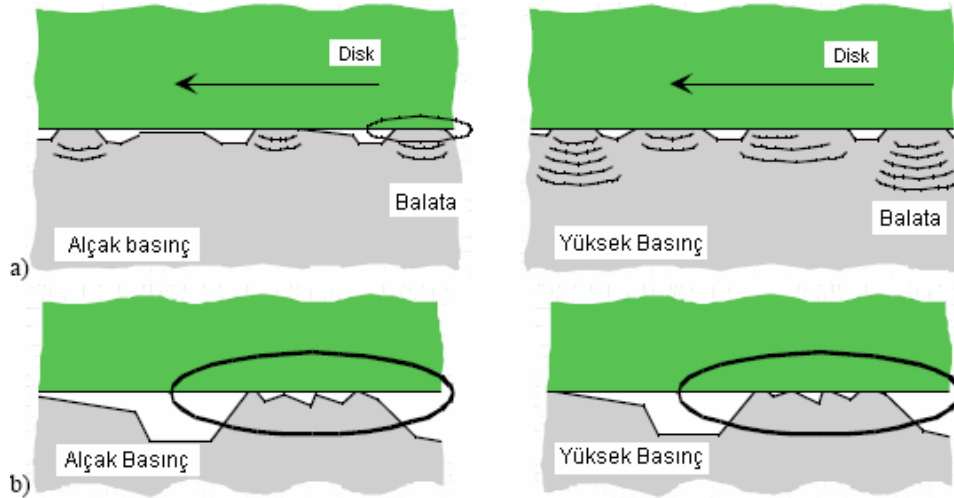
Şekil 2.4 Statik ve Kinetik Sürtünme Katsayısı (İnt.Kay. 1)

Son araştırmalarda kinetik sürtünme katsayısının hız aralığının her noktasında hızın bir fonksiyonu olmasına karşılık, statik sürtünme katsayısının temas süresinin fonksiyonu olduğu görülmüştür (Halling, 2000).

Hava veya su gibi bir akışkanın içinde hareket eden bir cismin üzerindeki sürtünme kuvveti ise, atom veya moleküller arasındaki elektrostatik çekimden çok, akışkanı oluşturan atom veya moleküllerin cisimle çarpışmalarından kaynaklanır. Dolayısıyla; sürtünme kuvveti cismin hızına bağlıdır ve hızın karesi veya küpüyle orantılı olarak değişebilir. Bu durumda sürtünme katsayısı kullanmak yerine, sürtünme kuvveti doğrudan ölçülür (Mutlu, 2002).

Bunun için, cismi bir rüzgâr veya akışkan tüneline sabit tutup, akışkanı cismin üzerine doğru, ilgi konusu olan hızla göndermek ve akışkanın cismin üzerinde uyguladığı kuvveti ölçmek yeterlidir. Çünkü bu sürtünme kuvveti, cismin durağan akışkan içerisinde “v” hızıyla hareket etmesi halinde karşılaşılabilecek sürtünme kuvvetine eşittir. Dolayısıyla, cismin farklı hareket hızları için karşılaşılabilecek sürtünme kuvvetleri ölçülebilir ve bu verilerden hareketle, hızla kuvvet arasındaki ilişki deneysel olarak formüle edilebilir.

Düşük ve yüksek basınçlarda yüzeyde meydana gelen sürtünme de değişmektedir. Düşük basınçta sürtünme malzemesinin yüzeye teması yüksek basınca göre daha az olmaktadır. Deneysel çalışmalarda sürtünme ile ilgili yapılan çalışmalar farklı basınçlar altında gerçekleştirilmektedir.



**Şekil 2.5** Alçak ve Yüksek Basınçlarda Meydana Gelen Yüzey Şekilleri

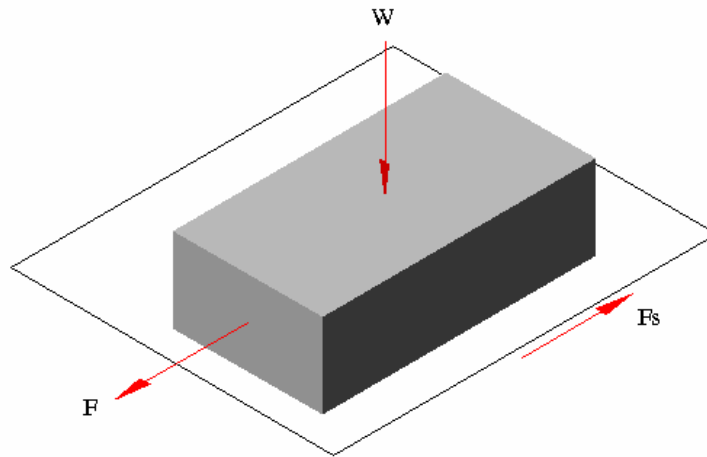
Günümüzde kullanılan frenlerde, fren sürtünme katsayısı genellikle  $\mu = 0,3-0,4$  arasında değişmektedir. Balata yüzeyine gelen ortalama fren basınçları ise  $P = 6-8$  MPa arasındadır. Bu değer 12 MPa' a kadar çıkabilmektedir.

Bu konularla ilgili yapılan çalışmalarda; Sanders, fren dinamometresi kullanarak fren sisteminde sürtünme davranışlarını incelemiş temas basıncı, ısı ve kayma hızı gibi lokal şartların bir fonksiyonu olarak sürtünme katsayısını tespit etmiştir

Sonuç olarak, sürtünme olayı farklı faktörlerden etkilenmekte ve başlangıçta her yüzey bir malzemenin oluşmakta iken sürtünmenin devam etmesi ile bir malzemenin küçük parçacıkları diğerine transfer olarak sürtünme yüzeylerinde değişimlere yol açmaktadır. Bu değişimler hiçbir zaman sabit kalmayıp alternatif dalgalarda halinde kendini göstermektedir (Karamış, 1995).

#### 2.1.4 Sürtünme Katsayısı

Kuru sürtünmeyi ifade etmek için Şekil 2.6'daki model kullanılmaktadır. Buna göre izafi hareket yapan ve normal bir kuvvetin etkisi altında birleşen iki cismin temas yüzeyleri arasında harekete karşı sürtünme kuvveti meydana gelmektedir.



Şekil 2.6 Kuru Sürtünme Modeli

Şekil 2.6’da basit temas durumunda olan W ağırlığının düz ve yatay bir düzlem üzerinde hareketsiz bulunduğu varsayılabilir. Bu kütleye küçük bir F kuvveti uygulanırsa kayma olmadığı görülür, yani cisim hareketsiz halde kalır. Bu durum Newton kanununa göre temas alanında oluşan sürtünme kuvvetlerinin diğer anlamda statik sürtünmenin, uygulanan F kuvveti ile tamamen eşit ve bu kuvvete ters yönde olduğunu açıklar.

Sürtünme olayını açıklamaya çalışan birçok teori vardır. Bunlardan gerçeğe en yakın olanı Bowden ve Tabor’ un kaynak bağları teorisidir. Bu teoriye göre sürtünme iki temel faktörden kaynaklanmaktadır. Bunlardan birincisi kuvvetli adhezyondaki gerçek kontak bölgesinde oluşur. Bu bölgede kaynak bağlar meydana gelir ve bu bağların parçalanmasını sağlayan kuvvet  $F_s$ ’dir, diğeri ise sert yüzeydeki çıkıntuların yumuşak olan yüzeyde sürtünme anında açtığı yol için harcadığı (S) kuvvetinin etkisidir (Bowden and Tabor, 1964).

Toplam sürtünme kuvveti  $F = F_s + S$  ‘dir. Genellikle “S” kuvveti ihmal edilir ve böylece  $F = F_s$  olarak yazılabilir. Sürtünme kuvvetleri uygulanan kuvvetlerin bileşkesine eşit ve ters yönde olur, böylece herhangi bir yatay hareket meydana gelmez. Buna göre bağlı hareket eden ve normal bir kuvvetin (W) etkisi altında bulunan iki cismin temas eden yüzeyleri arasında harekete karşı bir  $F_s$  sürtünme kuvveti oluşur.

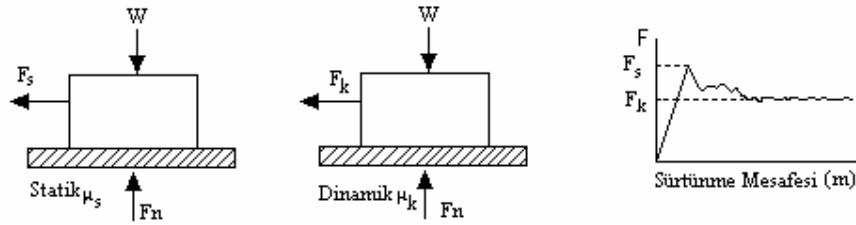
$$F_s = \mu \times W \quad (2.1)$$

Bu ifadedeki ( $\mu$ ) değeri iki malzeme yüzeyine bağlı olarak değişen sürtünme katsayısı değeridir. Fren ve kavrama gibi sürtünme esasına göre çalışan makine elemanları hesabı “ $F_s = \mu \times W$ ” denkleminde dayanır. Sürtünme kuvvetini üç kural halinde açıklayabiliriz:

Sürtünme kuvveti, normal kuvvetle orantılıdır. Bu oran  $F_s / W$  ‘nin sürtünme katsayısı  $\mu$ ’yü ifade ettiği ortaya çıkar  $\mu = F_s / W$  olur.

Sürtünme kuvveti, görünür nominal temas alanına ( $A_a$ ) bağlı değildir. Bu yüzden büyük ve küçük cisimlerin sürtünme katsayıları aynıdır ve sürtünme kuvveti kayma hızından ( $v$ ) bağımsızdır;

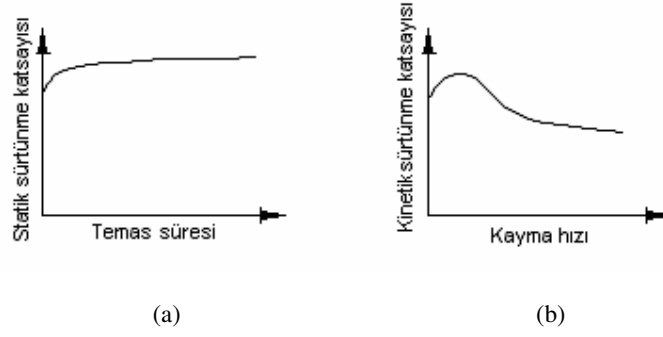
Üçüncü kuralda durum çok farklıdır, kaymayı başlatmak için gereken sürtünme kuvvetinin genellikle kaymayı sürdürmek için gereken kuvvetten büyük olduğu bilinir. Buradan iki sürtünme katsayısı olduğu teorisine varılır, bunlar statik sürtünme katsayısı ( $\mu_s$ ) ve kinetik sürtünme katsayısı ( $\mu_k$ ) dır.



**Şekil 2.7** Dinamik ve Statik Sürtünme Katsayısının Farklılıkları (Akkurt, 1999).

Sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) TS 555'te, disk veya kampana ile fren balatası arasındaki sürtünme kuvvetinin, normal kuvvete oranıdır diye tanımlanır. Yine TS 555'e göre sürtünme katsayısı sıcak ve soğuk sürtünme katsayısı olmak üzere ikiye ayrılır. Soğuk sürtünme katsayısı, 1050 kPa basınç altında aşınma deneyi esnasında 100, 150 ve 200 °C'de ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır.

Son araştırmalarda kinetik sürtünme katsayısının hız aralığının her noktasında hızın bir fonksiyonu olmasına karşılık, statik sürtünme katsayısının temas süresinin fonksiyonu olduğu görülmüştür. Statik sürtünme katsayısı-zaman ve kinetik sürtünme katsayısı-hız bağıntısı Şekil 2.8'de grafik halinde görülmektedir (Karamış, 1995).



**Şekil 2.8** a) Statik sürtünme katsayısının zamana göre değişimini b) Kinetik sürtünme katsayısının hıza göre değişimi

Şekil 2.8' deki grafikte;

a- Statik sürtünme katsayısının zamana göre değişimini,

b- Kinetik sürtünme katsayısının hıza göre değişimi gösterilmektedir.

Kaymayı başlatan kuvvet  $F_s$  ile temas yüzeyine etki eden normal kuvvet  $F_n$  arasında  $F_s = \mu_s \times F_n$  bağıntısı bulunur. Burada  $\mu_s$  statik sürtünme katsayısıdır. Kayma başladıktan sonra sürtünme kuvvetinde bir azalma olur. Bu durumda  $F_k = \mu_k \times F_n$  ilişkisi geçerlidir. Burada  $\mu_k < \mu_s$  olur.

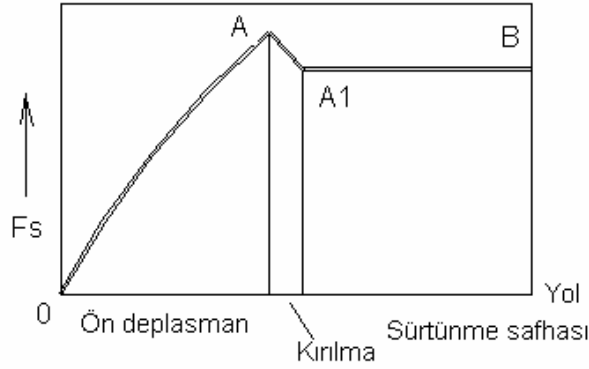
Sıcak sürtünme katsayısı ise 1050 kPa basınç altında 300, 350 ve 3000 kPa basınç altında 350, 400 °C sıcaklıklarda ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Balata kalitesini belirlemede sürtünme katsayısı aralıkları TS 555'te verilmiştir. Çizelge 2.1'de sürtünme katsayısına göre balataların sınıflandırılması görülmektedir.

