

**OTOMOTİV FREN BALATASI SÜRTÜNME TEST
CİHAZI TASARIMI VE İMALATI**

SELVİ YÜCE

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE EĞİTİMİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
ARALIK – 2013**

**OTOMOTİV FREN BALATASI SÜRTÜNME TEST
CİHAZI TASARIMI VE İMALATI**

SELVİ YÜCE

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE EĞİTİMİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ**

**MERSİN
ARALIK – 2013**

Selvi YÜCE tarafından Yrd.Doç.Dr. İlker SUGÖZÜ danışmanlığında hazırlanan “Otomotiv Fren Balatası Sürtünme Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Doç.Dr. Uğur EŞME



Doç.Dr. Ali KESKİN



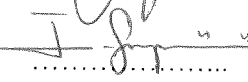
Doç.Dr. Funda KAHRAMAN



Yrd. Doç. Dr. Onur GÜVEN



Yrd. Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 28.02.2014 tarih ve 2014.04.186 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Doç.Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN
Enstitü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

OTOMOTİV FREN BALATASI SÜRTÜNME TEST CİHAZI TASARIMI VE İMALATI

Selvi YÜCE

ÖZ

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. Can ve mal güvenliğini sağlamak için fren balatalarının sürtünme katsayısının tespiti çok önemlidir. Bu çalışmada otomotiv fren balatalarının farklı sıcaklık, hız ve basınç altında sürtünme katsayısını belirlemek için test cihazı tasarım ve imalatı yapılmıştır.

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, taşıtların disk frenlerinde kullanılan balataların sürtünme katsayısını etkileyecek farklı devir, sıcaklık, basınç gibi faktörleri oluşturarak sürtünme katsayısını tespit edebilmektedir.

Bu cihazda, hız değerleri 0-14m/s arasında, basınç değerleri ise 0-40MPa arasında değiştirilebilmektedir. Bu değişkenlerin etkisini belirlemek için sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Bu çalışmada; tasarımı ve imalatı yapılan cihaz, yurt dışı imalatlı chase marka başka bir test cihazıyla karşılaştırılmış ve birbirine yakın deney sonuçları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fren balataları, Test cihazı, Sürtünme, Fren, Tasarım ve İmalat

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ, Mersin Üniversitesi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

AUTOMOTIVE BRAKE PAD FRICTION TESTER DESIGN AND MANUFACTURING

Selvi YÜCE

ABSTRACT

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. 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.

Friction coefficient tester, the coefficient of friction pads to be used in disc brakes of cars have been developed for the detection. The different factors affect the coefficient of friction. These contents can be divided into the working conditions and brake pad materials used in the manufacture of. Changes in operating conditions, different speed, temperature, pressure, etc. factors. The design and manufacture of test device, vehicles, disc brakes affect the coefficient of friction lining are used in different speed, temperature, pressure forming factors such as determines the coefficient of friction.

This device can be changed speed from 0 to 14 rpm and pressure from 0 to 40 MPa. Friction coefficient-temperature-time graphs are obtained to identify the effect of these variables. Friction coefficient-temperature-time graphs are obtained to identify the effect of these variables. In this study, the design and manufacture of the device, compared with overseas manufactured builders chase brand tester and the test results are close to each other.

Key Words: Brake pads, Tester, Friction, Brake, Design and Manufacturing

Advisor: Yrd. Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ Department of Mechanical Education, University of Mersin

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarında bana daima yol gösteren engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, değerli danışmanım Sayın Yrd. Doç. İlker SUGÖZÜ ve üzerimde emeği bulunan tüm kıymetli hocalarıma;

Tez çalışmasını ortaya çıkarmamda ve deneyler esnasında yardımlarını esirgemeyen Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi çalışanlarına teşekkür ediyorum.

Hayatım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyip beni bu yaşa getiren ve eğitimimin bu safhaya kadar gelmesini sağlayan, haklarını asla ödeyemeyeceğim, babam İbrahim Halil YÜCE' ye, annem Tülin YÜCE' ye ve kardeşim Mert YÜCE' ye teşekkürü bir borç bilerek minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGE VE KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. TRİBOLOJİ.....	3
2.1.1. Sürtünme.....	3
2.1.1.1. Sürtünme kanunları.....	5
2.1.1.2. Sürtünme Teorileri.....	5
<i>Mekanik kilitleme teorisi</i>	5
<i>Moleküler çekim teorisi</i>	6
<i>Elektrostatik kuvvetler</i>	6
<i>Kaynaklaşma, kesme-kazıma</i>	6
2.1.1.3. Sürtünme katsayısı.....	7
2.1.2. Aşınma.....	11
2.1.2.1. Aşınmanın temel unsurları.....	12
2.1.2.2. Aşınma türleri.....	13
<i>Adhezif aşınma</i>	14
<i>Abrazif aşınma</i>	16
<i>Yorulma aşınması</i>	17
<i>Korozif aşınması</i>	18
2.1.2.3. Aşınma hasarları.....	19
2.1.2.4. Aşınma deneyleri ve ölçüm yöntemleri.....	19
<i>Ağırlık farkı metodu</i>	20
<i>Kalınlık farkı metodu</i>	21
<i>İz Değişimi Metodu</i>	22

<i>Radyoizotop Metodu</i>	22
2.2 OTOMOBİLLERDEKİ FREN SİSTEMLERİ	22
2.2.1 Fren Sisteminin Parçaları	22
2.2.2 Disk Fren Sistemleri.....	23
2.2.3 Kampana ve Disk Malzeme Özellikleri	27
2.3. FREN BALATALARI VE ÖZELLİKLERİ.....	28
2.3.1. Balatalardan İstenilen Özellikler.....	28
2.4. BALATA OLUŞUMUNDA KULLANILAN MALZEMELER VE FONKSİYONLARI	30
2.4.1. Elyaf lar (Takviye Malzemeleri).....	30
2.4.1.1. Asbest.....	31
2.4.1.2. Cam elyafı.....	33
2.4.1.4. Çelik elyaf (Çelik yünü).....	37
2.4.1.5. Taş yünü.....	38
2.4.1.6. Basarit	39
2.4.1.7. Fiberfrax.....	39
2.4.1.8. Mika grubu.....	40
2.4.2. Dolgu Maddeleri	41
2.4.3. Bağlayıcı Maddeler	42
2.4.4. Sürtünme Ayarlayıcı Maddeler	43
2.4.5. Temizleyiciler	43
2.4.6. Renklendiriciler.....	43
2.4.7. Madeni Dolgu Malzemeleri	43
2.5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	44
3.MATERYAL METOD	49
3.1. İMALAT AŞAMALARI	49
3.2. İMALATI YAPILAN SÜRTÜNME TEST CİHAZI	51
3.2.1. Sürtünme Test Cihazı Çalışma Prensibi.....	55
3.2.2. Sürtünme Test Cihazından Kullanılan Donanımlar	58
3.2.2.1. Sıcaklık ölçme aleti.....	58
3.2.2.2. Load cell.....	59
3.2.2.3. İnvörtör.....	59
3.2.2.4. Hidrolik ünite	60

3.2.3. Sürtünme Test Cihazı Bilgisayar Programı.....	60
3.2.3.1. Sürtünme test cihazı bilgisayar programının kurulması.....	61
3.2.3.2. Program ile sistem arasındaki bağlantıyı yapma.....	64
3.2.3.3. Programın kullanılması	65
<i>Moment farkı</i>	65
<i>Alan (mm²)</i>	66
3.2.3.4. Programda eğrilerin (grafiklerin ve verilerin) alınması	67
3.2.3.5. Manuel kullanım	68
4. BULGULAR	70
4.1. Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması.....	70
4.2. Deney Şartları	71
4.3. Deney Sonuçları.....	71
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1. TS 555'e göre balataların sınıflandırılması.....	8
Çizelge 2.2. İki ayrı yapıdaki cam yünü ve cam elyafın kimyasal analizi.....	34
Çizelge 2.3. Cam elyafın fiziksel, mekanik ve termal özellikleri	35
Çizelge 2.4. Kevlar fiberlerin özellikleri	37
Çizelge 2.5. Taş yününün özellikleri	38
Çizelge 2.6. Basarit'in özellikleri	39
Çizelge 3.1. Sürtünme katsayısı test cihazı parça listesi	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

	SAYFA
Şekil 2. 1. Sürtünmede temas alanları	4
Şekil 2. 2. Kuru kayma boyunca kristal kafesin elastik deformasyonu	5
Şekil 2. 3. Amontos Coulomb'un sürtünme modeli	6
Şekil 2. 4. Sürtünmenin malzeme yapısı üzerine etkisi	7
Şekil 2. 5. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları	9
Şekil 2. 6. a) Statik sürtünme katsayısının zamana göre değişimi b) Kinetik sürtünme katsayısının hıza göre değişimi	9
Şekil 2. 7. Kuru balatada basınç ve hızın sürtünme katsayısına etkisi	10
Şekil 2. 8. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterilişi	12
Şekil 2. 9. Aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi	13
Şekil 2.10. Adhezif aşınma	15
Şekil 2.11. Adhezif aşınmada aşınma bölgeleri	15
Şekil 2.12. Abrazif aşınma	17
Şekil 2.13. Yorulma aşınması	18
Şekil 2.14. Tribo oksidasyon aşınması	18
Şekil 2.15. Doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınmanın belirlenmesi	20
Şekil 2.16. Disk fren sistemi	24
Şekil 2.17. Disk fren sistemi şematik görünüşü	24
Şekil 2.18. Fren diskinde sürtünme	27
Şekil 2.19. Kampanalı ve disk frenin şematik görünüşü	28
Şekil 2.20. Çeşitli asbestler	32
Şekil 2.21. Wollastonit'in görünüşü	41
Şekil 3.1. Chase marka test cihazı	50
Şekil 3.2. Michael eriksson tarafından üretilmiş test cihazı	51
Şekil 3.3. Sürtünme test cihazı şematik görünüşü	53
Şekil 3.4. Sürtünme test cihazı görüntü-1	56
Şekil 3.5. Sürtünme test cihazı görüntü-2	57
Şekil 3.6. Optris CT infrared termometre	59
Şekil 3.7. Yük hücresi	59
Şekil 3.8. Elektronik devir ayarlayıcı (invertör)	60

Şekil 3.9. Program kurulumu simgesi	61
Şekil 3.10. Program kurulumu 1	62
Şekil 3.11. Program kurulumu 2	62
Şekil 3.12. Program kurulumu 3	63
Şekil 3.13. Program çalıştırma simgesi	63
Şekil 3.14. Program çalışma ekranı	64
Şekil 3.15. Port seçme	64
Şekil 3.16. Değerlerin girilmesi	65
Şekil 3.17. Moment farkı	66
Şekil 3.18. Üretilen balatalar	66
Şekil 3.19. Eğrilerin alınması	67
Şekil 3.20. Kaydedilmiş bir grafik örneği	68
Şekil 3.21. Manuel kullanım ekranı	69
Şekil 4.1. 1''lik balata tutucu	70
Şekil 4.2. ½''lik balata tutucu	70
Şekil 4.3. Balatanın takılma işlemi	71
Şekil 4.4. Chase tipi sürtünme aşınma test cihazı	72
Şekil 4.5. Chase tipi cihazda elde edilen verilerin çıktısı	73
Şekil 4.6. Chase tipi sürtünme test cihazındaki deney sonucu	74
Şekil 4.7. Tasarımı ve imalatı yapılan cihazdaki deney sonucu	74
Şekil 4.8. A Firmasına ait balata deney sonucu	75
Şekil 4.9. B Firmasına ait balata deney sonucu	76
Şekil 4.10. C Firmasına ait balata deney sonucu	76

SİMGE VE KISALTMALAR

DFs	Sürtünme kuvveti
DFn	Normal kuvvet
Q	Pürüz kısmın taban açısı
Fs	Sürtünme kuvveti
W	Normal kuvvet
μ_s	Statik sürtünme katsayısı
μ_k	Kinetik sürtünme katsayısı
Hm	Aşınan malzeme sertliği
Ha	Aşındırıcı sertliği
Wl	Doğrusal aşınma
Wd	Düzlemsel aşınma
Wv	Hacimsel aşınma
Wa	Aşınma oranı
Wr	Aşınma direnci
ΔG	Ağırlık kaybı (mg)
S	Kayma mesafesi (m)
M	Yükleme ağırlığı (N)
d	Aşınan malzemenin yoğunluğu (gr/cm ³)
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım

1. GİRİŞ

Taşıtların hareket enerjisini, sürtünme yoluyla ısıya dönüştüren ve hareketin durdurulması veya kontrol altına alınmasını sağlayan sistemlere fren sistemleri denir. Frenleme işleminde balata, kendisi ve frenlemeye çalıştığı karşı cisim arasındaki temas yüzeyinin kaymasını kontrollü olarak yavaşlatmak veya durdurmak için kullanılır [1]. Frenlemede sağlanan kısa durma mesafesi fren performansının en önemli göstergesidir. Sistemin performansı dönen diske karşı baskı uygulayan balata ile arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Bu durum, yavaşlama ivmesinin yüksek olması ile mümkündür ve yüksek frenleme kuvveti sürtünen yüzeylerin önemli bir kısmını oluşturan balata kalitesi ile ilgilidir [2]. Fren balatalarında aranan en önemli özellikler; zor çevre şartları altında bile güvenli kullanım ve rahatlık için; yüksek mukavemet, sabit sürtünme katsayısı, düşük aşınma oranı, düşük ses ve anti-titreşim karakteristikleri gibi çok sayıdaki özelliklerdir [3].

Taşıtların hareket halinde iken kinetik enerjiye sahiptir. Taşıtların hızını azaltılabilmek için sahip olduğu enerjinin başka bir enerji şekline dönüşümü gereklidir. Taşıtların kinetik enerjisi frenleme süresince sürtünme yoluyla ısı enerjisine çevrilir [4]. Frenler, hareket enerjisini absorbe ederek, ısıya çevirir ve bu ısıyı da atmosfere yayarlar. Fren sistemleri çıkabileceğinden daha fazla ısıya maruz kalırsa fren balatalarındaki sürtünme katsayısı düşer ve frenlerin durdurma kabiliyetleri azalır. Fren balatalarının etkisindeki bu azalmaya "balata aşınması" denir. Balatalar bu aşınma noktası sıcaklığının altında soğutuldukça normal görevlerini yaparlar. Fren balataları sürekli olarak veya uzun süreli aşırı sıcaklıklara maruz kaldıklarında, balataların daimi olarak zarar görmesine neden olacaktır. Bu zarar kendini frenlerin performansındaki azalma, hatalı çalışma, hızlı balata aşınması ve ses olarak gösterir [5]. Fren balatalarındaki aşınma noktasının bertaraf edilmesi için araştırmacılar iki yol izlemişlerdir. Birincisi; Fren balatalarının daha yeterli soğutulması, ikincisi ise; Fren balata malzemesini ısıya duyarlı olmayan bir sürtünme malzemesinden imal etmek.

Genel anlamda aşınma, birbiri ile temas ve hareket halinde bulunan cisimlerden, çalışma esnasında oluşan mekanik yüklemeler sonucunda mikroskobik

parçacıkların kopmasıyla oluşan istenmeyen yüzey değişikliğidir. Aşınma, yıpranma hususunda kendisini yavaş yavaş hissettirmesine rağmen, uzun zaman diliminde çok önemli kayıplara yol açmaktadır. Aşınmanın malzeme kaybına yol açmasının yanında, makine elemanlarının şeklini bozarak, onların iş yapma kabiliyetlerini azaltması veya yok etmesi ise çok daha önemlidir [6]. Aşınarak deforme olan parçaların dayanımı azalmakta ve eğilme, kopma, kırılma veya yağsız ortamlarda birbirine yapışma gibi istenmeyen arızalara sebebiyet verebilmektedir.

Aşınmanın en aza indirilmesi için, birbiri ile uyumlu malzemelerin seçiminin yanında, çalışma şartları da çok önemlidir. Birbiri ile sürtünerek çalışan malzemelerin aşınması, yağlama sistemlerinin kullanılmasıyla en aza indirilir. Fakat bazı sistemlerde yağlamanın faydadan çok zarar getireceği unutulmamalıdır. Özellikle sürtünme yoluyla çalışan kavramalarda ve fren sistemlerinde, birbiri ile temas halinde çalışan yüzeylere yağın bulaşması, bu sistemlerin verimli çalışmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple birbirleri ile uyumlu çalışabilecek ve en az aşınacak malzeme seçiminin yapılması büyük önem taşımaktadır [7].

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

Bu çalışmada, fren balatalarının sürtünme katsayılarını tespit amacıyla tasarlanan cihazda, hazırlanan numune balataların geçerli standartlarda belirtilen fren şartlarında deneyleri yapılarak, bilgisayar programı yardımıyla çeşitli basınç, hız ve sıcaklık değerlerine göre sürtünme katsayısı ve aşınma miktarları elde edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. TRİBOLOJİ

Triboloji, birbiriyle temas eden iki yüzey arasındaki etkileşimleri inceler. Fizik ve Kimya bilimlerinden, Mekanik ve Malzeme bilimine kadar birçok farklı alan tarafından incelenir ve çalışılır [8]. Ev aletlerinden uzay araçlarına kadar her alandaki teknik araç ve gerecin aşınması gibi ekonomik açıdan önem arz eden alanlarda büyük kayıplara neden olan problemleri tanımlayan ve işlevsel analizler uygulayan bir bilim alanıdır [9].

Bu bilim dalı 1967'de ortaya çıkmıştır. Yunanca bir terim olan "TRIBOS" kelimesinden türetilmiş olup (ovalama, kaydırma), disiplinler arası bir bilim dalıdır [10].

Çok sayıda yapı elemanı sürtünmeli ya da kaymalı zorlanmaya maruz kalır. Bu sırada meydana gelen aşınma, parçaların ömrünü ve güvenilirliğini sınırlar. Tekniğin her sahasında malzemelerin sürtünme özelliklerinden ve sürtünme kuvvetlerinden faydalanılarak çeşitli konstrüksiyonların gerçekleştirildiği ve çok çeşitli görevlerin yerine getirildiği görülmektedir. Bu görev, 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 silindirlisinde olduğu gibi bir hareketin iletilmesi gibi çok çeşitli olabilir [11].

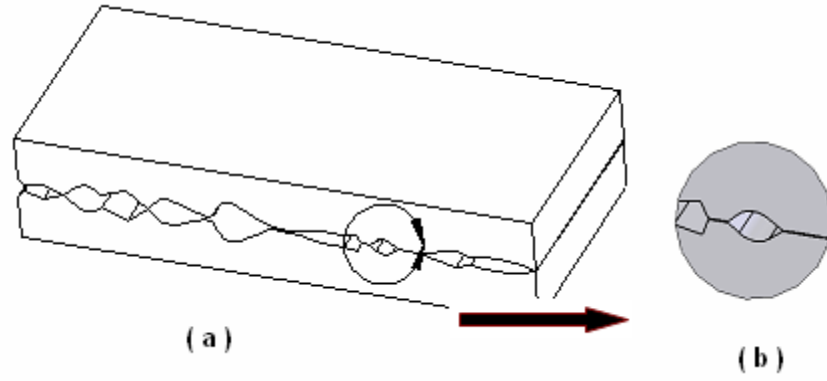
2.1.1. Sürtünme

Sürtünme; temasta bulunan iki malzemedeki biri diğerinin üzerinde kayarken diğer malzemenin karşı yüzeyin hareketine gösterdiği direnç olarak adlandırılır [12].

Sürtünme, ilgili yüzeyler arasında belirli değerler içinde olmalıdır. Taşıt frenlerinde sürtünmenin azlığı nedeniyle taşıtın istenilen mesafe ve zamanda durmaması veya fazla sürtünme nedeniyle taşıtın frenlerinin bloke olması bu duruma tipik örnektir.