**Çizelge 2.1** TS 555'e Göre Balataların Sınıflandırılması (Dönmez, 2000)



### 2.1.5 Sürtünmenin Ölçülmesi

Pratikte pürüzlülük ve adhezyon birlikte sürtünmeyi meydana getirdiğinden sürtünme teorisine "Mekanik moleküler sürtünme teorisi" adı verilmektedir. Yüzey sürtünmesi, temas eden katı cisimlerin izafi hareketleri esnasında gerçek temas alanlarında hareketi sağlayan sürtünme kuvveti tarafından yapılan işin enerjiye dönüşmesi işlemidir. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi statik halden kaymanın başlamasına kadar sürtünme kuvveti ani olarak yükselir. OA arasında adhezyon meydana gelir ve temas noktalarında mikro kaynak bağları teşkil eder. AA<sub>1</sub> arasında mikro kaynak bağları kayma hareketinin etkisiyle kırılarak sürtünme kuvveti A<sub>1</sub> noktasına kadar düşer. A<sub>1</sub>B arasında ise kararlı sürtünme olan dinamik sürtünme meydana gelir.



Şekil 2.9 Sürtünme Kuvvetinin Kayma Esnasındaki Değişimi

Taşlanmış yüzeylere sahip çelik-çelik sürtünmesinde sürtünme katsayısının, pürüzlülük arttıkça yükseldiği görülmüştür. Bir başka çalışmada ise taban açıları farklı konik pürüz grupları ile çelik yüzeyleri arasında yapılan sürtünme deneylerinde sürtünme katsayısının konik ucun taban eğiminin artışıyla yükseldiği tespit edilmiştir (Odabaş, 1991). Sürtünme uygulamalarının çoğunda aşağıdaki değişkenlerin birinin diğerine etkisi olarak ele alınır (Mutlu, 2002).

- **Yük İle Sürtünme Katsayısının Değişimi:** Yük artışı ile sürtünme katsayısı artarsa şiddetli kayma davranışı gözlenir.

- **Kayma Zamanı İle Sürtünmenin Değişimi:** Bu kavram genelde bazı yüzey kaplamalarının aşınmasını ya da kayma sisteminde mevcut bazı malzemelerin bozulmasını oluşturur.
- **Kayma Hızı İle Sürtünmenin Değişimi:** Ortalama kayma hızlarında, sürtünme hız eğrisinin ölçümü ile kayma yapışmaya doğru eğilim olduğu görülür. Kayma yapışma bağıntısı yay sabiti değiştirilebilen bir dinamometre ile bulunabilir. Yüksek hızlarda, yüksek ara yüzey sıcaklığı yumuşamaya ve erimeye neden olur.
- **Sıcaklık-Sürtünme Değişimi:** Yüksek sıcaklıkların yağ filmine etkisi olumsuzdur, sürtünmeyi artırıcı yönde olduğu söylenmektedir (Karamış, 1997).

## 2.1.6 Sürtünme Kuvvetine Etki Eden Faktörler

### A) Genel Faktörler

Keskin uçlu sert bir yüzeyin yumuşak yüzey üzerinde hareket etmesi durumunda yumuşak yüzey üzerinde sertliği ve keskinliği oranında çentik meydana getirir. Çentiğin açılmasında sarf edilen deformasyon enerjisinin sürtünme kuvvetinden sağlandığı söylenebilir. Çentik etkisinden dolayı sürtünme kuvveti değeri çentik büyüklüğüne bağlı olarak artmış olur.

### B) Yüzey Sıcaklığı Faktörü

Sürtünme olayında harcanan gücün büyük bir bölümü sürtünme sonucu meydana gelen ısıya dönüşür. Bu ısı enerjisinin yaklaşık hepsi temas bölgelerinde üretilir. Bunun sonucu oluşan yüzeydeki sıcaklık dağılımını belirtmek oldukça zordur. Çünkü bu sıcaklık yüzeylerin farklı noktalarında büyük ölçüde değişir.

Yüzey sıcaklığını ölçmede kullanılan termokupllar, sürtünen yüzeylerin yakınına konularak sürtünme olayı sırasında oluşan sıcaklığı ortalama değer olarak verdiğinden, noktasal sıcaklığın değerlendirilmesi de oldukça zordur (Gemalmayan, 1984).

### 2.1.7 Sürtünme Malzemelerindeki Aşınmanın İncelenmesi

Aşınma, mühendislikte düzenli olarak karşılaşılan üç problemten biridir. Diğer ikisi ise, kırılma ve korozyon'dur. Sürtünme ve aşınma yüksek mühendislik uygulamaları için malzeme seçiminde önemli parametrelerden biridir. Yüksek mühendislik uygulamaları için parçaların tasarımında, doğru uygulamalar için doğru malzemelerin seçimine dikkat etmek zorundadırlar. Çoğu sürtünme malzemeleri genellikle kırılma dayanımı ve sertlikleri gibi mekanik özellikleri için optimize edilirler. Oysaki bu mekanik özellikler tek başına aşınma için güvenilir bir tercih değildir. Farklı durumlardan dolayı meydana gelen aşınma sonucu birbiriyle sürekli temas halinde olan yüzeyler arasında meydana gelen boşluklar çalışma esnasında beklenilmeyen sonuçlar oluşturarak istenilen durumların oluşmasını güçleştirir (Mimaroglu vd., 2001).

Genellikle balata malzemelerin aşınması fiziksel, kimyasal ve sistem değişikliklerine neden olan karmaşık bir işlemdir. Sürtünme ve aşınma özellikleri üzerinde test sıcaklığı, kayma hızı, uygulanan kuvvet ve çevrenin önemli etkisinin olduğu bilinmektedir (Childs and Parker, 1999). Yüksek sıcaklıklarda otomobildeki sürtünme malzemelerinin aşınma oranında önemli artışlar olduğu görülmüştür. Bu artışın sebebi ilk kimyasal tabakadan sonra, temiz yüzeyin yeniden farklı bir kimyasal tabakaya dönmesindedir. Otomobillerdeki sürtünme malzemelerinin Sıcaklık ve dönme hızının artması ile yüksek aşınmadan düşük aşınmaya ve arkasından yüksek aşınmaya gidip geldiği gözlemlenmiştir (Mimaroglu vd., 2001).

Sürtünme esnasında malzemede yüzey ve yüzey altı çatlaklar oluşur, bu çatlaklar birleşir ve malzemedен küçük parçacıklar ayrılır. Aşınma esnasında oluşan partiküllerin sürtünmesi sonucu ince tozlar oluşur. Bunun için metaller kırılmadan önce yüksek temas gerilmelerini azaltmak için plastik olarak deforme olurlar (Ajayi and Ludema, 1998).

Kayma çiftlerinin tribolojik davranışı, uygulanan yüke, çevre şartlarına ve mikroyapı gibi parametrelere bağlıdır. Kayma hızı, uygulanan yük, ortamın ısısı, kayma yüzeyinin

son durumu, tane boyu, tane şekli ve gözenek gibi birçok etken sürtünme ve aşınmada etkili olabilir (Childs and Parker, 1999., Habig and Woydt, 1999).

Bazen sürtünme kuvvetinin, fren ve balata ara yüzeyinde eşit dağılmadığı bilinmektedir. Sürtünme kuvveti, sürtünme işleminin her çevriminde değişir. Özellikle uzun süreli frenlemelerde sürtünme yüzeyindeki sıcaklık ve frenleme kuvveti periyodik olarak değişir. Bu değişim de sürtünme katsayısının azalan ve artan değerlerde olmasına sebep olmaktadır (Lee and Barber, 1997).

### **2.1.8 Aşınmanın Neden Olduğu Zararlar ve Aşınma Çeşitleri**

Aşınma, yeni yapılacak olan makine parçalarında ve tasarımlarda çok önemli sonuçlar ortaya çıkartmaktadır. Birbiri ile çalışan yüzeylerde meydana gelen sürtünmeden dolayı güç kayıpları ve aşınmadan dolayı, işleme toleranslarının azalmasına neden olmaktadır. Aşınma nedeniyle oluşan hasarlar büyük maliyetlere neden olmaktadır. Aşınmış ve dolayısıyla kullanılamaz duruma gelmiş parçaların yenilerinin alınması ek bir maliyet getirmektedir.

Birbiri ile temas halindeki malzemelerin belirli bir zorlanma nedeniyle farklı aşınma türleri meydana gelmektedir. Sürtünerek çalışan malzeme çifti arasındaki karşılıklı zorlama neticesinde meydana gelen aşınmanın değişik türleri vardır ve bundan dolayı farklı sınıflandırılmaları gerekmektedir. Aşınma; yağlayıcı tipi, sıcaklık, yük, hız, malzeme, ürünün yüzey bitirme işlemi ve sertlik gibi özelliklerinin değiştirilmesinden etkilenmektedir.

Aşınma çeşitleri şu şekildedir;

- |                     |   |
|---------------------|---|
| 1-Korozyon Aşınması | 5- Fretting Aşınma                      |
| 2-Erozyon Aşınması  | 6-Abrasiv Aşınma                        |
| 3-Isıl Aşınma       | 7-Adhesiv Aşınma (Mimaroglu vd., 2001). |
| 4-Yorulma Aşınması  |   |

## **2.2 Otomobillerdeki Fren Sistemleri**

Fren sistemi taşıtın en önemli sistemidir. Fren sistemindeki problem giden arabayı durduramazsanız başlar, duran araba mutlaka çalışır ya da alternatif bir taşıt bulabiliriz. Frenler enerji değişim araçlarıdır, kinetik enerjiyi (momentum), termal enerjiye (ısı) çevirirler.

### **2.2.1 Fren Sisteminin Parçaları**

Fren ana merkezi, hemen ön tarafta direksiyon hizasında kalır, direk olarak fren pedalına bağlantılıdır ve ayağınızın mekanik basıncını hidrolik basınca dönüştürür. Çelik "fren boruları" ve "esnek fren hortumları" ana merkezi her bir tekerlekte bulunan "fren silindirlerine" bağlar. "Fren hidroliği" ise çok zor şartlarda çalışmak üzere tasarlanmış olup sistemi tümüyle doldurur.

"Ön balatalar" ve "arka pabuç balatalar" ise fren silindirleri tarafından itilip, "ön fren disklerine" ya da "arka kampanalara" sürülerek meydana gelen sürtünme kuvvetiyle aracın yavaşlaması sağlanır.

Son yıllarda frenlerin tasarımı büyük değişikliğe uğramıştır. Yıllardır ön frenlerde kullanılan diskler, modern araçlarda arka kampanaların yerini almaya başlamıştır. Buradaki önemli etken basit tasarımları, hafiflikleri ve daha iyi performans sağlamaları olmuştur. Bunun sebebi ise tasarımları gereği kampanalara göre daha çabuk soğumaları ve böylece aşırı ısınma ortaya çıkaran zor fren şartlarında çok başarılı olmalarıdır. Çabuk soğumalarının sebebi ise havalandırma kanallarının olmasıdır. Kampanalarda ise havalandırma kanalları yoktur, eğer olsaydı içlerinde su toplanarak daha başka

problemlere meydan verirdiler. Disk frenler ise tasarımları gereği suyu hemen savurup atarak daha iyi havalandırma sağlarlar (Stringham, 2001).

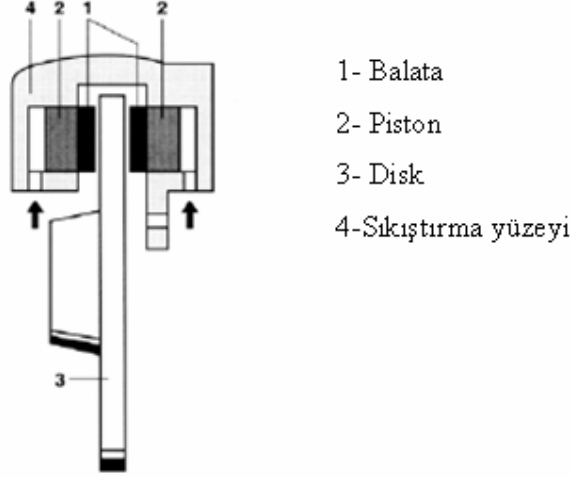
### 2.2.2 Disk Fren Sistemleri

Diskli frenlerde ısınan hava'nın iletilmesinin kolay olması ve her iki dönüş yönünde aynı frenleme torkunu sağlamaları nedeniyle otomotiv alanında en çok kullanılan fren sistemidir (Anderson et. al., 1997). Diskler yüzeydeki yabancı maddelerden kolay kurtulur. Diskli fren balatasının disk üzerindeki kuvvet dağılımı kampanalı fren tipine oranla daha kararlı ve daha homojendir. Yüksek hızlardaki frenlemede, ani kavrama eğilimi daha düşüktür. Diskli frenlerde sürtünme, diskin iki tarafında meydana gelmektedir.

Disk frenler süspansiyon elemanlarına tutturulmuş "kaliperlere" yerleştirilmiş fren balatalarının diskleri bir kıskaç ya da mengene gibi sıkıştırması ile bir sürtünme sağlar. Kaliperlerin içinde ise pistonlar ana merkezden aldıkları kuvvet ile balatalara basınç sağlarlar, balatalarda fren diskine sürtünüp aracı yavaşlatırlar. Disk frenler ile bisiklet frenleri aynı prensiplerle çalışırlar.



**Resim 2.1** Disk Fren Sistemi



**Şekil 2.10** Disk Fren Sistemi Şematik Görünüşü

Disk frenler, diğer birçok otomotiv buluşları gibi, oto yarışları için geliştirilmişlerdir, fakat şimdilerde bütün araçlarda standart parça haline gelmiştir. Birçok araçta ön frenler disk tipi olup, arkalar ise kampana tipi frenlerdir. Kampana tipi frenler iki tane yarım daire şeklinde pabuç balata kullanır ve bu pabuçlarda dışarı doğru açılıp, kampanaların iç yüzeylerine basınç uygularlar. Eski araçların dört tekerinde de kampana tipi fren varken şimdilerde birçok otomobillerde dört tekerde disk fren uygulanmaktadır.

Disk frenler suları kampana tipi frenlere göre daha kolay savurduğundan ıslak şartlarda daha iyi bir performans gösterirler. Ama bu sudan etkilenmedikleri anlamına gelmemelidir. Eğer bir su birikintisine hızla girip ve de fren yapmaya kalkarsanız, ilk birkaç saniye frenleriniz çalışmayabilir. Disk frenler daha iyi hava soğutması sağladıklarından performansları daha iyidir. Bazı disklerde ise performansı daha da arttırmak için hava kanalları da bulunabilir (Boz, 1999).

Diskli frenler oldukça verimlidirler ve aşırı ısınmadan doğan balata ile disk arasındaki 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.

Açık havada oldukça elverişlidir örneğin kuru veya yağışlı havada kolayca çalıştıkları tespit edilmiştir ayrıca çok küçük sürtünme yüzeylerine sahiptirler. Diskli frenlerde sürtünme yüzeyi çok dar olduğundan daha büyük frenleme kuvvetlerine ve basınçlarına ihtiyaç duyulabilir frenlemenin daha stabil olarak çalışmasını sağlar ve yüksek hızlardaki durmalarda tutukluk meydana gelmez.

Disk frenler süspansiyon elemanlarına tutturulmuş "kaliperlere" yerleştirilmiş fren balatalarının diskleri bir kısıkaç ya da mengene gibi sıkıştırması ile bir sürtünme sağlar. Kaliperlerin içindeki pistonlar, merkez silindirinden aldıkları kuvvet ile balatalara basınç sağlarlar, balatalar da fren diskine sürtünüp aracı yavaşlatırlar.

Frenleme esnasında balata dönmekte olan kampana/disk'e basınç uygulayıp sürtünme meydana getirir. Araç sürtünme kuvvetinin yavaşlatma etkisi ile kontrollü olarak yavaşlar veya durur. Yani aracın kinetik enerjisi hızının karesi ile kütesinin çarpımının yarısına eşittir.

$$E_k = \frac{1}{2} M \times V^2 \quad (2.2)$$

Denkleme göre otomobilin hızı iki katına çıkarsa kinetik enerji dört kat artar. Bu nedenle aracı durdurmak için gereken frenleme enerjisinin de taşıt hızının karesi ile artacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Örnek olarak V hızı yerine 2V alınırsa;

$$E_k = \frac{1}{2} M \times (2V)^2 = \frac{1}{2} M \times 4V^2 = 2M \times V^2 \quad (2.3)$$

olur. Disk frenlerde sürtünme kuvveti

$$F = 2 \times \mu \times N \quad (2.4)$$



$$R_0 = \frac{R_2 + R_1}{2} \quad (2.5)$$

$$T_B = 2 \times \mu \times N \times \frac{R_2 + R_1}{2} \quad (2.6)$$

$$T_B = 2 \times \mu \times N \times R_0 \quad (2.7)$$

$T_B$  = Frenleme torku (Nm)

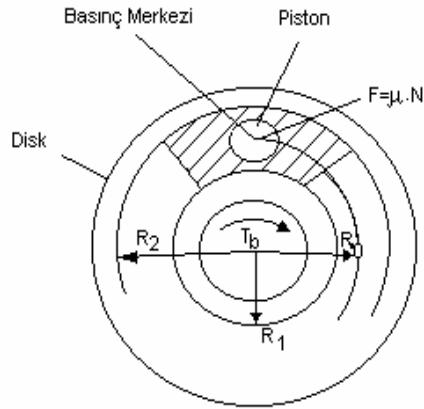
$N$  = Normal reaksiyon tepki kuvveti (N)

$\mu$  = Sürtünme katsayısı

$R_0$  = Balata ortalama yarıçapı (cm)

$R_1$  = Balata iç yarıçapı (cm)

$R_2$  = Balata dış yarıçapı (cm)



**Şekil 2.11** Fren Diskinde Sürtünme

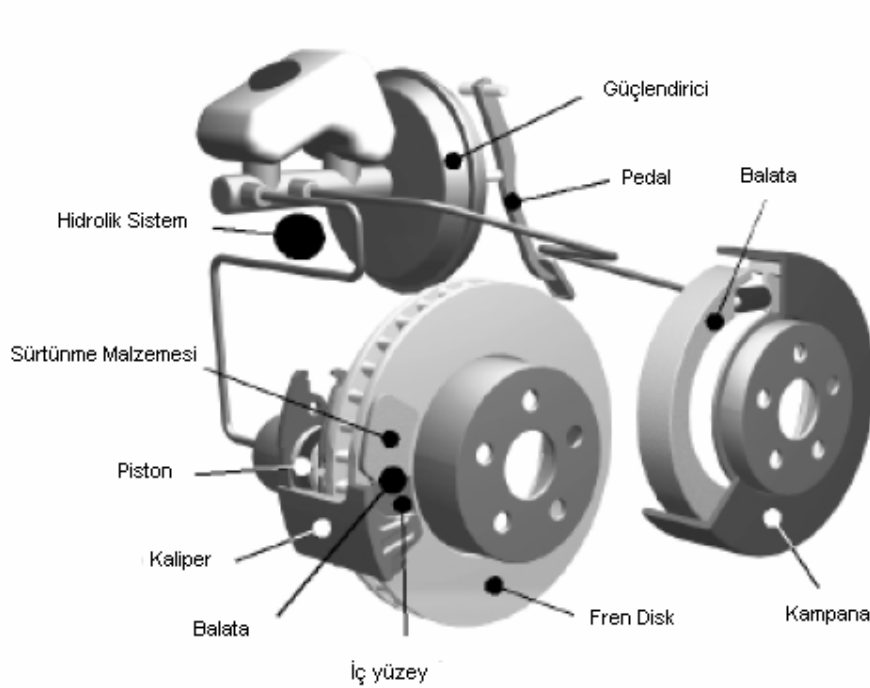
### 2.2.3 Kampana ve Disk Malzeme Özellikleri

Sürtünmeye bağlı sıcaklık artışı nedeniyle disk veya kampananın bozulmadan, minimum deformasyon göstermesi için ısıl genleşme katsayısının büyük olması istenir. Frenleme esnasında kısa zamanda meydana gelen yüksek ısı miktarı, kampana veya

disk tarafından alınıp iletilerek dışarıya verileceğinden, disk ve kampana malzemesinin yüksek ısı iletme kabiliyetine sahip olması istenir.

Disk ve kampana üretiminde perlitik yapıli dökme demir kullanılır. Bu dökme demirin sertliğı 170-255 HB (kg/mm<sup>2</sup>) arasında değışmektedir. Dökme demirde % 3,4 civarında karbon bulunmaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda diskli fren sistemlerinin daha yüksek frenleme kuvvetine sahip olduğı görülmüştür. Ayrıca oluşun sıcaklık diskli sistemde daha çabuk dışarı atılmaktadır ve su ile temasında da balataların ıslanmasını önleyerek suyu kolayca dışarı atabilmektedir. Yüksek frenleme performansı istenen araçlarda arka tekerleklerde de diskli fren sisteminin kullanılması yaygınlaşmaktadır (Erşan, 1998).



Şekil 2.12 Kampanalı ve disk frenin şematik görünüşü

## **2.3 Otomobillerdeki Sürtünme Malzemelerinin Özellikleri**

Balatalar, hareket halindeki aracı çabuk ve emniyetli bir şekilde durdurmada, hareketsiz aracın kendi kendine hareketini önlemede ve yol eğimlerinden oluşan arzu edilmeyen ivmelenmeye mani olmayı sağlamada, fren sisteminin en önemli elemanlarından biridir (Mutlu, 2002). Balataların kullanıldıkları süre içinde zamanla aşınmaya maruz kalmaları sonucu ortama zararlı partikül yaymaları, insan sağlığını etkilemektedir. Balatanın değişik sıcaklıklarda ve ortamlarda çalışması özelliğini olumsuz etkilemekte ve taşıtın sürüş güvenliğini tehdit etmektedir.

Balataların kullanılma ortamları ve kullanım sürelerinin, balataların frenleme özelliklerini etkilemeyecek şekilde geliştirilmesi taşıtın sürüş güvenliğini artıracaktır. Bununla beraber balatalar sağlığa zararlı elementler kullanılmadan üretilirdiği takdirde, taşıtların çalıştıkları ortama bıraktıkları insan sağlığını tehdit edici zararlı maddeler de kısmen azaltılmış olacaktır (Boz, 1999).

Bir taşıtın tekerleğine fren uygulandığında lastik ve yol yüzeyi arasında tekerleğin dönmesine engel olan bir kuvvet oluşur. Bu kuvvet taşıt hareketinin tersine bir kuvvet olup aracın durma mesafesini etkiler. Taşıtın durma mesafesi ise fren verimini etkileyen faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin bir kısmı sürtünen yüzeyler arasındaki frenleme kuvvetini de etkilemektedir. Taşıt sürüş güvenliği ve toplum sağlığı yönünden balataların etkisinin net bir şekilde ortaya konularak açıklanması, bu konunun denetim ve çözümüne yardımcı olacaktır (Mutlu, 2002).

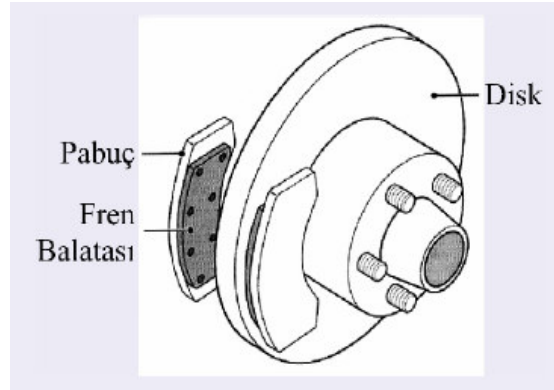
### **2.3.1 Balata ve Taşıt Güvenliği**

Hareket halindeki taşıtlar, bir tehlike anında sürtünmeli veya kaymalı zorlamaya maruz bırakılıp kinetik enerjileri alınır ve yavaşlatılıp durdurulurlar. Bunun yapılabilmesi için sürtünen yüzeylerin oluşturduğu malzeme çiftinin sürtünme katsayısı frenlemede önemli rol almaktadır. İyi seçilmemiş bir balata veya balatanın karşı malzemesi, kötü

bir sürtünme katsayısının ortaya çıkmasına sebep olur ve sürtünen yüzeylerin frenlemedeki tesiri azalır. Sürtünen yüzeylerdeki frenleme tesiri, daha iyi sürtünme kuvveti temin eden malzeme çiftini seçmek veya yapmakla mümkün olur.

Bu malzeme çiftini seçmek veya mevcutlarından daha iyisini yapmak piyasada kullanılan mevcut malzeme çiftlerinin frenlemeye etkisinin bilinmesi ile mümkündür. Mevcut malzeme çiftlerinin frenlemeye etkisinin bulunabilmesi, her malzemenin tesirinin ayrı ayrı değerlendirilmesi ile sağlanabilir.

Aynı zamanda balataların bir süre hava ve yol şartlarında su, nem, yağ gibi yolların olumsuz etkileri ile karşı karşıya kalmaları, sürtünme özelliklerinin kısmen bozulmasına sebep olur. Uzun süreli çalışmalarda balata sürtünme yüzeyi ısının etkisi ile sertleşmekte ve parlaklaşmaktadır. Sert ve parlak yüzey (pürüzlülüğün azalması) sürtünen yüzeylerin birbiri üzerinde daha kolay kaymalarına sebep olmaktadır. Balatanın parlaması ve sertleşmesi balatanın ezilmesi ile ilgili olup sıcaklıkla doğru orantılıdır. Artan sıcaklıkla balata yumuşamakta ve ezilme miktarı artmakta, sonuçta balatalar sıkışarak sertleşmektedir.



**Şekil 2.13** Disk ve Balata Malzemesinin Şematik Resmi

Bu nedenle yeni balatalar yapım aşamasında ezilme, kesme, aşınma, ısı ve suya dayanıklılık gibi testlerden geçirilmekte ve kullanım esnasında, balataların yukarıda açıklanan olumsuzluklar nedeni ile frenlemede meydana getireceği olumsuz etkilerin minimuma düşürülmesi amaçlanmaktadır. Bunu dikkate alan çalışmalarda, pedal kuvvetine maruz bırakılan değişik yapıdaki balataların farklı sonuç vermesi yanında, aynı yapıya sahip eski veya bir süre kullanılmış balataların da farklı sonuç vermelerinin

kaçınılmaz olduğunu belirlemiştir (Erşan, 1998). Frenlemenin yüksek bir verimle yapılabilmesi için disk-balata ara frenleme yüzeyinde minimum aşınmayı sağlayan yüksek kararlı sürtünme katsayısı yer almaktadır.

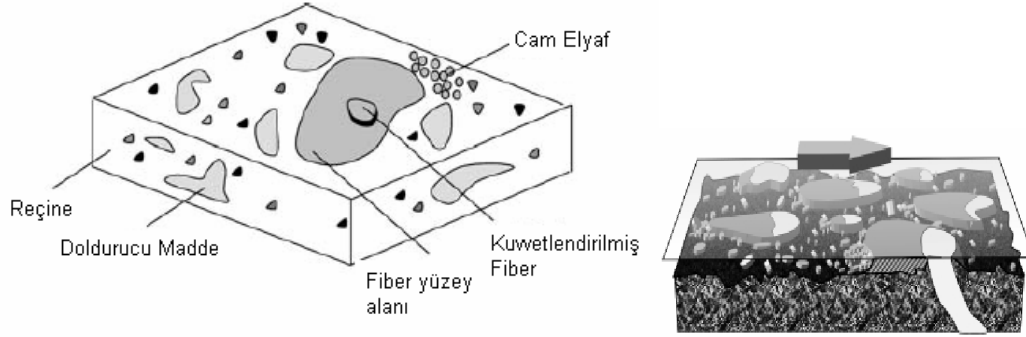
Genel olarak balata malzemeleri üzerine yapılan çalışmalar kompozisyonun değiştirilerek istenen özelliklerin sağlanması üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun yanında fren balata malzeme özelliklerinin üretim parametrelerine ve tane boyutlarına bağlı olarak büyük ölçüde değiştiği yapılan deneyler ile görülmüştür. Kompozisyonlar aynı olsa bile farklı üretim parametreleri ile üretilen balatalar çok farklı özellikler sergileyebilmektedir. Bu yüzden bir balata malzemesi tasarımında kompozisyon, üretim ile birlikte bir bütün olarak incelenip araştırılmalıdır.