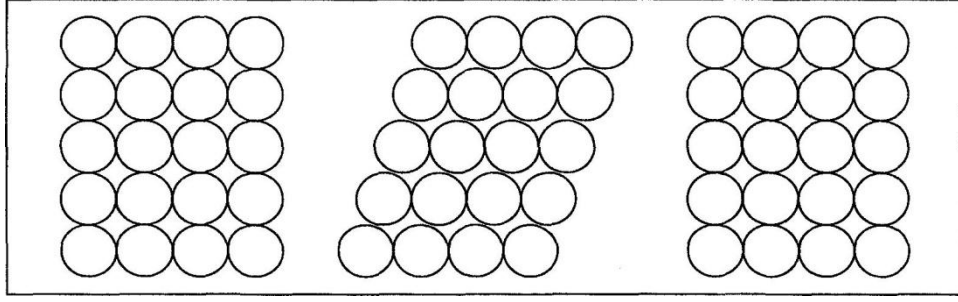
Sürtünme hareketin cinsine göre; yuvarlanma, kayma veya kayma yuvarlanma şeklinde olabilir. Birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler arasında yağlayıcı madde konulup, konulmaması bakımından da, temas yüzeylerinin durumuna göre, kuru, yarı sıvı ve sıvı sürtünme olarak üç halde de incelenebilir [10, 13, 14]. Şekil 2.1 (a)'da üstteki cisim alttaki cisim üzerinde sağa doğru kaymaktadır, diyagram büyütülerek gösterilen (b)'de ise yüzeysel yapışma noktaları görülmektedir.

Son zamanlarda sürtünmenin meydana gelme nedenleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Araştırmacılar yüzey pürüzlülüğü, adhezyon, elastisite veya kuru sürtünme boyunca yüzey geçişleri gibi kuru sürtünmenin tek parametresi ile ilgilenmişlerdir [15].



Şekil 2.1. Sürtünmede temas alanları

Sürtünmenin sebebi; bir yüzeydeki atomların diğer yüzeydeki atomlar üzerinde hareket ettiği zaman katı yüzeyin kayması esnasında meydana gelen kafes hareketidir. Çünkü bir yüzeyin diğer bir yüzey üzerinde hareketi sonucunda mekanik enerjinin bir bölümü ses dalgaları ve ısıya dönüşür. Birbirleri ile temastaki her katı malzemenin kristal kafesi atomik düzeyde denge durumundadır. Sürtünen çiftlerden birine kayma gerilmesi uygulandığında her kafes elastik olarak deforme olur [16]. Eğer kayma daha da artarsa ve kararsız duruma gelirse atomlar yeni bir denge durumuna geri döner. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi bütün deformasyon enerjisi yok olana kadar kristal kafes hareket eder [17].



Şekil 2.2.Kuru kayma boyunca kristal kafesin elastik deformasyonu

2.1.1.1. Sürtünme kanunları

Sürtünme kanunlarının belirlenmesinde iki temel esas vardır. Bunlar büyük oranda uyumluluk gösterirler. Birinci kanun; temas eden yüzeyler arasında oluşan sürtünme kuvveti, görünür temas alanında bağımsızdır. İkinci kanun; sürtünme kuvveti, cisimler arasındaki normal yük ile doğru orantılıdır. Böylece bir cisim diğeri üzerinde kayarken, eğer normal yük iki katına çıkarsa, sürtünme kuvveti de iki katına çıkar. Bu kural daha çok "Amontos" kuralı olarak bilinir ve ilk kez 1699 yılında Fransız bilim adamı Amontos tarafından çıkarılmıştır. Üçüncü kural olarak da; kinetik sürtünme kayma hızından yaklaşık olarak bağımsızdır. Bu kuralın ilk ikisine göre uygulanabilirliği daha düşük değerdedir. Üçüncü kural Coulomb tarafından 1785 yılında açıklanmıştır [18].

2.1.1.2. Sürtünme Teorileri

Sürtünmede en önemli faktör pürüzlerin etkileşmesidir. Buna göre sürtünme rijit yani deformasyona uğramayan pürüzlü noktaların teması sonucu meydana gelir. Temel sürtünme teorileri şunlardır [19].

Mekanik kilitleme teorisi

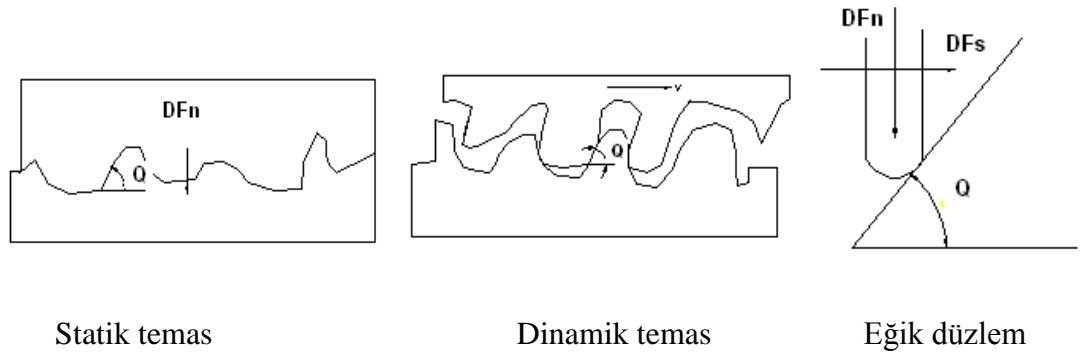
Bu teoriye göre yüzeylerdeki girintiler ve çıkıntılar birbirini içersine geçerler. Yüzeyleri hareket ettirmek için uygulanan kuvvetin pürüzleri kesecek büyüklükte olması gerekir. Kesmeyi gerçekleştiren bu kuvvete sürtünme kuvveti denir. 1699'da Amontos Coulomb tarafından bulunan bu teori sürtünmedeki enerji

kaybını açıklayamamaktadır. Şekil 2.3’de Colulomb’un sürtünme modeli görülmektedir. Burada;

DFs: Sürtünme kuvvetini,

DFn: Normal kuvveti

Q : Pürüz kısmın taban açısını ifade eder.



Şekil 2.3 Amontos Coulomb’un sürtünme modeli

Moleküler çekim teorisi

Bu teoride temas eden yüzeylerin molekülleri arasında bir bağ oluşur ve sürtünme kuvveti moleküller arası bağı yenen kuvvettir. Bu teori yapışkan aşınmanın anlaşılmasına yardımcı olan bir teoridir.

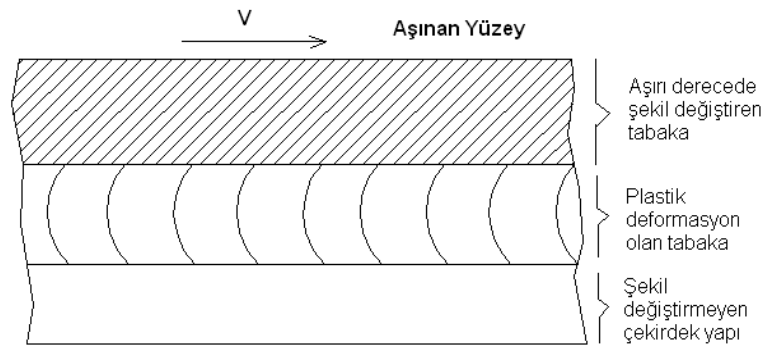
Elektrostatik kuvvetler

Bu teoriye göre sürtünme iki karşı yüzeyde zıt elektrostatik yük birikmesine sebep olur. Bu şekilde meydana gelen zıt yükler arasındaki çekme kuvveti yüzeyleri birlikte tutar.

Kaynaklaşma, kesme-kazıma

Bu teoride birbiri üzerine bastırılan yüzeylerin temasta olan pürüzleri (asperitileri) yüksek basınçlar nedeni ile bölgesel olarak kaynaşır. Hareketi başlatabilmek için kaynayan noktaları kesmek gerekir. Eğer iki yüzeyden biri

diğerine göre sert ise sert yüzeyin asperitileri yumuşak yüzeye gömülür. O halde de hareketi başlatabilmek için sert yüzeyin yumuşak yüzeyi kazınması gerekir. Yapılan ölçümlerde taşlanmış iki yüzeyin gerçek temas alanının görünen toplam yüzeyin çok küçük bir miktarı olduğu görülmüştür. Teorik olarak ilk değme halinde en yüksek üç noktada oturma olur. Bu noktaların elastik ve plastik deformasyonu sonucu değme alanı genişler ve diğer tepelikler birbiri ile temas eder. Yüzeyleri bastıran kuvvetin büyüklüğü kuvvete bağlı olarak, yüzey teması gittikçe genişler ve sonunda bir denge oluşur [20].



Şekil 2.4. Sürtünmenin malzeme yapısı üzerine etkisi

2.1.1.3. Sürtünme katsayısı

TS 555'e göre, disk veya kampana ile disk veya kampana fren balatası arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranı sürtünme katsayısı olarak tanımlanır. TS 555'e göre sürtünme katsayısı, sıcak ve soğuk sürtünme katsayısı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sıcak sürtünme katsayısı ise, 300, 350 ve 400 °C sıcaklıklarda ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Soğuk sürtünme katsayısı, aşınma deneyi esnasında 100, 150 ve 200 °C'de ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Balata kalitesini belirlemede sürtünme katsayısı aralıkları verilmiştir. Çizelge 2.1'de TS 555'te verilen sürtünme katsayısına göre balataların sınıflandırılması görülmektedir.

İki malzeme birbiri ile temas edecek şekilde yerleştirilirse, malzemelerin birbiri üzerinde kaymasını sağlamak için uygulanan kuvvete dik yönde olacak şekilde bir sürtünme kuvveti (direnç) oluşur.

Çizelge 2.1.TS 555'e göre balataların sınıflandırılması [21]

Sınıf	Sürtünme katsayısı (μ)
C	0,15'e kadar
D	0,15-0,25
E	0,25-0,35
F	0,35-0,45
G	0,45-0,55
H	0,55'ten yukarı

Bowden ve Tabor'e 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 çıkıntıların yumuşak olan yüzeyde sürtünme anında açtığı yol için harcadığı (S) kuvvetinin etkisidir [22].

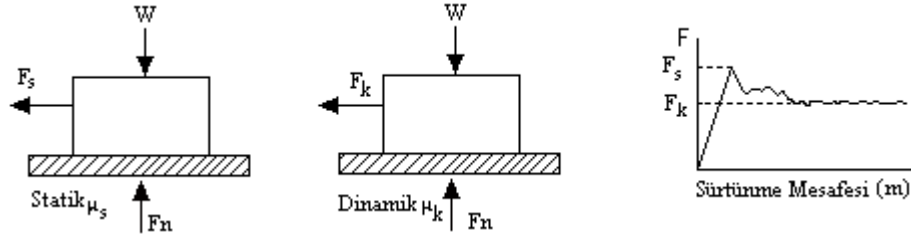
Toplam sürtünme kuvveti $F = F_s + S$ 'dir. Genellikle "S" kuvveti ihmal edilir ve böylece $F = F_s$ olarak yazılabilir. Sürtünme kuvvetleri uygulanan kuvvetlerin bileşkesine eşit ve ters yönde olur, böylece herhangi bir yatay hareket meydana gelmez. Buna göre bağlı hareket eden ve normal bir kuvvetin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

$$F_s = \mu \times W \quad (1)$$

Bu ifadedeki (μ) 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.

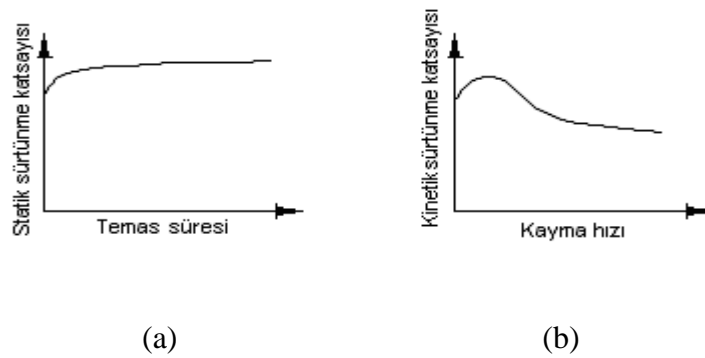
Kaymayı başlatan kuvvet (F_s) ile temas yüzeyine etki eden normal kuvvet (F_n) arasında; $F_s = \mu_s \times F_n$ bağıntısı mevcuttur. Burada, μ_s statik sürtünme katsayısıdır. Kayma başladıktan sonra, sürtünme kuvvetinde bir azalma olur (F_k). Bu

durumda; $F_k = \mu_k \times F_n$ ilişkisi geçerlidir. Burada $\mu_k < \mu_s$ kinetik sürtünme katsayısıdır. Şekil 2.5’de statik ve dinamik sürtünme katsayıları görülmektedir [18, 23, 24].



Şekil 2.5. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları [24]

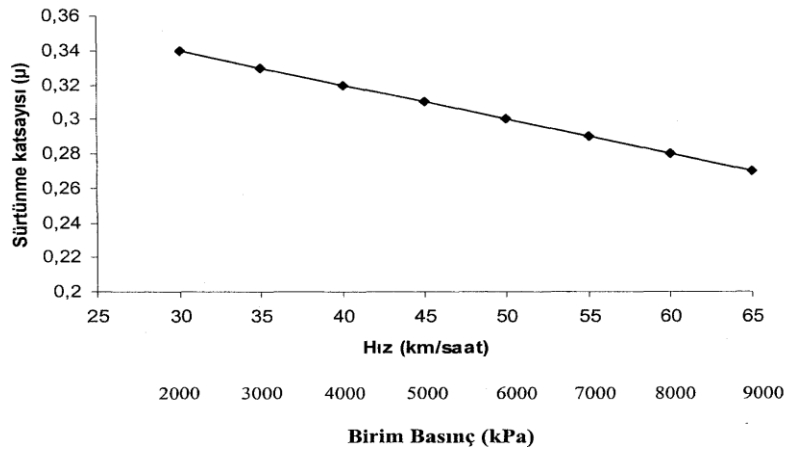
Şekil 2.5’de gösterildiği gibi, sürtünme statik veya dinamik olarak tanımlanabilir. Statik sürtünme katsayısı, sıfır hızındaki iki yüzeyin sürtünme değeridir. Dinamik sürtünme katsayısı ise, sıfırdan büyük hızlarda ölçülen sürtünme değeridir. Sürtünme katsayısı; sürtünme hızı, basınç ve sıcaklık gibi değişkenlere bağlıdır [25]. İki yüzey arasındaki sürtünme hızının artmasıyla sürtünme katsayısı düşmektedir. Uygulanan basınçta sürtünme katsayısı üzerinde benzer bir etki gösterir. 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 2.6’de grafik halinde görülmektedir.



Şekil 2.6. a) Statik sürtünme katsayısının zamana göre değişimini b) Kinetik sürtünme katsayısının hıza göre değişimi

Islak balatalarda yüzey sıcaklığının 150°C üzerine çıkmasıyla sürtünme katsayısında önemli miktarda düşme olacaktır. Bu sıcaklık genelde "bozunum sıcaklığı" olarak anılır. Islak balatalarda genellikle aşınma hızları düşüktür [25, 26, 27].

Kuru balatalar, ıslak olanlara göre daha basit ve hafiftir. Şekil 2.7 basınç ve hızın, otomobil disk freni dinamik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Islak balatalarda olduğu gibi dinamik sürtünme katsayısında artan basınçla sürtünme katsayısında düşme meydana gelmektedir.



Şekil 2.7 Kuru balatada basınç ve hızın sürtünme katsayısına etkisi

Pratikte sürtünme denilince akla gelen kinetik sürtünmedir. Aşınmada, enerji kaybı ve sıcaklık artışı gibi olaylar sürtünme sebebiyle oluşmaktadır. Bu duruma göre, uygulama alanlarını göz önünde bulundurarak sürtünmenin hem istenen hem de istenmeyen bir olay olduğu söylenebilir. Fren, kavrama ve sürtünmeli çarklar gibi makine elemanlarında istenilen bir olay olduğu için, sürtünme artırılmaya çalışılır. Oysa diğer izafi hareket yapan bütün sistemlerde sürtünme istenmeyen bir olaydır ve azaltılması istenilir [18].

Buna göre sürtünme katsayısı (μ), sürtünme kuvvetinin değerini belirler. Sürtünme katsayısı, $0.001 < \mu < 10$ değerleri arasında değişir. Vakumda çok temiz yüzeyli metallerin birbirleri üzerinde kaydırılması sırasında sürtünme katsayısı $\mu > 10$ değerindedir. Çok hafif yüklü bir rulmanda ise $\mu = 0.001$ değerindedir. Birçok

malzemenin havada birbiri üzerinde kayması durumunda sürtünme katsayısı ($0.1 < \mu < 1$) arasındaki değerlerde, yani daha dar bir aralıktaki değerlerdedir [24].

2.1.2. Aşınma

Karşılıklı yüzeylerin birbirleri ile etkileşimleri sonucu mekanik harekete bağlı olarak malzemede istenmeyen kopma şeklinde tanımlanan aşınma [28, 29], sürtünme etkisinin de kaçınılmaz bir sonucudur. Aşınma sonucu birbiriyle çalışan yüzeyler arasında meydana gelen boşluklar çalışma sırasında istenilmeyen durumlara yol açarak o oranda da istenilen fonksiyonların yerine getirilmesini zorlaştırır [28].

Malzeme ve makine elemanlarının ömürlerine aşınmanın büyük etkisi vardır. DIN 50320'de aşınma cisimlerin yüzeylerinden mekanik etkenlerle mikro taneciklerin koparak ayrılması nedeni ile istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesi şeklinde tarif edilir [30].

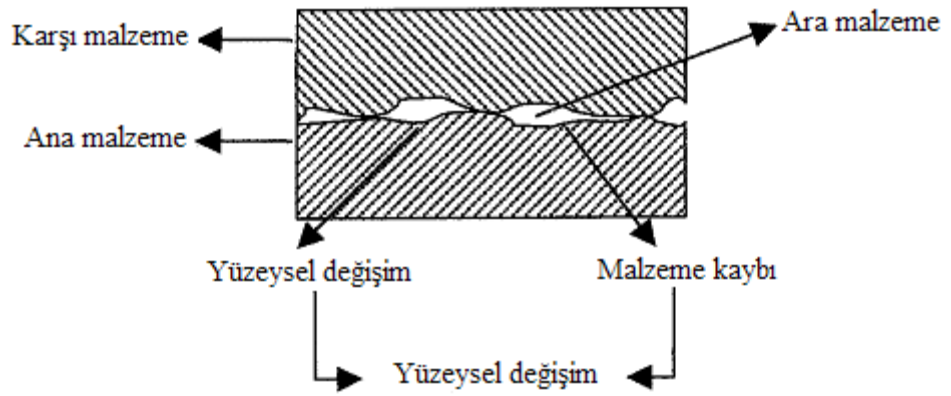
Aşınma mekanik, kimyasal veya elektro-kimyasal etkenlerin tribo-sistem içinde etkileşimleri ile meydana gelir. Aşınma iş sertleşmesi, oksitlenme, metal transferi, faz değişikliği, yağ ve kir filmleri gibi çok sayıda olaya bağlıdır. Pek çok malzeme çiftinin sürtünme katsayısı (μ) 0.1 ile 10 arasında değiştiği halde aşınma hızları çok farklı değerlerde olmaktadır. Malzemelerindeki yıpranmanın aşınma sayılması için;

- Mekanik bir etkinin olması,
- Sürtünmenin olması,
- Yavaş fakat devamlı olması,
- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi
- İsteğimiz dışında meydana gelmesi gerekir.

Bu şartlardan biri sağlanmıyorsa meydana gelen yıpranma aşınma değildir [31].

Tribolojik sistem, karşılıklı etkileşen elemanlarda hız, ısı şartları ve yükün etkisi ile sonuçlanan aşınma olayını inceler. Tribolojik sistem, Şekil 2.8’de görüldüğü gibi;

- Ana malzeme (aşınan)
- Karşı malzeme (aşındıran)
- Ara malzeme
- Yük, hareket (çevre ortamı) elemanlarından meydana gelir [24, 32, 33].



Şekil 2.8. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterilişi [18, 24]

Aşınmanın incelendiği eleman esas sürtünme elemanıdır. Karşı eleman katı, sıvı veya gaz halinde olabilir. Eğer ortam vakumlu ise iyi temizlenmeyen yüzeylerde yağlayıcı özellik gösteren ara maddeler olabilir. Bu haldeki sürtünmeye teknik kuru sürtünme denir. Vakumsuz ortamda ise çevre devreye girer ve sistem elemanları sayısı üç tanedir. Eğer yağlama da var ise eleman sayısı dördür [20].