Uçak sanayinde kullanımı yoğun olan seramik (C/C, C/SiC, C/BN, C/B C) fren balataları da en son geliştirilen balata malzemeleridir. Özellikle gelişen teknoloji ile birlikte taşıtların hızı, büyüklüğü ve ağırlığı büyük bir artış gösterirken, bu taşıtlarda kullanılan fren sistemlerinin boyutları tam tersine küçülmüştür. Dolayısıyla birim alana düşen enerji miktarı artmıştır ve çalışma sıcaklıkları kullanılan balata malzemesindeki komponentlerin sınırlarını aşmıştır ve oluşan ısının transferinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli yüzey alanı küçülmüştür. Bu şartlar altında fren sisteminin güvenlik sınırlarını aşmadan ve gerekli konforu sağlayacak şekilde çalışabilmesi için araç tipini, yükleme durumunu, kullanım şartlarını da dikkate alarak en uygun balata kompozisyonunun seçilmesi gerekir.

### **2.3.2 Balata Malzemelerinin Kompozisyonu**

Balata malzemeleri, genellikle lifli yapısal malzemeler, metal veya mineral dolgu partikülleri ve katı yağlayıcılardan oluşmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve oranları frenleme performansı üzerinde birinci derecede etkin olması sebebiyle son yıllarda farklı malzemeler ve farklı oranların balata performansı üzerindeki etkileri direkt olarak deneylerle veya geliştirilen optimizasyon metotları ile ya da deneysel tasarım metotları kullanılarak gerek numune sayısını en aza indirip maliyeti düşürmek, gerekse zaman kaybını önlemek bakımından balata kompozisyonu tasarımında önemli yer

tutmaktadır. Balata kompozisyonlarında kullanılan malzemeler sahip oldukları görev bakımından çeşitli gruplara ayrılmaktadır bunlar şu şekildedir.



Şekil 2.14 Balatalardaki Malzemelerin İçyapı ve İzometrik Görünüşü (Eriksson and al., 2001)

### A) Yapısal malzemeler

Yapısal malzemeler balatada mekaniksel dayanım, sertlik, termal stabilite, aşınma direnci ve kararlı bir sürtünme üretir. Genellikle çelik yünü, Cu lifleri, Al lifleri, kaya yünü, cam yünü, seramik lifler ve aramid (kevlar) lifler tek başına veya farklı kombinasyonlarda kullanılır.

Günümüzde, çelik yünü iyi aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda kararlı bir sürtünme sergilemesi nedeniyle kullanım alanı oldukça geniştir, ancak diskte aşınma, kalınlık değişimine, vibrasyon ve gürültüye sebebiyet verirler. Bununla birlikte yapı içerisinde çelik yünü oranının artmasıyla kesikli sürtünmeye olan eğilim şiddetli bir şekilde artırdığı gözlenmiştir. Al lifler içeren bir sürtünme malzemesi, bakır ve çelik yününe göre kayma hızından daha az etkilenir.

### B) Bağlayıcılar

Bağlayıcılar, tüm bileşenleri bir arada tutmak ve kararlı bir matris oluşturmak için kullanılır. Bu malzemeler polimer esaslı olduğundan, yüksek sıcaklıklara dayanıksızdırlar ve sürtünme malzemesinin içinde değişimi en az tahmin edilebilen

komponentlerdir. Genel olarak termoset veya novalac tipte fenolik reçine yer alır ve sönümlemeyi arttırmak için lastik tozu ile birlikte kullanılır (Österle and Urban, 2000).

### **C) Abrasivler**

Abrasivler, disk-balata ara yüzeyinde yüksek ve kararlı bir sürtünme katsayısı sağlamak için katılırlar. Abrasiv olarak kullanılan ZrSiO (zirkonyum silikat) sürtünme torku üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek oranlarda kullanılması durumunda yüksek bir sürtünme katsayısı sağlamasına karşın tork kararsızlığını arttırdığı gözlenmiştir (Jang and Kim, 2000).

### **D) Yağlayıcılar**

Fren sistemlerinde yağlayıcı olarak genellikle grafit, farklı metal sülfidler, antimonite (SbS) gibi katı yağlayıcı tercih edilmektedir. Katı yağlayıcılar normal şartlar altında rotor yüzeyinde sürtünme filmi oluşturur ve bu filmin sürtünme katsayısını öncelikle yüksek sıcaklıklarda stabilize etme, balata-disk aşınma kontrolünü sağlama, gürültü eğilimini azaltma ve vibrasyonu sönümleme gibi çeşitli faydaları bulunmaktadır (Mutlu, 2002).

### **E) Dolgu Malzemeleri**

Dolgu malzemeleri, maliyeti azaltmak ve üretilebilirliğini iyileştirmek için kullanılır. Mika, vermikülit, BaSO<sub>4</sub>, potasyum titanat, aramid lifler, CaCO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> da genelde kullanılan dolgu malzemeleridir (Eriksson et. al., 2002). Taşıtın tipi, yükleme durumu, çevre koşulları, trafik durumu gibi faktörler de göz önüne alınarak uygun bir balata malzemesinin seçimi ve üretim parametrelerinin optimizasyonu ile frenlemeden istenen performansı ve konforu sağlamak mümkündür. Resim 2.2, Resim 2.3, Resim 2.4'de otomobillerde kullanılan farklı tipteki sürtünme malzemeleri görülmektedir.



**Resim 2.2** Disk Fren Balatası



**Resim 2.3** Kavisli Fren Balatası



**Resim 2.4** Pabuçlu Fren Balatası

## 2.4 Literatür Özeti

Balata üretimi ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda genellikle balata bir kompozit malzeme olarak ele alınmış ve bütün katkıları içeren balata bileşimi yerine çok çeşitli elyaf matris bileşimleri incelenmiştir. Bir balatanın bileşiminde bulunması gereken bütün katkılarla yapılan çalışmaların sonuçları ticari önem taşıdığından genellikle yayınlanmayıp patent alma yolu seçilmiştir (Dönmez, 2000). Bu konuda yapılan bazı çalışmalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Hando ve Kato, (1996) Cu, BaSO<sub>4</sub> ve maun ağacı tozunun fren balatalarının sürtünme ve aşınma özelliklerine etkilerini araştırmak için beş türlü katkı maddesi içeren üç grup kompozit incelemiştir. Bir bileşenin oranı sabit tutularak diğer ikisi % 0-40 arasında



değiştirilmiştir. Kompozitlerin tribolojik değerlendirilmesi pim-disk tipi deney düzeneği kullanılarak iki farklı şartta yapılmıştır. Birinci grup deneyler düz yolda hafif frenleme şartlarında, ikinci grup ise uzun bayır aşağı iniş şartlarında (ağır frenleme) yapılmıştır. Her bileşenin etkisini incelemek için birinin oranını artırıp diğerini azaltarak yapılan deneylerde aşınma oranı ve fren zayıflama dayanımları incelenmiştir. Disk fren balataları için yüksek performanslı asbestsiz sürtünme malzemesinde tane yapısı kontrolü üzerine yapılan çalışmalarda yeni geliştirilen sürtünme malzemelerinin temelde yeni bir kavramla üretildiği belirtilmiştir. Bu üretilen malzemelerde balata ile disk sürtünme ara yüzeyinde balata gözeneklerinden gazlar geçirilerek deneyler yapılmıştır. Frenleme zayıflamasını azaltmak için taneler arasındaki gözenek büyüklüğü kıyaslanarak değerlendirilmiştir (Yamashita vd.).

Asbest elyaf takviyeli numuneler kullanarak bir dizi deneyler yapılmıştır. Numunelerde bağlayıcı reçine, demir tozu, asbest, grafit, bakır, alüminyum silika vd. kullanılmıştır. Deneyler dinamometre ve sürekli aşınma deneyleri şeklinde yapılmıştır. Bütün numunelerde artan ilk hızla ortalama sürtünme katsayısının azaldığı, frenleme süresinin arttığı görülmüştür. Yüzey basıncı arttıkça frenleme süresi kısalmaktadır. Deneme aralığı (0,1-0,4 MPa basınç aralığı) sürekli aşınma deneylerinde artan yüzey basıncıyla sürtünme katsayısında önce biraz artma daha sonra düşme olduğu görülmüştür. Artan kayma hızıyla sürtünme katsayısında bir düşme olmaktadır (Yamaguchi, 1990).

Sinterlenmiş yeni bir sürtünme malzemesi üzerine yaptığı çalışmada bakır esaslı kompozit tozlarının mekanik olarak alaşımlandırılarak geliştirildiği yüksek sürtünme kuvveti sağlamak için malzeme temasında uygun partikül sıklığı sağlanmıştır. Bu yeni sürtünme malzemesi kalın ve sert partikül içeren geleneksel sürtünme malzemelerinden daha yüksek sürtünme katsayısı ve daha az aşınma özelliği göstermiştir. Bakır esaslı alaşıma mekanik ve aşınma özelliklerini iyileştirmek için Ni, Fe, Zn yağlayıcı olarak grafit ve MoS<sub>2</sub>, aşınma direncini iyileştirmek için sert partikül olarak SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katılmıştır. Ring-on-disk kayma aşınma test cihazı kullanılmıştır (Kondoh et. al., 1997).

Kevlar'ın sürtünme malzemelerinde kullanımıyla ilgili bir çalışma yapmışlardır. Kevlar pulp ağırlık oranı %0~10 arasında değiştirilerek balata özelliklerine etkisi kamyonet balatasına uygun numuneler üretilerek denenmiştir. Bileşimde ağırlıkça toplam %24

elyaf, %18 bağlayıcı, %54 dolgu maddesi ve %4 sürtünme ayarlayıcı kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda keklar'ın dayanım özelliklerini artırdığı ve artan elyaf oranıyla titreşim sönümlenme etkisinin arttığı görülmüştür. 0,78 MPa basınç ile Kraus deney düzeneği kullanılarak yapılan deneylerde kullanılan bileşim için sürtünme katsayısının denenen elyaf oranı aralığında keklar oranından bağımsız olduğu görülmüştür (Fazan vd., 1988).

Bu özelliği ile keklar pulp balatalarda kenar kırılmasını önlemek, perçin tutma ve diğer anılan yararlarıyla sürtünme malzemesi reçetelerinin optimize edilmesine olanak tanımaktadır. Kraus deney makinesinde 0,59 MPa basınçla 200 ve 0,78 MPa basınçla 200 duruş sonunda yapılan ölçümlerde keklar pulp'un diğer katkı maddeleriyle birlikte balata aşınmasını azalttığı görülmüştür.

Otomotiv frenlerinde sürtünme temasına, yüksek hızda kuru sürtünme ve yüksek temas kuvveti etkiler. Genellikle organik bağlayıcı fren balatası sürtünme malzemesi tipleri yeterli homojen değildir ve çok düşük hacimsel dayanıklılık sergiler. Düşük dayanıma rağmen özel temas yüzeylerinin kullanımı çok iyi aşınma ve sürtünme karakteristiği vermiştir. Dökme demir disklere karşı organik bağlayıcı sürtünme malzemelerinin temas şartları, temas yüzeyi çeşitliliği ve birçok mekanizmadaki özellik ile sürtünme katsayısının çeşitliliği benzerlik göstermektedir (Eriksson, 2002).

## **2.5 Amaç ve Kapsam**

Sürtünme katsayısı test cihazı, otomobillerin disk frenlerinde kullanılan balataların sürtünme katsayısının tespiti için geliştirilmiştir. Sürtünme katsayısını değişik faktörler etkilemektedir. Bunlar, çalışma şartları ve balata imalatında kullanılan malzeme içerikleri olarak ayrılabilir. Çalışma şartlarındaki değişiklikler; farklı devir, sıcaklık, basınç gibi faktörlerdir. Tasarım ve imalatı yapılan test cihazı, taşıt seyir halinde iken oluşan, sert sürüş şartlarında çeşitli termo-mekanik zorlamaları laboratuvar ortamında oluşturur.

Sürtünme katsayısı test cihazında elde edilen değerlerle; sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı-zaman, sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturmak mümkündür. Taşıt

üzerinde bulunan fren sisteminin mekanik kısmı hassas donanımlarla zenginleştirilmiştir. Bu donanımlarla sürüş şartları oluşturulmuştur. Test cihazında doğru ve güvenilir veriler alınarak balata kalitesini belirleme imkânı sağlanır.

### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1 Fren Balatası Test Cihazının Tasarımı İle İlgili Çalışmalar**

Bu çalışmada, sürtünme malzemeleri üzerinde çeşitli çalışma şartlarından dolayı meydana gelen hız, sıcaklık, basınç gibi değişkenlerin incelenmesi için test cihazı üretilmiştir. Bu faktörler, sürtünme malzemesinin karakteristiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Deneysel çalışmalar sırasında elde edeceğimiz verilerin fazla olması deneyin doğruluk derecesini artırmaktadır. Test cihazının tasarımında kullanılan hassas elektronik donanım başarılı bir şekilde amaca ulaşmada oldukça etkili olmuştur. Sürtünme katsayısı test cihazı malzeme, teknoloji ve teoride iyileşme sağlanması amacıyla tasarlanmıştır.