2.1.2.1. Aşınmanın temel unsurları

Aşınmanın başlaması ve devam etmesi için sürtünmenin olması gerekir. Sürtünen iki yüzeyin temas alanına mekanik etkileşim alanı denir. Bu alanın aşınmaya etkisi büyüktür. Yüzeylerin gerçek temas alanı görünen temas alanından çok küçüktür. Çok hassas işlenen yüzeylerde dahi yüzeylerde pürüzler bulunur. Yüzeylerin etkileşimi bu pürüzlerde olur. Pürüzler arası girintilerde ise etkileşim

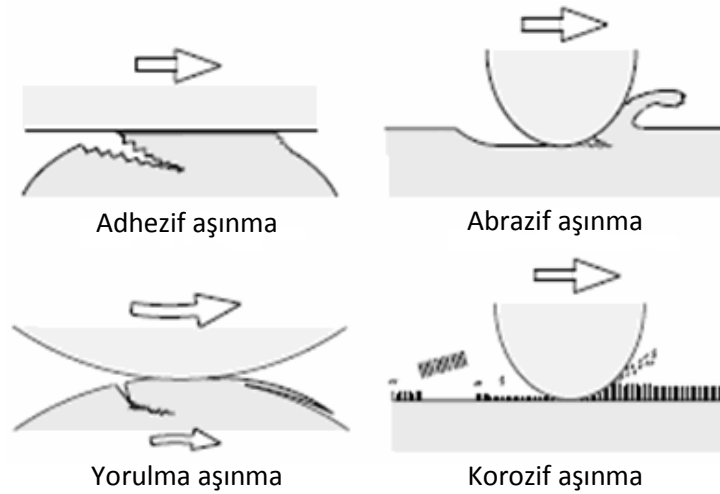
yoktur ve temas alanı dışında kalır. Yüklemenin şekli ve değeri temas alanını, dolayısıyla aşınmayı etkileyen iki önemli faktördür. Yükün değeri arttıkça gerçek temas alanı artar. İki cisim birbirine göre kayma, yuvarlanma ve kaymalı-yuvarlanma hareketi veya çarpma hareketi yapabilir. Hareketin yönü ve hareketin miktarı aşınma miktarına ve aşınma cinsine tesir eder. Ayrıca sıcaklığın da aşınma üzerinde büyük etkisi vardır [34].

2.1.2.2. Aşınma türleri

Sürtünerek çalışan malzeme çifti arasındaki karşılıklı zorlama neticesinde meydana gelen aşınmanın değişik türleri vardır ve bundan dolayı farklı sınıflandırılmaları gerekmektedir [28]. Aşınma sıcaklık, malzeme, yük, hız, yağlayıcı tipi, ve sertlik gibi özelliklerin değiştirilmesinden etkilenmektedir [18]. Aşınma mekanizmaları genel olarak dört başlıkta incelenmektedir [29, 35].

- Adhezif aşınma
- Abrazif aşınma
- Yorulma aşınması
- Korozyon aşınması

Evrensel bir aşınma türü olmadığı için, aşınmayı test edecek makine ve metot yoktur. Laboratuvar testleri, servis şartlarını taklit etmeyi amaçlar [36].



Şekil 2.9. Aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi [29]

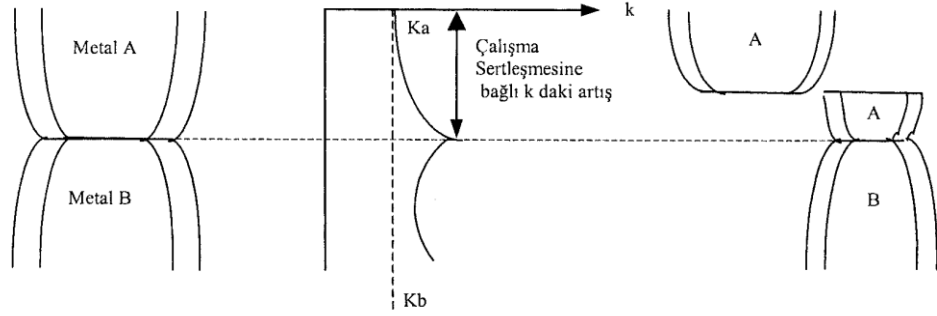
Adhezif aşınma

Yapışma aşınma olarak da bilinen adhezif aşınma en yaygın olarak rastlanan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle adhezif aşınma hasarlarının hazırlayıcı etkisi bulunmaz [18].

Bu tür aşınma, iki malzemenin birbiri üzerinde hareket etmesi sırasında yapışması ve kayması sonucunda küçük parçacıkların ayrılmasıyla oluşmaktadır. İki metal yüzeyi, birbiri ile temas ettiği taktirde, malzemelerin yüzeylerinde bulunan izler, düzensizlikler, malzeme yüzeyinde bölgesel yüksek basınçlar oluştururlar ve yüzey filmlerinin kırılmasına neden olurlar.

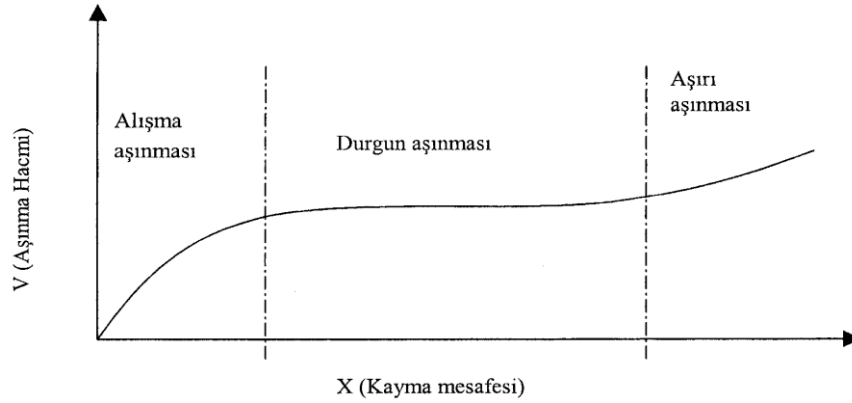
Temiz metal yüzeyleri birbirine temas ettirildiklerinde, yüzeylerdeki elektrostatik düzensizlikler sebebiyle kaynama için bir eğilim söz konusudur. Eğer bir yüzey diğer bir yüzey üzerinde hareket halinde ise, kaynamanın olduğu bölgeler kırılacaktır [10, 37].

Bu aşınma çok düşük hızlarda da meydana gelmekte olup, uygulamada daha çok yüksek hız ve yüklerde görülen bir aşınma tipidir. Temasta olan yüzeyler birbirlerini pürüzlü noktalarda etkilerler. Gerçek temas alanı çok küçük olduğundan yüzeylere uygulanan yükün etkisi ile temas eden yüzeylerde temas artar. Temastaki pürüzler basıncı taşıyamayacak duruma geldiğinde akma sınırı aşılır ve plastik deformasyon meydana gelir [38]. Eğer malzemenin plastik olma kabiliyeti yüksek ise mikro adhezyon alanları hızlı bir şekilde temas yüzeyine tamamen yayılır. Malzeme molekülleri birbiri ile temasa geçerek temas noktalarında kaynak bağları meydana gelir. Yatay bir kuvvet ile yüzeyler birbirine göre hareket ettirilmek istenirse kaynak olan noktalar kesilebilir. Eğer kesilme tam ara yüzeyde gerçekleşir ise aşınma meydana gelmez. Eğer kopma yüzeylerden birinde gerçekleşir ise diğer yüzeye malzeme transferi olur. Sürtünmenin devam etmesi halinde transfer olan malzeme kopmak sureti ile aşınma ürününü meydana getirir [14, 20].



Şekil 2.10. Adhezif aşınma [23]

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi A ve B atomları arasındaki yapışma yeteri kadar iyi ise, yumuşak olan A metalinden kopan parçacıklar taşınacaktır. Eğer, A ve B malzemeleri aynı ise, aşınma her iki yüzeyde de meydana gelecektir.



Şekil 2.11. Adhezif aşınmada aşınma bölgeleri

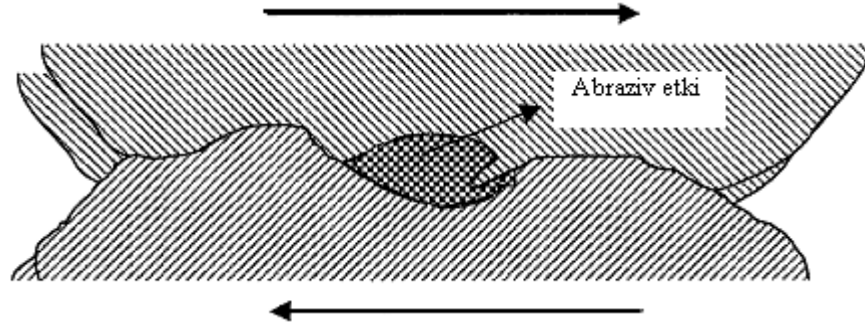
Şekil 2.11'de görüldüğü gibi, alışma aşınması üç aşınma bölgesinden meydana gelmektedir. Yüzeyler hareket ettirildiğinde başlangıçta yüzeylerin teması sivri tepeliklerde olduğundan yüksek gerilmeler meydana gelir ve aşınma hızla artar. Sivri noktaların düzleşmesi ile ve kopan partiküllerin yağlar tarafından uzaklaştırılması ile yüzey teması çok geniş bir alana yayılır. Dolayısıyla gerilme düşer ve aşınma miktarı azalır. Aşınmanın başlangıcında alışma aşınması (rodaj) denir. Bu aşınma halinde yüklerin yüksek olması tehlikelidir. Tüm yağlamalı sistemlerde alışma aşınması uygun şartlarda gerçekleşir ise faydalıdır. Alışma aşınması ile aşınma miktarı atılarak yüzeyler düzgünleşir. Dolayısıyla temas alanı artarak yük düşer. İkinci bölgedeki aşınmaya durgun aşınma denir ve uzun süre

önemli bir aşınma meydana gelmez. Tezgâh ve makinelerin ömrünü bu aşınma tayin eder. Durgun aşınma sonunda aşırı aşınma meydana gelir. Bu aşınma durumunda malzeme çiftleri birbirine tamamen yapışabilir [10].