İyi bir tasarımcı, tasarım görevini yerine getirirken, belli başlı üç etkinlikte bulunur. Bunlar; hayal gücü, karar verme ve modellemedir. Hayal gücü, sanıldığı gibi doğuştan gelen bir yetenek değildir. İnsanın kendisini geliştirmesi ve eğitmesine de bağlıdır. Karar verme tasarımcının zaman silahıdır. Tasarımcı kısıtlı zamanda en doğru kararı vermek zorundadır. Bunun için kısıtlı zamanda uzun hesaplamalardan kaçınır, sezgilerine ve deneyimlerine güvenir. Modelleme ise tasarımcının tasarımını ve hesaplama işlemlerini gerçekleştirdikten sonra yapılan işin prototipini çıkarma işlemidir.

Ayrıca, ürün tasarımının ve geliştirilmesinin kontrollü şartlar altında yürütülmesi, doğrulanması ve geçerli kılınması için faaliyetlerin gerçekleştirilmesine yönelik bir sistem oluşturulmalıdır.

#### **3.2 İmalat Aşamaları**

- Tasarım ve geliştirme planlaması,

- Tasarım girdilerinin oluşturulması,
- Tasarım çıktılarının oluşturulması,
- Tasarımın gözden geçirilmesi,
- Tasarımın doğrulanması,
- Tasarımın geçerliliği,
- Tasarım değişiklikleri.

Tasarımcı tasarım işlemine başlarken yapılması gereken işlemler şunlardır;

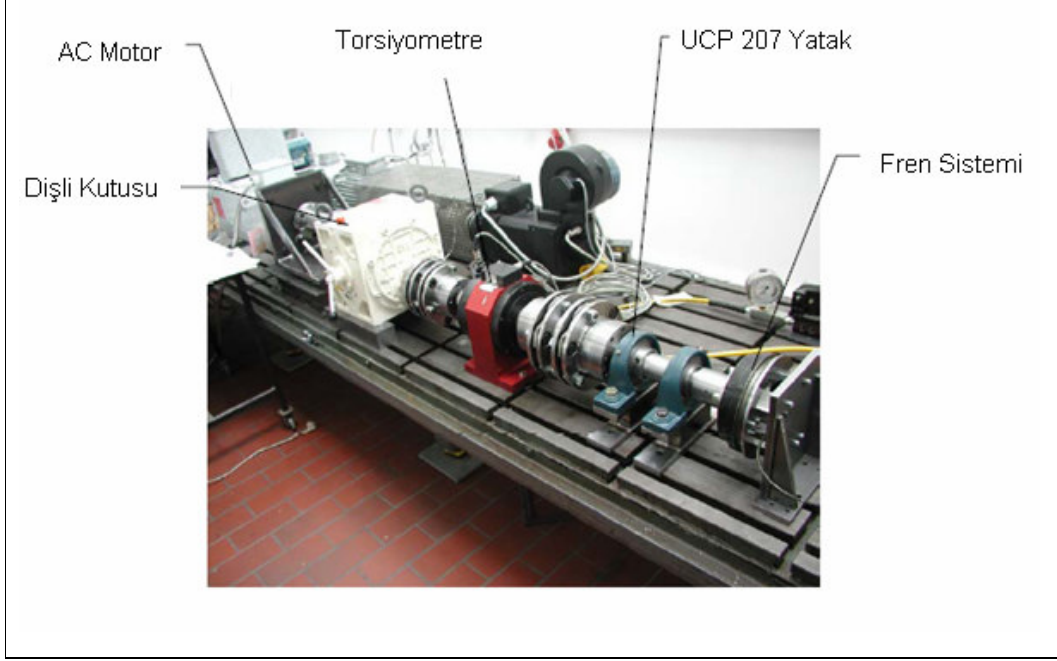
- Test cihazının çalışma sahası ve özellikleri belirlenmelidir.
- Test cihazı ebatları, parçaları belirlenmelidir.
- Test cihazının çalışma standartlarına uygun sıcaklık, basınç ve devir ayarları belirlenerek bu çalışma şartlarına uygun ekipmanlar temin edilmelidir.
- Test cihazının tasarımı ile ilgili teknik çalışmalar yapılmalıdır.
- Test cihazının ekonomik olması araştırılmalıdır.
- Test cihazının piyasadaki benzerleriyle karşılaştırılabilirliği araştırılmalıdır.

Sürtünme katsayısı test cihazı, taşıtların disk frenlerinde kullanılan balataların sürtünme katsayısını etkileyecek farklı devir, sıcaklık, basınç gibi faktörleri oluşturarak sürtünme katsayısını tespit edebilmektedir. Elde edilen değerlerle sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı-zaman, sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturulmaktadır. Üretim aşamasına geçmeden önce test cihazında kullanılan ekipmanlardan istenilen verimi almak için geniş bir piyasa ve katalog araştırması yapılmıştır.



**Resim 3.1** Chase Makine'nin Üretmiş Olduğu Test Cihazı

Yapılan araştırmalarda çeşitli sürtünme katsayısı test cihazları incelenmiş olup bu cihazların çalışması ile ilgili uzman kişilerden bilgi alınmıştır. Resim 3.1' de farklı tipteki sürtünme katsayısı test cihazı gözükmeğdir. Bu cihazın kalite kontrol test prosedürleri SAE J661 standardına göre yapılmıştır. Sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayılarını üzerinde bulunan donanımlar sayesinde doğru ve hassas olarak belirleyebilmekte ve çıktıları alınmasını sağlamaktadır. Bilgisayar kontrollü olarak çalışmakta olan test cihazı test raporlarını grafikler halinde göstermektedir. Test cihazının güç uygulama ünitesi pnömatik sistem ve 15 Kw'lık tahrik motoruna sahiptir. Balata ısıısını kontrol etmek amacıyla tambur içirisine ısıtıcı rezistanslar yerleştirilmiştir. Sürtünme katsayısı tespiti yapılacak numune parça önceden şekillendirilmelidir. Test sonucunda sıcak ve soğuk sürtünme katsayılarının hangi aralıkta olduğunu ve sürtünme katsayısı harf grubunu belirtmektedir( int. kay 2).



**Resim 3.2** Michael Eriksson Tarafından Üretilmiş Test Cihazı

Resim 3.2’de sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısını tespit etmek amacıyla geliştirilmiş test cihazı görülmektedir. Cambridge üniversitesinde 2002 yılında imal edilmiş olan bu test cihazının donanımlarında, farklı olarak torsiyometre kullanılmıştır. Böylece oluşturulan verilerin hangi güçte meydana geldiğinin tespit edilmesi mümkün olmuş ve grafiklere bu oranların aktarılması sağlanmıştır (Eriksson et. al., 2002).

### **3.3 Fren Balatası Test Cihazının İmalatı**

Fren balatasının test cihazının tasarımında Türk standartlarında belirtilen deney şartlarını sağlamasına ve teknolojinin gerektirdiği veri alma, denetleme ve veri aktarma özelliklerine sahip olmasına dikkat edilmiştir. Test cihazı, deneysel çalışmaların verilerinde standartlar doğrultusunda güvenilir sonuçlar alınabilecek şekilde tasarlanmıştır. Gerek tasarımda ve gerekse üretime geçildikten sonra test cihazında deneysel aşamaların pratik olarak yapılabilmesi için her bir ayrıntı dikkate alınmıştır. Balataların, farklı devir, sıcaklık, basınç vb. gibi faktörlerin etkisinde sürtünme katsayısı incelenebilmektedir. Bu tasarımla sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı-zaman, sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturmak mümkündür.

Test cihazının imalatında birinci aşama olarak taşıt üzerindeki fren sisteminin mekanik kısmı oluşturulmaya çalışılmıştır. Mekanik sistemde disk, diskin hareketini sağlamak için elektrik motoru, kaliper, kaliperde fren balatalarının yerleştirileceği balata sacı kullanılmıştır. Söz konusu test cihazının mekanik sistemi test cihazını oluşturan tezgâh üzerine yerleştirilmiştir.

İkinci aşama olarak, mekanik sistemde frenleme sağlanabilmesi için balata üzerinde oluşacak olan pedal kuvvetini oluşturan basınç hidrolik sistemle sağlanmıştır. Hidrolik sistem tezgâhın alt kısmına yerleştirilmiştir. Sistemin imalatı için gerekli malzemeler temin edildikten sonra Kahramanmaraş Organize Sanayisinde üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de görülmekte olan sürtünme katsayısı test cihazında diski döndürmek için 5.5 Kw gücünde 1400 1/d trifaze elektrik motoru seçilmiştir. Elektrik motorundan elde edilen hareketin iletilmesi için Ø 30 mm'lik transmisyon miline ihtiyaç duyulmuştur. Bu mil üzerine iki adet UCP 209 yatak yerleştirilerek milin salınımının engellenmesi amaçlanmıştır.

Elektrik motorundan çıkan dairesel hareketin mil üzerinden diske istenilen devirlerde aktarılması invertör sayesinde gerçekleşmektedir. Bu devirler 0–1400 1/d arasındadır. Elektrik motorunun devir sayısını bilgisayar programında kolaylıkla kontrol edilebilmektedir. Balatalar bütün frenleme durumlarında sabit kalan bir sürtünme katsayısına ( $\mu$ ) sahip olmalıdır. Ancak uygulamada hız ve basıncın artmasıyla sıcaklığın yükselmesi sonucu sürtünme katsayısında düşme görülmektedir.

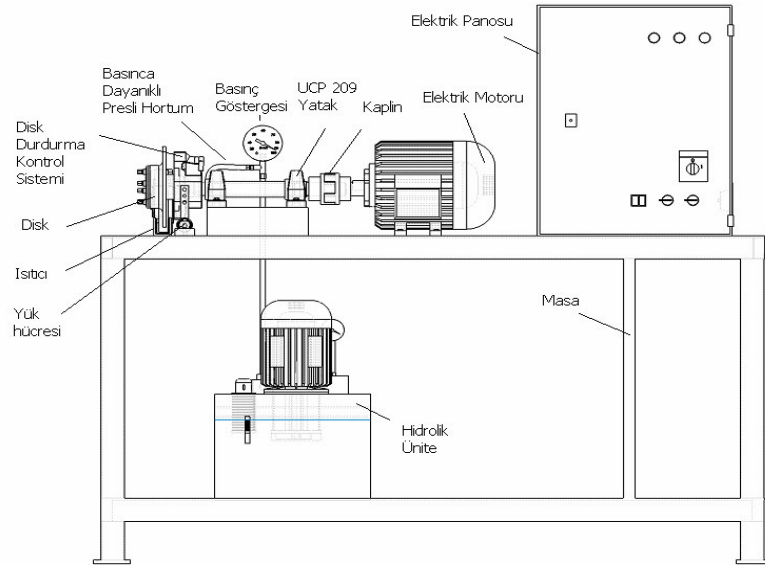
Hidrolik sistem belirli bir hızda dönmekte olan fren diskini 0-40 MPa basınç aralığında yavaşlatmaya çalışmaktadır. Diski durdurmak için disk dönme ekseninde kısmi olarak hareket edebilen kaliper frenleme sırasında fren kuvvetinin algılandığı Loadcell'e dayanmaktadır.

Kaliper loadcell'e dayanana kadar disk dönme ekseninde hareket edebilir. Hidrolik sistemin uyguladığı fren kuvveti kaliper üzerinde bulunan iki taraflı fren balatası ile

diske iletilir. Durdurma esnasında meydana gelen hidrolik sistem basıncı, sisteme yerleştirilmiş olan on-off ve oransal elektro-hidrolik valfler vasıtasıyla program kontrolü ile sağlanmakta ve basınç göstergesiyle takip edilmektedir.

Frenleme sırasında sürtünme enerjisi nedeniyle fren diskinin ve balatanın ısınacağı açıktır. Sıcaklık etkisinin sürtünme katsayısı ve frenleme performansı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla deneyler sırasında fren diski Türk standartlarında belirtilen sıcaklıklara sürtünme etkisiyle ulaşamadığı durumlarda üzerinde bulunan rezistanslar ile 400 °C' ye kadar ısıtılmaktadır.

Numune fren balatasını istenilen sıcaklığa ulaştırabilmek için diskin altına 0,5Kw'lık 2 adet rezistans diskin alt tarafına 0,5 cm kadar mesafe ile yerleştirilmiştir. Isıtılan diskin sıcaklığı infrared termometre ile saniyede bir değer ölçülerek RS232 veri aktarma yolu ile bilgisayara atılabilmektedir. Şekil 3.1'de Sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısını tespit etmek amacıyla üretilen test cihazının şematik resmi görülmektedir.