Abrazif aşınma

Abrazif aşınma, katı yüzey boyunca, katı yüzeye karşı hareket eden sert partikül ya da sert yükseltelerin oluşturduğu aşınma türüdür. Aşınma genellikle temas eden yüzeyler arasındaki sert partiküllerin ya da diğerine göre sert yüzeylerin relatif hareketlerinden dolayı meydana gelen malzeme kaybını içeren katı yüzeyin hasarı olarak tanımlanır [39].

Ayrıca, sürtünen iki yüzey arasına dışarıdan giren ya da iki yüzey arasında oksitlenmeden dolayı meydana gelen daha sert bir parçacığın yüzeylerde yaptığı hasar olarak tanımlanır. Bu sert parçacıklar, yüzeylerde taşlama işleminde olduğu gibi bir malzemedен parça kopartılması olayı ile benzer işlem gösterirler [23]. Yüzeylere baskı kuvveti uygulandığı zaman yüzey üzerindeki sert parçacık yumuşak yüzeye gömülür. Dolayısıyla yüzeyleri hareket ettirmek için bir kuvvet uygulandığı zaman bu sert parçacıklar yumuşak yüzeyi kazırlar. Aşınma yumuşak ve sert iki yüzey arasında olduğu gibi sert taneciklerin yüzey üzerinde akması ile de gerçekleşir. Şekil 2.12’de tipik bir abrazif aşınma görülmektedir. Üç cisimli aşınmada yüzeyler arasındaki sert tanecikler tam bir kayma hareketi yapmaz, bazen de yuvarlanırlar. Bu nedenle aşınma daha yavaş olur. Metalin (aşınan malzeme) sertliği (Hm) ve aşındırıcının sertliği (Ha) olmak üzere Hm/Ha bir kriter olarak kullanılır. $Hm/Ha < 0.8$ ise metalde çok aşırı kazıma aşınması meydana gelir. Talaşlı imalatta istenen durum budur. $Hm/Ha > 0.8$ ise kazıma aşınması düşüktür. $Hm/Ha > 1$ ise metalde kazıma aşınması meydana gelmediği kabul edilir [40].



Şekil 2.12 Abrazif aşınma

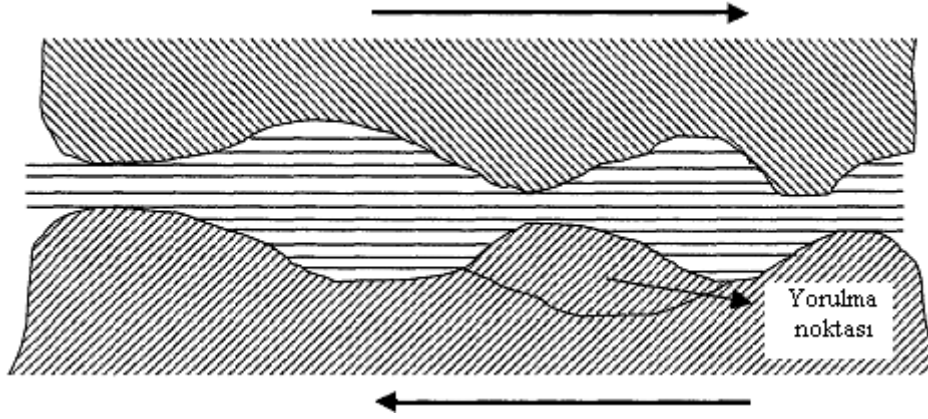
Kayma ve abrazif aşınma arasındaki fark çok belirgin değildir. Her ikisi de temiz yüzeylerde partikül (talaş) oluşmadan önce, meydana gelen deformasyona bağlı olarak bir aşınma alanı halkasının parçalarıdır [41]. Kayma aşınmasının ilerlemesine bağlı olarak abrazif duruma göre değişik bir aşınma boyutuna geçebilir. Örneğin, kaymanın ilk aşamalarında oluşan partiküller her iki kayma bileşenini de aşındırabilir [42]. Sert partiküllerin boyutunun kritik bir değer altına düşmesine göre abrazif aşınmadan kayma aşınmasına bir geçiş olduğu belirtilmiştir [43].

Yorulma aşınması

Adhezif ve abrazif aşınma mekanizmalarında aşınma partikülü oluşması için tekrarlı temasın olmasına gerek yoktur. Tekrarlı temasın olduğu yerlerde aşınma ürünlerinin oluşması için farklı bir aşınma mekanizması mevcuttur. Böyle tekrarlı temas halinde meydana gelen aşınma yorulma aşınması olarak adlandırılır [29, 35]. Tribolojik zorlamalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür.

Temas yüzeylerinde oluşan küçük çukurcuklar halinde kendini gösterir. Genellikle dişli çarklar, kamlar, rulmanlar gibi makine elemanlarında yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde oluşur ve zamanla yorulma sonucu zararlı hale gelirler [13]. Bu elastik ve plastik olayların devam etmesi sonucu mikro çatlaklar oluşur, çatlak büyümesi olur ve aşınma parçacıkları kopar. Burada harcanan enerji, malzemede belirli ölçüde tahribat yapar. Mesela, fazla zorlanan

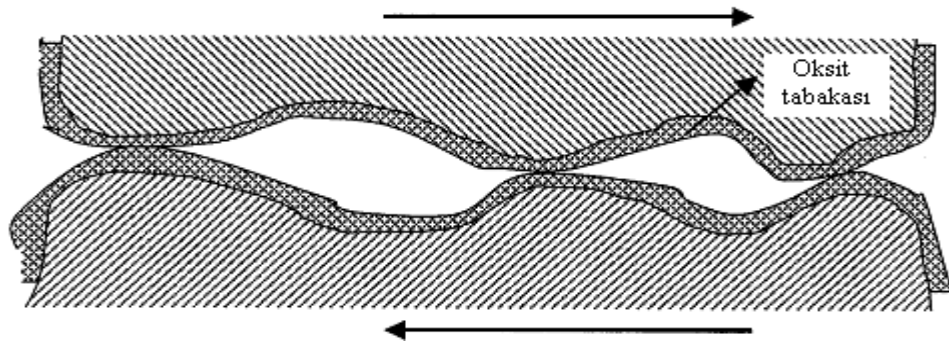
balata malzemelerindeki sürtünme ısını almak için endotermik işlem kullanımı (balata soğutma işlemi) gereklidir [11]. Şekil 2.13’de yorulma aşınması görülmektedir.



Şekil 2.13. Yorulma aşınması [24]

Korozif aşınması

Temas yüzeylerinden en az birinin çalışma ortamında korozyona uğraması ve izafi hareket sebebiyle meydana gelen korozyon tabakasının silinerek alınması ve bunun devamlı olarak tekrarı ile meydana gelen aşınmadır. Sert olan ve koparak sürtünme yüzeyleri arasına giren parçacıklar abrazyif bir tesir yaparak aşınmayı artırıcı rol oynarlar [14]. Şekil 2.14’de oksidasyon aşınma görülmektedir.



Şekil 2.14. Tribo oksidasyon aşınması [24]

Katı tanecik erozyonunda; katı bir cisim bir yüzeye dik olarak çarparsa ikinci yüzeyde plastik deformasyon veya kırılma meydana gelir. Çarpılan

yüzey sünek ve çarpan cisim çok sert ise yüzeyde çukur oluşur. Malzeme kaybı meydana gelmeyebilir. Darbeler devam ettiği taktirde yorulmadan dolayı malzeme kaybı başlar. Erozyon aşınması tanecik darbe hızı arttıkça aşınmada lineer bir değişim gösterir. Sıvı tanecik erozyonunda ise; basınçlı sıvı jetleri katı cisim gibi davranır. Sıvı jetleri yüzeye çarptığı zaman ses dalgaları oluşur ve bunlar çekme-basma şeklinde yüzeyde yayılır. Sonuçta yüzeylerde plastik deformasyon ve pürüzler oluşur [30].

2.1.2.3. Aşınma hasarları

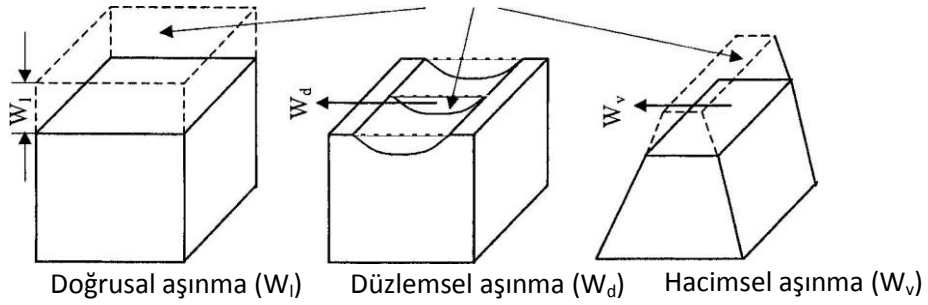
Aşınma, makine ve konstrüksiyon tasarımında çok önemlidir. Temas eden yüzeylerde sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise işleme toleranslarının azalmasına neden olmaktadır. Aşınma sorunlarının yaşandığı tesislerde meydana gelen aşınma maliyetini beş grupta toplamak mümkündür [10].

- Aşınmış ve dolayısıyla kullanılamaz duruma gelmiş parçanın ve yenisinin maliyeti,
- Aşınma yüzünden tesisteki işlem parametrelerinin meydana getirdiği maliyet
- Bakım ve onarım için tesisin durdurulması sebebiyle oluşan üretim kaybı ve dolayısıyla üretimin durdurulması ve yeniden başlatılması (ön ısıtma gibi) maliyeti,
- Aşınmanın önceden tahmin edilememesi yüzünden meydana gelecek kazaların sebep olduğu kayıplar.

2.1.2.4. Aşınma deneyleri ve ölçüm yöntemleri

Malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınmanın ölçümü, temas eden parçalardan birinde veya her ikisindeki hacim veya ağırlık kaybı esas alınarak yapılır. Aşınma doğrudan veya dolaylı ölçümlerle verilebilir. Aşınma deneyinde kullanılan deney sistemine bağlı olarak Şekil 2.15’de doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınma söz konusudur [24].

Aşınmış yüzeyler



Şekil 2.15. Doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınmanın belirlenmesi [24]

Endüstride kullanılan alet ve ekipmanlarda aranılan özelliklerden biri de servis ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyeti artırdığı gibi, onarım için geçen sürede üretimin önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde, ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Bu model, basit geometrik şekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilebilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bunun üzerinde yapılabilir [18]. Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

- Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemenin adhezif (metal-metal) aşınmanın değerlerinin ölçüldüğü deneylerdir.
- Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma deneylerinin ölçüldüğü deneyler.

ASLE (American Society of Lubrication Engineers, 1976) tarafından yüz kadar deney sistemi belirtilmiştir. Ölçüm yöntemlerinden; ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyo izotop metotları aşağıda sırayla açıklanmıştır [18].

Ağırlık farkı metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin yerinden çıkartılıp ölçüm yapılması, yani numune yerindeyken

üzerinden ölçü alınmaması, bu yöntemin dezavantajıdır. Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-3} veya 10^{-4} gr. hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi ile yapılır. Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünme yoluna göre, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı, (gr/km), (mg/m) ile ifade edilir. Bir birim alan için hesap edilecekse, hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybindan hareketle, kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybindan gidilerek de bulunabilir. Bu tanımlara göre, en çok kullanılan ağırlık kaybı ölçme metodunda kullanılan bağıntı şudur [18].

$$W_a = \frac{\Delta G}{d \times M \times S} \quad (2)$$

Burada;

W_a = aşınma oranı ($\text{mm} \cdot \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$),

ΔG = ağırlık kaybı (mg),

S = kayma mesafesi (m),

M = yükleme ağırlığı (N),

d = aşınan malzemenin yoğunluğu (gr / cm^3), olarak verilmiştir. Aşınma oranının (W_a) ters değeri de aşınma direnci (W_r) olarak gösterilir.

$$W_r = \frac{1}{W_a} \quad (3)$$

Kalınlık farkı metodu

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırılması suretiyle elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı

hesaplanır. Kalınlık, hassas ölçme aletleri yardımı ile $\pm \mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülmelidir [18].

İz Değişimi Metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun (Çapının) değişimi ölçülür. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet vickers veya brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas piramit veya bilyenin bıraktığı iz boyutundaki değişme mikroskop vasıtasıyla ölçülerek belirlenir [18].

Radyoizotop Metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya α -parçacıklarıyla bombardıman edilerek, radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi yöntemin avantajıdır. Fakat ekonomik olmaması nedeni ile ancak özel amaçlarda kullanılabilir. Özel problemlerin çözümü dışında yaygın olarak kullanılan bir metot değildir [18].

2.2 OTOMOBİLLERDEKİ FREN SİSTEMLERİ

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" sürtülerek meydana gelen sürtünme kuvvetiyle aracın yavaşlaması sağlanır. Son yıllarda frenlerin tasarımı büyük değişikliğe uğramıştır. Yıllardır n 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 çıkararak zor fren şartlarında çok başarılı olmalarındır. abuk soğumalarının sebebi ise havalandırma kanallarının olmasıdır. Kampanalarda ise havalandırma kanalları yoktur, eğer olsaydı ilerinde su toplanarak daha başka problemlere meydan verirdiler. Disk frenler ise tasarımları gereği suyu hemen savurup atarak daha iyi havalandırma sağlarlar [44].

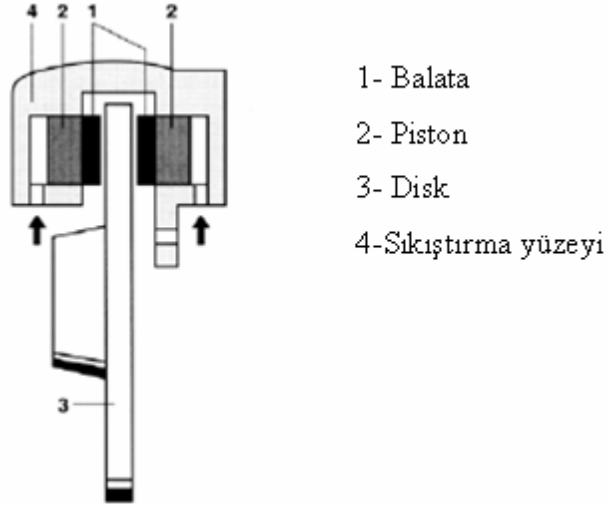
2.2.2 Disk Fren Sistemleri

Diskli frenlerde ısınan havanın iletilmesinin kolay olması ve her iki dönüş yönünde aynı frenleme torkunu sağlamaları nedeniyle otomotiv alanında en çok kullanılan fren sistemidir [45]. 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 kısıkaç 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.



Şekil 2.16. Disk Fren Sistemi



Şekil 2.17. 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 [46].

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.

$$E_k = \frac{1}{2} M \times V^2$$

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;

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

olur. Disk frenlerde sürtünme kuvveti

$$F = 2 \times \mu \times N$$

$$R_0 = \frac{R_2 + R_1}{2}$$

$$T_B = 2 \times \mu \times N \times \frac{R_2 + R_1}{2}$$

$$T_B = 2 \times \mu \times N \times R_0$$

TB = Frenleme torku (Nm)

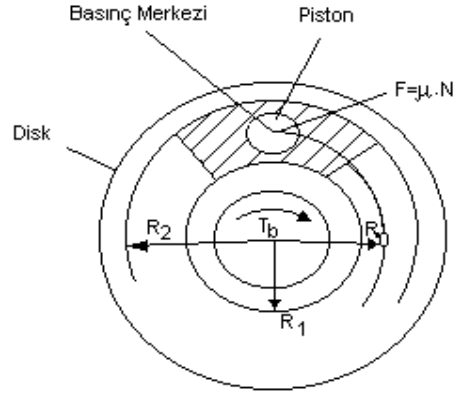
N = Normal reaksiyon tepki kuvveti (N)

μ = Sürtünme katsayısı

R0 = Balata ortalama yarıçapı (cm)

R1 = Balata iç yarıçapı (cm)

R2 = Balata dış yarıçapı (cm)



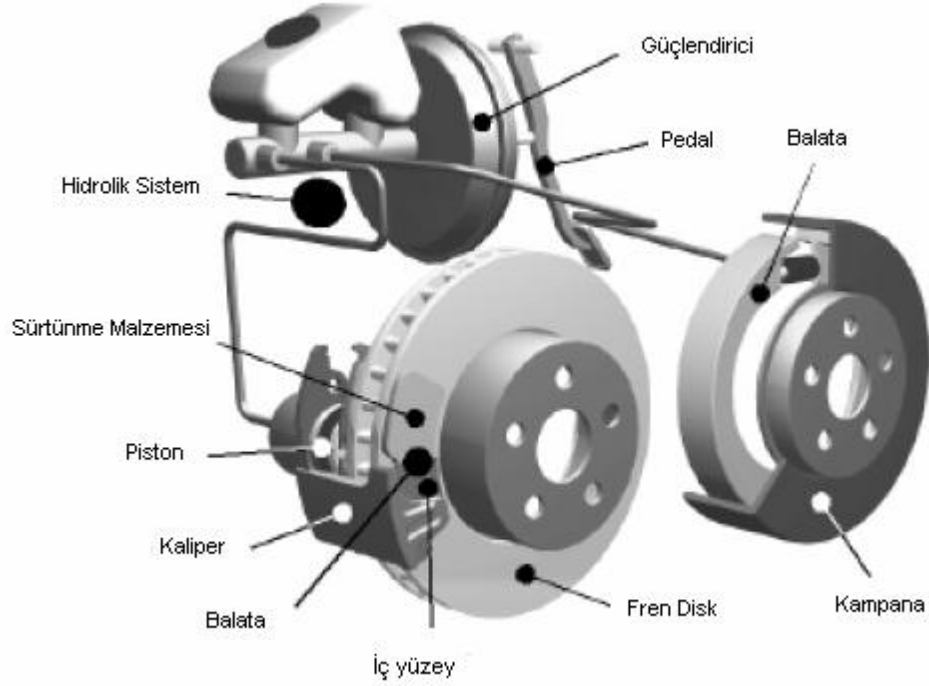
Şekil 2.18. Fren Diskinde Sürtünme

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 yapılı dökme demir kullanılır. Bu dökme demirin sertliği 170-255 HB (kg/mm²) arasında değişmektedir. Dökme demirde % 3,4 civarında karbon bulunmaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda diskli fren sistemlerinin daha yüksek frenleme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca oluşan 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 [47].



Şekil 2.19. Kampanalı ve disk frenin şematik görünüşü

2.3. FREN BALATALARI VE ÖZELLİKLERİ

Balatalar, TS 555'e göre sürtümlü frenler için uygulanan fren kuvvetinin, araçların tekerlekleri ile bağlantılı disk veya kampanalara sürtünme yolu ile aktarılmasını sağlayan elemanlar olarak tanımlanır [48]. Yüksek hızlarda taşıtın ani olarak durdurulmasında veya uzun süreli frenleme durumunda balata yüzeylerinde 700 °C'ye kadar sıcaklık yükselmeleri mümkündür. Ağır çalışma şartları, balatalardan istenen özellikleri arttırmaktadır. Çalışma şartları dikkate alınarak değişik balata malzemeleri geliştirilmektedir [49].

2.3.1. Balatalardan İstenilen Özellikler

Balata malzemelerinde istenilen özellikleri belirtmek için çalışma şartlarının çok iyi bilinmesi gerekir. Özellikle balata yüzeyine etki eden basınç, aracın hızı ve sürtünmeden dolayı balata yüzeylerinde oluşan sıcaklık yükselmelerinin önemli olduğu görülür. Balata deneylerinde basınç-hız-sıcaklık değerlerinin birbiriyle olan

kombinasyonları göz önüne alınır ve basınç-hız değerleri birbiri ile paralel olarak arttırılır [50].

Fren elemanlarının, sürtünme ve aşınma karakteristiklerini fren tasarımı, malzemeye ve balataya etkileyen şartlar belirler. Balata ömrünü belirleyen şartlar; sıcaklık, sürtünme hızı ve basınçtır. Fren sistemindeki sürtünme elemanları sürekli olmayan farklı büyüklükteki basınç ve sıcaklık etkisi altında çalışması nedeniyle aşınma ve sürtünme davranışları, şaşırtıcı derecede karmaşıktır. Temas halindeki yüzeyler 1 m/s'de 1000°C den 1100°C ye ulaşır ve diğer yüzeyler gibi aktif olarak soğur. Heterojen ve sürekli davranış özelliği olmayan termoelastik özelliğinden kurtulmak için yüksek kabiliyetli, anizotropik sürtünme malzemeleri geliştirilmiştir.