**Şekil 3.1** Üretimi Yapılan Sürtünme Katsayısı Test Cihazı

**Çizelge 3.1** Sürtünme Katsayısı Test Cihazı Parça Listesi



<b>KODU</b>	<b>MALZEMENİN ADI</b>	<b>ADET</b>	<b>ÖZELLİKLERİ</b>
0001	Elektrik Motoru	1	5.5 Kw Siemens marka
0002	Elektrik Motoru Bağlantı civ.	4	M10x25 AKB
0003	Kaplin	2	*
0004	UCP 209 Yatak	2	*
0005	UCP 209 Yatak bağlantı civatası	4	M10X25 AKB
0006	UCP 209 Yatak sabitleyicisi	1	*
0007	Etli boru	1	*
0008	Ana mil	1	*
0009	Mil-disk bağlantısı	1	*
0010	Disk	1	*
0011	Disk kapağı	1	*
0012	Disk kapağı bağ.civ.	4	M12x30 Kare başlı
0013	Disk durdurma kontrol sistemi	1	*
0014	Balata tutucu	1	*
0015	Elektrik panosu	1	600x450x150
0016	İnvertör	1	Telemecanique
0017	Termokulp	1	K tipi
0018	Loadcell	1	Eşit
0019	Loadcell tutucu	1	*
0020	Loadcell bağ.civ.	2	M8X20
0021	Pompa	1	4cc-200 bar Hema
0022	Emiş Flitresi	1	Genfa 25lt/dk.
0023	Kampana	1	*
0024	Kaplin	1	*
0025	Manuel basınç kontrol	1	GMS 400bar
0026	Valf pleyti	1	*
0027	Yön valfi	1	Parker 50lt/dk. 400bar
0028	Manometre	2	Pakkens
0029	Yağ deposu	1	40x35x40
0030	Yağ göstergesi	1	*
0031	Havalandırma kapağı	1	*
0032	Oransal basınç kontrol	1	Karta göre basınç kontrol
0033	Oransal basınç kontrol kartı	1	Parker
0034	Oransal basınç kontrol pleyti	1	*

0035	Rekorlar	9	*
0036	12 mm lik hidrolik tesisat borusu	*	1mt
0037	Basınca dayanıklı presli hortum	2	30 cm
0038	Motor	1	Emtaş 1.5 Kw

### **3.4 Sürtünme Katsayısı Test Cihazında Kullanılan Donanımlar ve Özellikleri**

#### **3.4.1 Sıcaklık Ölçme Aleti**

Deneyler sırasında balatanın fren diskine sürtünmesi sonucunda sürtünme yüzeyi sıcaklığı artmaktadır. Sıcaklık artışının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla balatanın diske sürtünme yüzeyinden 2 cm ilerisinden sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Sıcaklık ölçümünde her saniye veri alabilen, -50 - +500 °C aralıklarında çalışabilen Extech 42582 İnfrared termometre kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.

#### **3.4.2 Elektrikli Isıtıcı**

Frenleme sırasında sürtünme enerjisi nedeniyle fren diskinin ve balatanın ısınacağı açıktır. Numune fren balatasını Türk standartlarında belirtilen sıcaklıklara ulaştırabilmek için diskin alt tarafına 0,5 Kw'lık 2 adet rezistans disk yüzeyine 0.5 cm

kadar mesafe ile yerleştirilmiştir. Böylece sürtünme etkisiyle oluşan disk sürtünme yüzeyi sıcaklığı sabitlenme sürecine girince rezistanslar devreye girerek disk sürtünme yüzeyinin Türk standartlarında belirtilen 400 °C'ye ulaşmasını sağlamaktadır.

### 3.4.3 Yük Hücresi

Sürtünme kuvveti  $F_s$ 'i belirlemek için kullanılan yük hücresi (loadcell) elektronikte strain gage olarak adlandırılan manyetoelastik cihazlardır. Transdüserlerin kuvvet ölçmek için kullanılanlarına yük hücresi adı verilir (Parr, 1997). Bu cihazlar gelen yükü, milivolt cinsinden algılayarak ekrana yansıtmaktadırlar. Deney setinde kullanılan yük hücresi Esit marka BB100 modeli olup 100 kg kapasitelidir. Yük hücresinin bir ucu belirli bir noktaya sabitlenir. Diğer ucuna bir noktadan kuvvet uygulandığında oluşan gerilim wheatstone köprüsü üzerinden 0-20 milivolt arasında algılanır ve değer ekrana yansıtılır.



Şekil 3.2 Yük Hücresi (int. kay. 3)

### 3.4.4 Bilgisayar Programı

Verilerin bilgisayar ortamında analizinin yapılması için program geliştirilmiştir. Üzerinde çalıştığımız konunun her bir sistemi için ayrı bir detay mevcuttur. Örneğin; Türk standartlarında sıcaklığın 0-400 °C arasında olması istenir.

Basınç 10,5 MPa ve 30 MPa olması istenmesine rağmen 0-40 MPa arasında değiştirilebilmektedir. Hız 3m/s, 6m/s, 9m/s, olması istenmekte ve hız, devir sayısı kontrolü sağlandığından devir sayısı 0-1400 1/d arasında değiştirilebilmektedir. Bu değişken etkenlerin sürtünme performansına etkilerini belirleyebilmek için farklı deney

şartlarının oluşturulması ve hassas sonuçlar alınması gerekmektedir. Bu nedenle verilerin kaydedilmesi, kullanılması ve istenildiğinde yeniden ulaşılabilmesi gerekmektedir. İstenilen deney şartlarının girilerek deneylerin güvenilir olarak yapılabilmesi amacıyla sürtünme katsayısı test cihazı için Delphi yazım dilinde program geliştirilmiştir.

### **3.4.5 Hidrolik Ünite**

Elektrik motoruna bağlı olan hidrolik pompa, elektrik motorundan aldığı hareketle döndürüldüğünde depo içerisindeki yağ emerek hidrolik on/off valfe gönderir. On/off valften sistemin basınç kontrolü için elektro hidrolik oransal valfe (basınç kontrol valfi) gönderir. On/off valf ve oransal valf kontrol panosundaki elektronik kartlarla kumanda edilmektedir. Elektronik kartlara verilen sinyal test cihazı için geliştirilen program aracılığıyla bilgisayardan gönderilmektedir.

### **3.4.6 İnvörtör**

Telemecanique marka invertör 5.5 Kw 0-1400 dv/dk aralıklarında çalışmaktadır. Çalışma sistemi; elektrik panosundaki pako şartel 1 numaralı konuma getirilerek motora elektrik verilir. Bilgisayar programında invertör ayarları otomatik veya manuel olarak yapılarak istenilen devire kolaylıkla ulaşılması sağlanır.

### **3.4.7 Disk Malzemesi**

Disk ve kampananın mekanik ve ısıl zorlanmalara karşı mukavim olması istenir. Fren sistemlerinde, sürtünmeden dolayı kısa zamanda meydana gelen sıcaklık artışının, en kısa zamanda sistemden uzaklaştırılabilmesi için karşı malzemenin yüksek ısı iletim katsayısı ile özgül ısıya sahip olması gerekir. Sürtünmeye bağlı sıcaklık artışı nedeniyle disk veya kampananın bozulmadan, minimum deformasyon göstermesi için ısıl genleşme katsayısının büyük olması istenir. Genelde disk ve kampana üretiminde perlitik yapılı dökme demir kullanılır. Kullanılan dökme demirde %3,4 civarında karbon bulunur. Diğer alaşım yüzdeleri çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2** Disk malzemesinin içeriği

Disk için kullanılan dökme demir analizi				
%C	%Si	%Mn	%S	%P(max)
3,4	2,00-2,40	0,60-0,90	0,15	2

Perlitik dökme demir grafit yaprakçıkları bulundurduğundan iyi bir kayma özelliği gösterir. Yüksek işlenebilirlik, titreşimi soğurma, yüksek ısı iletkenlik ve aşınma direnci en önemli özelliklerdendir. Bunun yanında kırılma oluşu ve dinamik yüklere karşı hassas oluşu dikkati çeker. Dökme demirlere eklenen fosfor, %0,118-%2,01 (ağırlıkça) arasında bir değere yükseltirse, bu malzemenin sürtünme katsayısı yükselir. İlave fosfor ile sürtünme katsayısının kararlılığı ve aşınma dirençleri de düzelir. Sürtünen dökme demirlerin en iyi fosfor bileşimi %1,4-%2 arasındadır (Mutlu, 2002).

#### **4. BULGULAR**

Üretimi tamamlanan sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısını ölçen test cihazındaki deneyler, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Ana Bilim Dalı uygulama atölyesinde yapılmıştır. Sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısını belirlemek için on adet numune üzerinde bir dizi testler yapılmıştır.

##### **4.1 Sertlik ve Yüzey Pürüzlülüğü**

Deneysel çalışmalara başlamadan önce sürtünme katsayısı test cihazının uygun çalışma standartlarında çalışıp çalışmadığını kontrol etmek amacıyla çeşitli testlerden geçirilmiştir. Disk yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerlerini belirlemek için Mahr marka yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır.



**Resim 4.1** Mahr Perthometer

Bu ölçümlerde pürüzlülük değeri sol yüz  $R_a = 0,514 \mu\text{m}$  sağ yüz  $R_a = 0,495 \mu\text{m}$  olarak tespit edilmiştir. Bu elde edilen değerlerle, deneyde kullanılan diskin uygun standartlarda olduğu belirlenmiştir.

Daha sonra diskin sertliğini belirlemek için Mettes marka sertlik ölçme cihazıyla üç kez yapılarak ortalaması alınmıştır ve diskin sertlik değeri 116 HB-41.86 HRA olarak bulunmuştur.



**Resim 4.2** Mettest Sertlik Ölçme Cihazı

**Çizelge 4.1** Fren Diski Yüzey Pürüzlülük Değerleri ( $R_a$ ) ( $\mu\text{m}$ )

<b>Sol Yüz</b>	<b>Sağ Yüz</b>
0,507	0,510
0,468	0,485
0,567	0,490

**Çizelge 4.2 Fren Diski Sertlik Değerleri**

<b>Rockwell sertlik değerleri (HRA)</b>	<b>Brinell Sertlik değerleri (HB)</b>
39.2	106
43.8	123
42.6	119

#### **4.2 Sıcaklık Ölçümü**

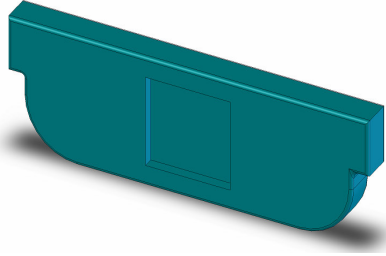
Sürtünme esnasında meydana gelen sürtünme yüzey sıcaklığını ölçmek için Extech 42582 İnfrared termometre kullanılmıştır. Sıcaklığın ölçüldüğü nokta balatanın diske sürtme yüzeyinin 2 cm kadar ilerisi olarak belirlenmiştir. Çalışma esnasında disk yüzeyi sürtünme etkisiyle 280-300 °C' ye kadar kendiliğinden ısınmaktadır. Türk standartlarında sıcak sürtünme katsayısını belirlemek için 400 °C' ye kadar sürtünme yüzey sıcaklığının ısınması gerektiğinden bu sıcaklıklardan sonra 2 adet 0,5 Kw'lık elektrikli rezistans devreye girerek sürtünme yüzey sıcaklığının 400 °C' ye çıkmasını sağlamaktadır.

#### **4.3 Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması**

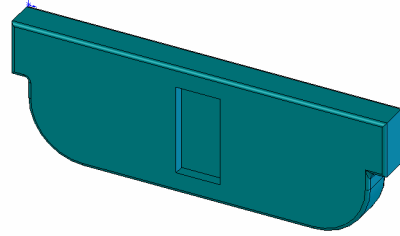
Deney numunelerinin temini için internet ortamında firmalara ait bilgilere ulaşarak mail ile veya telefon ile görüşmeler yapılarak imalatını yapmış olduğumuz sürtünme katsayısı test cihazında test edilmek amacıyla numune balata temin edilmeye çalışılmıştır. Yapılan araştırmalarda balata üretilen firmalardan B Balata ve A Balata firması kendi üretimini yaptıkları balatalardan değişik numuneler göndererek test

cihazında deneysel amaçla kullanmamıza imkân tanımışlardır. Bunun yanı sıra piyasadan temin edilen balatalarda mevcuttur.

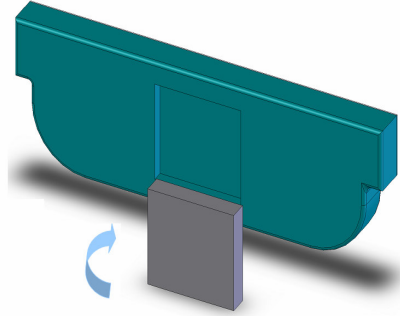
Test cihazında balatanın takılabilmesi için 1" (25.4mm×25.4mm) ve ½" (25.4mm×12.7mm)'lik yüzey alanı 2mm derinlikte boşaltılmış olan balata tutucu sac kullanılmaktadır. Balataların, balata tutucu saca takılabilmesi için ½" (25.4mm×12.7mm) boyutlarında kesilmişlerdir. Şekil 4.1, 4.2'de balata tutucu sac, 4.3 de balatanın balata tutucu saca takılışı görülmektedir. Balata malzemesi şekildeki parçanın orta kısmında bulunan 2 mm derinliğindeki alana sıkı geçme yapılarak tutunma sağlanır.



Şekil 4.1 1" lik Balata Tutucu



Şekil 4.2 ½" lik Balata Tutucu



Şekil 4.3 Balatanın Takılma İşlemi

#### 4.4 Deney Şartları

Deney parçası sürekli olarak 7 MPa basınçta 310 1/d'da sıcaklık 100°C'yi aşmayacak şekilde sürtünme katsayısı sabit hale gelinceye kadar döndürülür. Böylece balata yüzeyi ile disk yüzeyinin birbirine tam sürtünmesi sağlanarak balata deneye hazır hale gelmiş



olur. Her deneyden önce disk yüzeyi bez veya kağıt 320 numara zımpara ile parlatılır. Disk üzerindeki tozlar kuru hava veya lif bırakmayan bezle temizlenir.

Test cihazının temizlenmesi için en çok deneye maruz kalan kolayca sökülebilen kısımlar çıkarılarak uygun temizleme malzemeleriyle temizlenmesi sağlanır. Balata tutucu saclar disk durdurma kontrol sistemlerinden çıkartılarak temizlenir. Bu sayede balatanın yuvaya oturması daha güvenli olur.

Deney şartlarında düşük hız için 3m/s, orta hız için 6m/s, yüksek hız için 9m/s olması Türk standartlarında belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda 6m/s orta hız grubu seçilmiştir.

Sürekli frenleme şartlarında 10.5MPa basınç altında başlangıç sıcaklığı en az 50°C olmak üzere deney başlar. Balata sıcaklığının, öncelikle sürtünmeden doğan kendi ısıyla 280-300°C'lere kadar çıkması beklenir daha sonra sıcaklığın yükselmesi durup sıcaklık sabit aralıklarla salınım sürecine girince elektrikli rezistanslar devreye girerek sıcaklığın 400°C'ye kadar yükselmesini sağlar. Bu sırada infrared termometre her saniyede disk sürtünme yüzeyinden sıcaklığı kaydetmektedir. Maksimum sıcaklık 400°C'ye ulaşıncaya kadar sıcaklık etkisiyle sürtünme katsayısındaki değişim belirleme işlemi tamamlanmış olur. Bu deney 3 kez tekrarlanır ve belirlenen değerlerin aritmetik ortalamaları alınır. Ortalama değerlerin bulunmasıyla Türk standartlarında ifade edilen sürtünme katsayısı harf grubu belirlenir. Bu deneysel çalışmalar yürütülürken deney raporları düzenlenir. Deney raporlarında en az aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır:

- Deneyin yapıldığı laboratuvarın adı, deneyi yapanın veya raporu imzalayan yetkililerin adları, görev ve meslekleri,
- Deney tarihi,
- Numunenin tanıtılması
- Deneyde uygulanan standartların numaraları,
- Sonuçların gösterilmesi,
- Deney sonuçlarını değiştirebilecek faktörlerin mahzurlarını gidermek üzere alınan tedbirler,

- Uygulanan deney metotlarında belirtilmeyen veya mecburi görülmeyen; ancak deneyde yer almış olan işlemler,
- Raporun tarihi ve numarası

Sürtünme katsayısı test cihazında toplam on değişik sürtünme malzemesi kullanılmıştır. Farklı markaların sürtünme malzemelerinin frenleme karakteristiği, aşağıdaki işlem sırasına göre deneyler yapılarak belirlenmiştir.

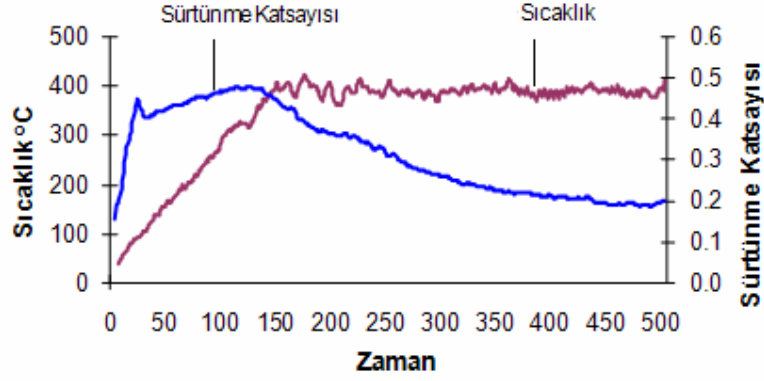
- Tüm deneylerde deney başlangıç sıcaklığı 50 °C olarak alınmıştır.
- Bütün numuneler 7 MPa basınç altında sürekli sürtünmeye tabi tutularak balata yüzeyinin %95'i fren diskinde temas edinceye kadar alıştırma işlemi yapılmıştır. Bu işlemler esnasında TS 9076'da belirtildiği gibi zımparalama, temizleme ve soğutma işlemleri gerçekleştirilmiştir (TS 9076, 1991).
- Sıcaklık grubu A için yapılan deneylerde 10,5 MPa basınç altında 50 °C sıcaklıktan başlanarak 50 °C derece aralıklarla 400 °C sıcaklığa kadar sekiz kademedeki sıcaklık-sürtünme katsayısı değişimini belirlenmiştir.
- Daha sonra her bir balata numunesinden alınan değerlerin aritmetik ortalamaları hesaplanarak söz konusu sıcaklıklarda sürtünme katsayısı belirlenmiştir.

#### **4.5 Deney Sonuçları**

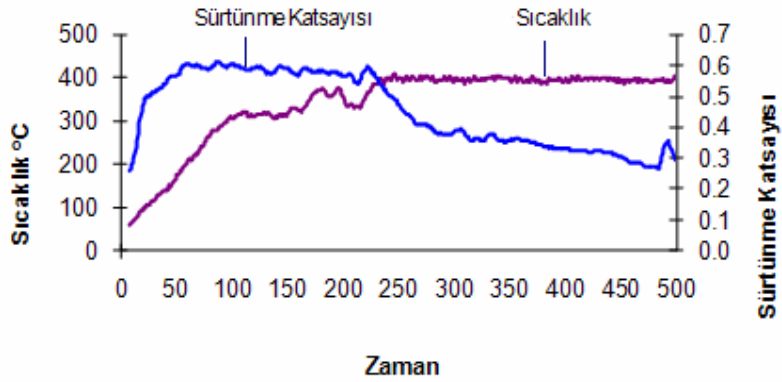
Bu çalışmada fren balatasının sürtünme katsayısının sıcaklığa bağlı olarak değişiminin belirlenebildiği yeni tasarlanan ve imalatı yapılan sürtünme katsayısı test cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.1'de görülen test cihazında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturmak için sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimleri sabit aralıklı salınım periyoduna girene kadar deneyler yapılmıştır.

Deneylerde piyasadan veya üretici firmalardan temin edilen on farklı fren balatası kullanılmıştır ve deneyler 10,5 MPa basınç altında yapılmıştır. Deneyler esnasında grafiklerde de görüldüğü gibi sürtünme katsayısı önce sıcaklık artışı ile yükselmekte

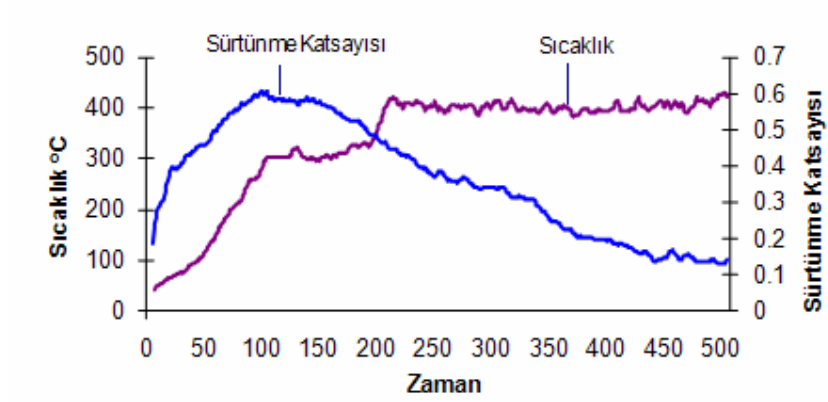
sonra belirli miktarda düşüş göstererek birbirine yakın değerler içeren sabit aralıklı salınım periyoduna girmektedir. Bu fren balatalarının sürtünme katsayılarına bağlı olarak sıcaklık artışı daha hızlı veya daha yavaş artış göstermektedir. Yine balataların sürtünme yüzey sıcaklığı 300°C civarına kadar çıkmakta ve sıcaklık değişiminde salınım başlamaktadır. Sıcaklık değişimi bu sürece girince manuel kumanda ile elektrikli ısıtıcı devreye girerek sıcaklık artışı sağlayıp sürtünme katsayısının TS555'te belirtilen 400°C'ye kadar olan değişimleri izleme olanağı sağlamaktadır.



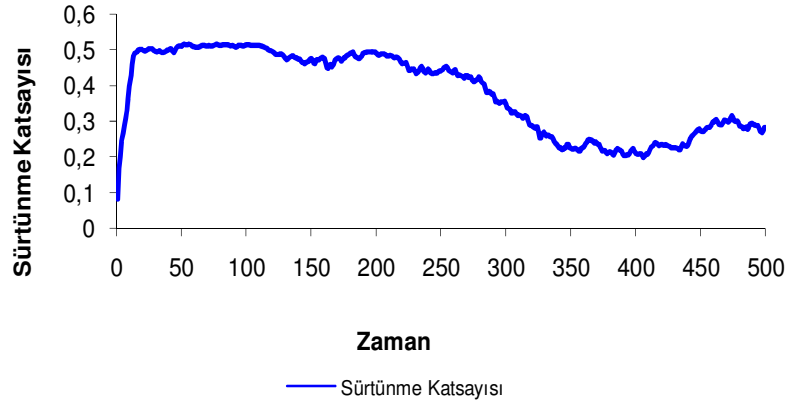
Şekil 4.4 A Balatasının Sıcaklık-Sürtünme Katsayısı-Zaman Grafığı



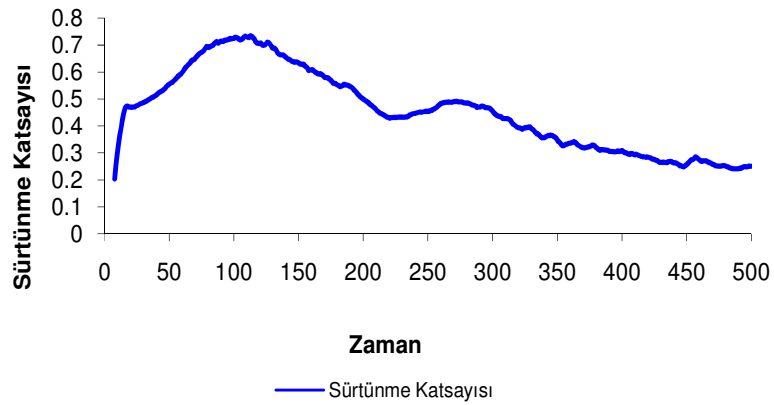
Şekil 4.5 B1 Balatasının Sıcaklık-Sürtünme Katsayısı-Zaman Grafığı



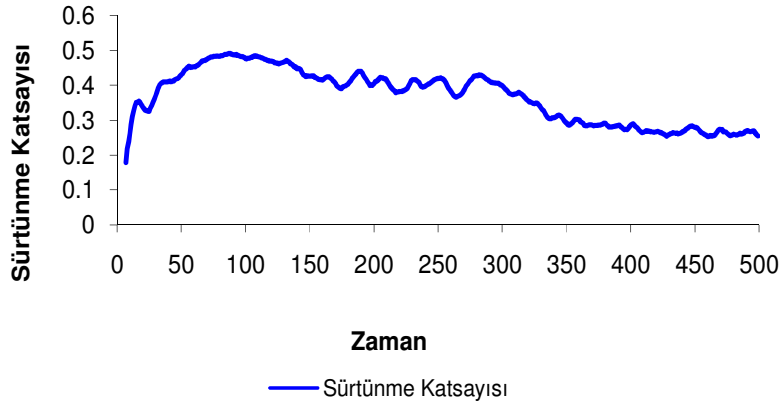
Şekil 4.6 B2 Balatanın Sıcaklık-Sürtünme Katsayısı-Zaman Grafiği



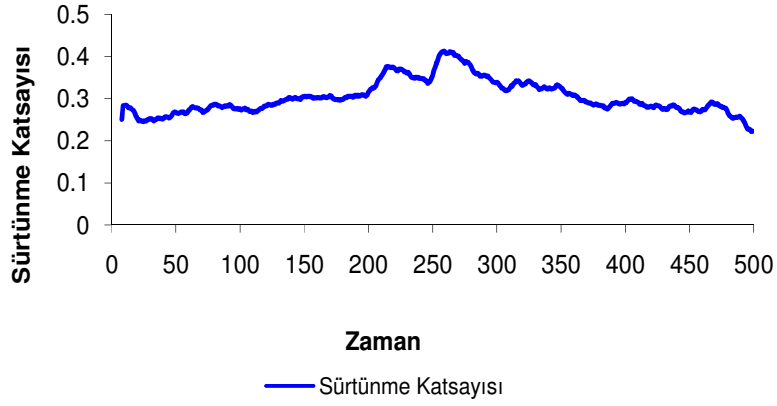
Şekil 4.7 B3 Balatasının Sürtünme Katsayısı-Zaman Grafiği



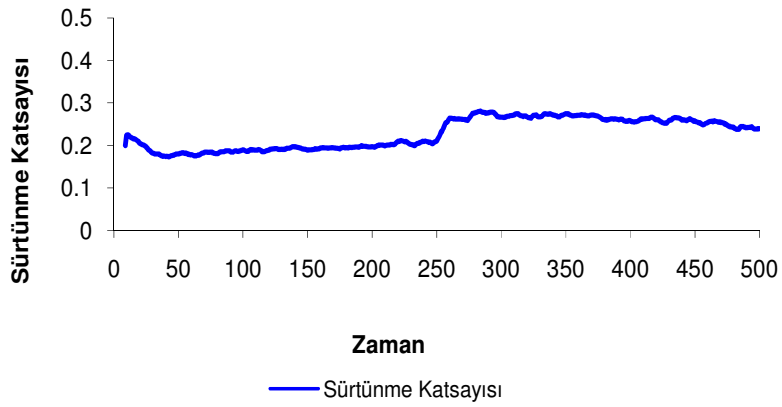
Şekil 4.8 C1 Balatasının Sürtünme Katsayısı-Zaman Grafiği



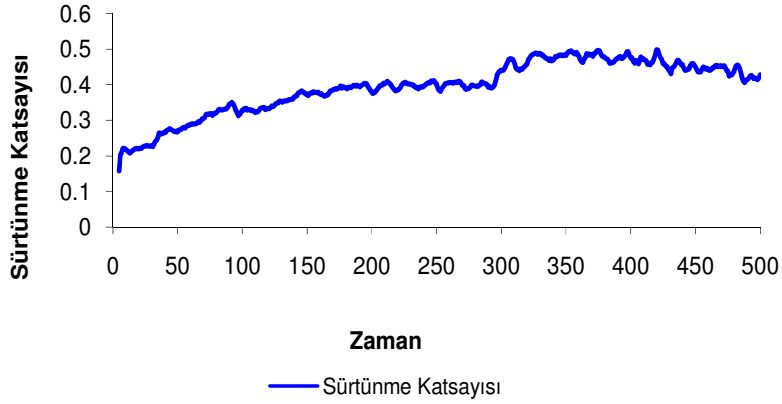
Şekil 4.9 C2 Balatasının Sürtünme Katsayısı-Zaman Grafiği



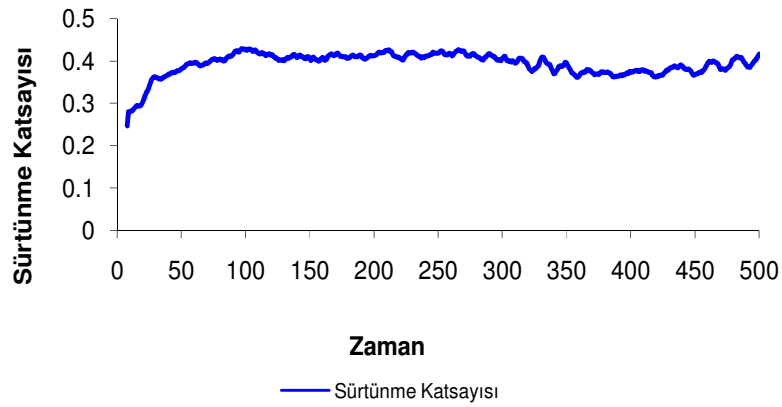
Şekil 4.10 D Balatasının Sürtünme Katsayısı-Zaman Grafiği



Şekil 4.11 E1 Balatanın Sürtünme Katsayısı-Zaman Grafiği



**Şekil 4.12** E2 Balatasının Sürtünme Katsayısı-Zaman Grafiği



**Şekil 4.13** E3 Balatasının Sürtünme Katsayısı-Zaman Grafiği

Şekil 4.4 ve 4.5’de A ve B1 balataları başlangıçta yükselen daha sonra sıcaklığın artmasıyla alçalan bir grafik oluşturmuştur. Her iki grafik değerleri de malzemeleri farklı olmasına rağmen salınım değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’ nolu grafiklerde de sürtünme katsayısı değerleri başlangıçta sıcaklığın artmasıyla bir miktar artmış daha sonra azalma eğilimine girmiştir. Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13’de kullanılan balatalar sıcaklık değişiminden fazla etkilenmemiş ve kararlı sürtünme katsayısına sahip olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Dolayısıyla farklı içeriklere sahip olan balataların farklı sıcaklıklarda gösterdikleri sürtünme katsayılarının da değiştiği grafiklerden belirlenmektedir. Bu

grafikler yapılan deneysel çalışmaların farklı sonuçlarını göstermektedir. Bu durum imalatı yapılan test cihazının amacına uygun olduğunu ispatlamaktadır.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmanın amacı yeni bir yaklaşımla otomotiv fren balatalarının sürtünme katsayısını tespit eden test cihazı tasarım ve imalatıdır. İmalatı yapılan test cihazının tasarımında taşıt üzerindeki disk ve fren mekanizması aynen kullanılmıştır. Cihazda, taşıttaki fren sistem basıncını ve TS 555'te belirtilen sürtünme katsayısı deney basınçlarını sağlayabilecek elektro-hidrolik sistem mevcuttur. Bilgisayar programı kontrolü ve sistemdeki elektronik geri besleme donanımları ile kapalı çevrim oluşturulmuştur. Sistem ilk çalıştırılırken istenilen sistem basıncı elektronik kontrol kartı tarafından algılanarak elektro-hidrolik on/off ve oransal valflere yol vermektedir. Sistemin çalıştırılması ile birlikte oluşturulan kapalı çevrim sayesinde geri besleme bilgileri ile sistem basıncı sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Sürtünme katsayısı tespitinde o andaki sistem basıncı dikkate alınarak hesaplama yapılmaktadır.

Sürtünme hızı, sisteme girilen dakikadaki devir sayısı ile belirlenmektedir. Elektrik motorunun devir sayısı invertör kontrolü ile sağlanmaktadır. Frenleme sırasında devir sayısında bir miktar düşme olmaktadır. Ancak bu düşüş kısa süreli dalgalanmalar şeklindedir.

Söz konusu cihazın yeterliliğini tespit etmek için farklı marka sürtünme malzemelerinden numuneler hazırlanarak sürtünme katsayısı tespiti için deneyler

yapılmıştır. Balatalar birbirinden farklı içeriklere sahip olduğundan test cihazında farklı sonuçlar alınmıştır. Fren balatalarının deneylerinden elde edilen sürtünme katsayıları firmaların kataloglarında belirttiği değerlere çok yakındır. Yapılan deneylerden elde edilen değerler, doğrudan grafiğe dönüştürüldüğünde sıcaklık-zaman ve sürtünme katsayısı-zaman grafiklerinde birbirine yakın salınım değerleri gözlenmiştir. Bu durum normaldir, çünkü bölüm 2.4'te literatür özetinde belirtildiği gibi (Eriksson, 2002) sürtünen yüzeylerin her tarafı aynı özelliğe sahip değildir. Üretim aşamalarında hem fren diski hem de balata homojen yapı sağlanacak şekilde üretilmeye çalışılsa da sürtünme yüzeylerinin farklı bölgelerinde yapısal farklılıklar olabilir. Bu durum birbirine yakın salınım değerlerinin oluşmasının sebebi olarak açıklanabilir.

Tasarım ve imalatının yapıldığı fren balatası test cihazı yukarıda belirtilen özellikler ile TS'de belirtilen sürtünme katsayısı deneyleri rahatlıkla yapılabilmektedir. İstenirse daha küçük sürtünme yüzeyi oluşturarak 40MPa basınca kadar frenleme basıncı artırılabilir. Sürtünme yüzey hızı 0-14 m/s aralığında çalışabilmektedir.

Otomotiv sektöründe güvenli bir sürüş için taşıtlarda kullanılan ekipmanların hassasiyetleri ve etki kabiliyetleri iyileştikçe elde edilen değerler de bir o kadar güvenilirlik içermelidir. Bu nedenle üretimini tamamladığımız test cihazında kullanılan mekanik-hidrolik-elektronik donanım, fren balatası sürtünme katsayısı tespitinde yeterli olmuştur. Standartlara uygun deneyler yapılabilmektedir.

Tüm bu deneysel çalışma sonuçları ışığında sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayılarını belirlemede test cihazının amacına uygun olduğu belirlenmiştir.

Sonraki yapılacak olan çalışmalarda mekanik kısım aynı kalmak kaydı ile fren basıncını oluşturmak için elektro-hidrolik sistem yerine elektro-pnömatik sistem kullanılabilir. Ayrıca mekanik sistemde de değişiklik yapılarak disk yerine kampana mekanizması uygulanarak fren verimliliği incelenebilir.



## **6. KAYNAKLAR**

Akkurt, M., 1999, "Makine Elemanları", Cilt-11, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Anderson, A.E., Peterson, M., Winer, W.O. (Eds.), 1997, "Wear of brake material", Wear Control Handbook, pp. 843-858, New York.

Ajayi, O.O., Ludema, K.C., 1998, "The effect of microstructure on wear modes of ceramic materials, proceedings of the international conference on wear of materials", American Society of Mechanical Engineers, pp. 307-318.

Ashby, M., Jones, R.H.D., 1996, "Friction and wear engineering materials", Cambridge University, England.

Bijwe, J., 1997, "Composites as a friction material recent developments in non-asbestos fiber reinforced friction materials a review", Polymer Composites, 18, 3, 378-396.

Bowden, F.P., and Tabor, D., 1994, "The friction and lubrication of solids", pp. 12-16, 29-31, 52-55, 78-79, 187-191.

- Boz, M., 1999, "Toz metalürjisi ile üretilmiş bronz esaslı fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Childs, T.C.T. and Parker, I.K., "The friction cutting of sialon and silicon nitride ceramics", Proc. Japan Int. Trib. Conf., Nagoya, Japan, pp. 373-378, 12-17 july, 1999.
- Dönmez, A.G., 2000, "Asbest dışı elyaflarla üretilen balata malzemelerinin özelliklerinin incelenmesi", Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Eriksson, M., Lord, J., Jacobson, S., 2001, "Wear and contact conditions of brake pads: dynamical in situ studies of pad on glass", Wear, 249, pp. 272-278.
- Eriksson, M., Bergman, F., Jacobson, S., 2002, "On the nature of tribological contact in automotive brakes", Wear 252, pp. 26-36.
- Erşan, K., 1998, "Mevcut eski, yeni ve farklı balataların frenleme kuvvetine etkisinin pedal kuvvetinin fonksiyonu olarak tanımlanması", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. cilt13, sayı 1, sayfa 75.
- Fazan, P., Giezendanner, H. R., Van-Den-Hurk, H., 1998, "Engineering Products Of Kevlar Para-Aramid Pulp For High Performance Brake Linings", 6th SAE Annual Colloquium, 1-25, Orlando.
- Gemalmayan, N., 1984, "Sürtünme Malzemelerinin Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi", Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Habig, K.H. and Woydt, M., 1999, "Sliding friction and wear of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub> Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Proc.", 5th International Cong. On Tribology, Finland, Vol 3, pp. 106-113.

- Handa, Y., Kato, T., 1996, "Effects of Cu powder, BaSO<sub>4</sub> and cashew dust on the wear and friction characteristic of automotive brake pads", Tribology Transactions, Vol.39, pp. 346-353.
- Halliday, D., Resnick, R., 1999, "Fiziğin temelleri", Ayrım Yayınları, Ankara.
- Halling, J., 2000, "Principles of tribology", The Macmillan Process. Ltd. pp.72-92.
- Jang,H. and Kim, S.J. 2000, "The effects of Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> and zirconium silicate ZrSiO<sub>4</sub> in the automotive brake friction material on friction characteristics", Wear 229, 236,239.
- Karamış, M.B., 1995, "Sürtünme teorisi" Erciyes Üniv. Makine Müh. Bölümü, Seminer, s 2-3-6-7, Kayseri.
- Karamış, M.B., 1997, "Sürtünme ve sürtünme kuvvetinin ölçümü" Erciyes Üniv. Makine Müh. Bölümü, Triboloji, s 21-22, Kayseri.
- Kondoh, K., Takano, Y., Takeda, Y., 1997, "Friction and wear properties of integrated composite copper-based friction materials", SAE 970979.
- Lee, K. and Barber, J.R., 1997, "An experimental investigation of frictionally excited thermoelastic instability in automotive disk brakes under a drag brake application", Trans. ASME J. Tribology, pp. 409- 414.
- Mimaroglu, A., Çalışkan, M., Calli, I., 2001, "Evaluation of sintering temperature and tribological properties of ceramic materials with Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> and MnO<sub>2</sub> additive compounds", Industrial Lubrication and Tribology, vol 53, pp 192-197.
- Mutlu, I., 2002, "Seramik katkılı asbetsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Odabaş, D., 1991, “Kuru sürtünme şartlarında termomekanik faktörlerin aşınma davranışına olan etkilerinin teorik ve deneysel araştırılması”, E.Ü.M.F., Doktora Tezi, Eylül, Kayseri.
- Österle,W. and Urban,I., 2000, “Friction, friction materials, and brake, friction layers and friction operational characteristics, short course on the braking of films on PMC brake pads”, Wear 257, 215-226. Road Vehicles,University of Bradford, p.13.Day,A.J. 28.
- Parr, E.A., 1997, “Endüstriyel Kontrol El Kitabı”, MEB, İstanbul.
- Rigney, S., Hirth, M., 2001, “Micro building is friction surfaces and Friction materials” , Engineering Publishing, pp. 768-771.
- Stringham, W., 2001, “Bosch braking systems, 401 IN. bendix drive, south bend”, IN 46634- 4001, pp. 34-36.
- Tabor, D., 2001, “Friction the present state of our understanding”, Transactions of the asme, Journal of Lubrication Technology, pp.169-179.
- TS 9076, 1991, “Fren balataları-malzeme sürtünme özelliklerinin küçük deney parçaları ile değerlendirilmesi”, T.S.E., 1. Baskı, Ankara.
- Yamaguchi, Y., 1990, “Tribology of plastic materials”, Tribology Series, Vol.16, 1st Ed., Elsevier, Netherland.
- Yamashita, Y., Hiroshi, A., Kawase, M., Iwata, K., 1999, “High performance asbestos free friction material for disk brake pads with the controlled grain structure”, Sumitomo Electric Industries, Ltd., SAE 890861.

Yılmaz, F., 1997, “Sürtünme ve aşınma”, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, s 229-247, İstanbul.

<b>İnternet Kaynakları</b>	<b>Erişim Tarihi</b>
[1] <a href="http://www.tubitak.gov.tr">www.tubitak.gov.tr</a>	12.10.2007
[2] <a href="http://www.greeninginc.com">www.greeninginc.com</a>	17.10.2007
[3] <a href="http://www.ergin.com.tr">www.ergin.com.tr</a>	26.10.2007

## **7. ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı	Mustafa TİMUR
Doğum Yeri	Kayseri
Doğum Tarihi	27.05.1982
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dili	İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)	
Lise	Seyyid Burhaneddin Anadolu Teknik Lisesi (1996-2000)
Lisans	Afyon Kocatepe Üniv.Teknik Eğitim Fak. Makine Resim ve Konst. Öğretmenliği (2001-2005)
Yüksek Lisans	Afyon Kocatepe Üniv. Makine Eğitimi (2005-2007)
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı	
Mesa Mühendislik	2005-2006
Ahmetoğulları	2005-2006
Mak.San.	
Çapar	2006- devam ediyor
Mak.San.Tic.Ltd.Şti	

## 8. EKLER

<b>Ek No</b>		<b>SayfaNo</b>
Ek 1	Balata Tutucu	59
Ek 2	Kaplin	60
Ek 3	Mil- Disk Baęlama Elemanı	61
Ek 4	Disk Durdurma Kontrol Sistemi	62
Ek 5	Hidrolik Ünite Montaj Resmi	63
Ek 6	Test Cihazı Montaj Resmi	64

Ek 1

Ek 2

Ek 3



Ek 4

Ek 5

Ek 6





