Fren, balatalarının sürtünme ve aşınmasına bilimsel ve sınıfsal ayırım getirmek karmaşık bileşenler ve birbirleriyle etkileşimleri yüzünden mümkün değildir. Temel mekanizmaların etkileşimlerini oluşturan makul etkenler ile fren performans etkisi açıklanabilir. Farklı fren dizaynları ve tasarlanmış işlemler için balata malzeme seçimi de yapılabilir [51]. Sürtünme esnasında yüzeylerin pürüzlülüğü ve absorpsiyonu sonucu meydana gelen sıcaklık, sürtünme katsayısını önemli ölçüde etkiler, sıcaklığın artması malzemede sürtünme katsayısının düşmesine neden olur ve sistem görev yapmaz hale gelir [25].

Tüm bu kabullerin ışığında balatalar bütün frenleme durumlarında sabit kalan bir sürtünme katsayısına (μ) sahip olmalıdır. Ancak uygulamada hız ve basıncın artmasıyla sıcaklığın yükselmesi sonucu sürtünme katsayısında düşme görülür. Araçların farklı hızlarında yapılan frenleme sırasında taşıtın kullanılma yeri, kullanım ve iklim şartları hiçbir zaman ve hiçbir şekilde fren kuvvetine negatif yönde tesir etmemelidir [52]. Balata özellikleri olumsuz şartlardan etkilenmemelidir. Literatürde balatalardan istenen özellikler aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1. Her çalışma şartlarında sabit sürtünme performansı,
2. Sürtünme katsayısının sıcaklık, fren basıncı ve hızdan bağımsız olması veya sürtünme davranışındaki değişimin az olması,
3. Yüksek sıcaklık direnci,
4. Yüksek ısı iletkenliği,

5. İyi korozyon direnci,
6. Yüksek mekanik mukavemet,
7. Düşük gürültü seviyesi,
8. Hava koşullarından etkilenmeme,
9. Balata malzemesinin sağlığa zararsız olması,
10. Yüksek aşınma mukavemeti ve karşı malzemede düşük aşınma istenmektedir.

2.4. BALATA OLUŞUMUNDA KULLANILAN MALZEMELER VE FONKSİYONLARI

Endüstri ve otomotiv uygulamalarındaki sürtünme malzemeleri üç ana gruba ayrılır. Bunlar organik, yarı metalik ve asbestsiz balatalardır. Tüm bu çeşitlerde performans karakteristikleri dikkate alınırken onların içindeki maddelerin benzerlikleri ile gruplanırlar. Otomotiv endüstrisinde kullanılan sürtünme malzemelerini oluşturan maddeler benzer özellik ve kullanım amacına göre dört sınıfta kategorize edilebilir [53]. Bunlar;

1. Elyaf (takviye malzemeleri),
2. Dolgu maddeleri,
3. Bağlayıcı Maddeler,
4. Sürtünme ayarlayıcı maddelerdir.

İstenen özelliklerde bir balata üretilebilmesi için ana grup olarak bağlayıcılar, takviye malzemeleri, dolgu maddeleri ve sürtünme ayarlayıcılar kullanılır [54]. Renklendiriciler, temizleyiciler gibi diğer katkı maddelerini dolgu malzemeleri arasında düşünebilir. Balata katkı maddeleri istenen fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamak, sürtünme-aşınma ve diğer özellikleri iyileştirmek amacıyla kullanılır [21].

2.4.1. Elyaf (Takviye Malzemeleri)

Elyaf ana yapı oluşturabilmek için bir yandan diğer yana uzanan örülmüş veya üst üste bindirilmişlerdir. Bu işlemde fren balataları için gerekli güç, sağlamlık ve rijitlik sağlamak amaçlanır. Ek olarak eğilme gerilmelerini artırır. Elyaf sürtünme

malzemelerini kuru karışım durumunda, ön şekillendirmede ve yüksek sıcaklıklarda termal dengede tutar [53].

2.4.1.1. Asbest

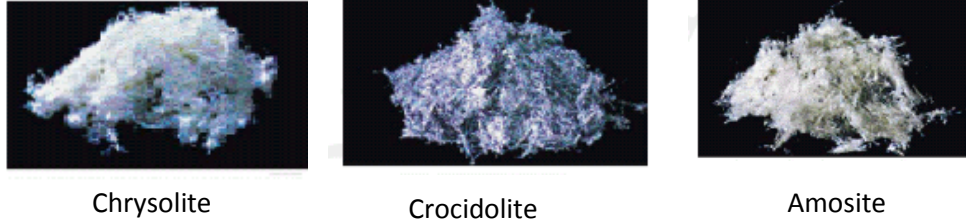
Asbest, endüstriye 19. asrın sonunda girmiş olmakla beraber tarihi kayıtlar insanoğlunun bu minareli 2000 yıldır tanıdığını göstermektedir. Yunanlılar M.S. 46'da asbest elyaflarını lambalarda fitil olarak kullanmışlar, fitiller yağ içinde muhafaza edildiği sürece tükenmeden yanarak ışık kaynağı olmasından dolayı "asbestos-asbestinon" adı verilmiştir [55].

Asbest; kömür, demir cevherleri v.s. gibi doğal bir mineraldir. İşlendikten sonra elde edilen asbest elyaf yumağı görünüşündedir. Ateşe karşı dayanıklılığı kadar önemli olan diğer özellikleri gerilme direnci, esnekliği ve bükülebilme özelliğidir. Elastikiyeti yumuşak ipeksi görünümünden dolayı "mineral ailesinin ipeği" ismi verilmiştir. Asbestin teknolojik değeri başlıca üç özelliğinden kaynaklanmaktadır.

1. Ateşe dayanıklıdır.
2. Elektrik ve ısı yalıtımı yüksektir.
3. Çimento ürünlerine katıldığında beton içindeki çelik kafeslere benzer şekilde özel bağlayıcılık özelliği gösterir.

Böylece, örneğin fren balatalarında ve yer karolarında başka malzemelere karıştırılan asbest ileri derecede dayanıklılık sağlayabilmektedir [55]. Asbest elyafı kristal yapıya sahip olan magnezyum silikat, kalsiyum-magnezyum silikat ve kompleks sodyum-demir silikat bileşimindeki bir grup mineralin adıdır [56]. (Si_4O_{11}) anyonu, asbest $[CaMg_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2]$ mineralinde bulunur ve uzun anyon zincirlerinin birbirlerine aşağı yukarı paralel uzamasından dolayı elyaf yapısına sahiptir. Bu özelliğinden dolayı dolgu malzemesi ve ateşe dayanıklı oluşu nedeniyle yalıtkan olarak kullanılır. Asbest kanserojen bir bileşiktir. Solunması veya yiyeceklerle alınması kansere neden olur [57].

Özgül ağırlığı 2,1–2,8 gr/cm³ ve ergime noktası 1150–1550 °C olarak bilinen asbest genel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi serpantin grubu veya yaygın adıyla krizotil asbest olarak adlandırılmaktadır. İkinci grup ise amfibal asbest veya diğer adıyla hornblent asbest olup bu grupta tremolit asbest yanında en fazla kullanılan asbest çeşitleri “mavi asbest” denilen krosidolit ve amositir. En önemli asbest mineralleri şunlardır; Serpentine Chrysolite (Krizotil) beyaz ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Amosite (Amosit) kahverengi $(\text{FeMg})_6\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$, Tremolite (Tremolit) $(2\text{CaO} \cdot 5\text{MgO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$, Anthophyllite (Antofillit) $((\text{FeMg})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$, Actinolite (Aktinolit) $((\text{CaMgFe})_6\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$, Crocidolite (Krosidolit) mavi $(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{FeO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$ [58].



Şekil 2.20. Çeşitli asbestler [58]

Asbest ve sağlık riski noktasında konuya bakıldığında, asbestle günlük yaşamda adeta iç içe girmiş durumdayız. Asbest tekstilden ilaç sanayine, kimyadan gıda sanayine, uzay teknolojilerinden otomotiv sanayine kadar kullanılmaktadır. Lif yapıya sahip olan asbest vücuda solunum, ağız ve sindirim yolu ile alınabilir. En tehlikeli sayılan solunum yolu ile alınmasıdır. Asbeste maruz kalmakla asbestozis, asbestosis, mesolheiyama, mide, gırtlak ve akciğer kanseri gibi hastalıklar gelişebilir [59, 60]. Son 80 yıldır dünyada tartışma konusu olan asbest uluslararası sağlık örgütlerinin girişimleri ile son 10 yılda ulusal ve uluslar arası mahkemelerde kullanımı yasaklama kararları alınmıştır. Dolayısıyla asbestin özelliklerini karşılayacak asbeste alternatif malzeme araştırmaları hız kazanmıştır. Asbestin sıcaklığa dayanımına ilaveten balatalarda kullanımıyla ilgili faydalı özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Sıcaklık dayanımı 650 °C'ye kadar kararlı, 650 °C üzerinde katı silikonlara ayrışır.
- Ayrışma ürünleri asbestten daha yüksek sürtünme katsayısına sahiptir.
- Düşük ısı iletkenliği
- Yeterli mukavemet
- Esneklik
- Kesmeye dayanıklı
- Yüksek yüzey alanı
- Ergimiş veya çökelti şeklinde reçine ve kauçuğu emer
- Yüzey reçine ve lastik tarafından kolayca ısıtılır ve yapışır.
- Belirli elyaf boyu aralığında makul fiyatlarla yeterince bulunabilir.

Asbestin en önemli özelliği ocaktan çıkarıldığında desteleri oluşturan elyafçıkların içi boştur ve bu özellik asbestte mükemmel işleme özellikleri kazandırır. Elyaf desteleri sürtünme malzemesi üretiminde bağlayıcı reçinenin kürleşmesi sırasında meydana gelen uçucu ürünleri havalandırabilir.

Asbeste alternatif düşünülen malzemeler, kompozite iyi sürtünme aşınma özellikleri kazandırmalıdır. Bunun için genellikle tek bir alternatif yerine yeni malzemelerin bir harmanı da kullanılmaktadır. Malzemeler kullanılan üretim yöntemine, ürünün kullanım şartlarına ve müşteri tarafından kabul edilebilecek fiyat göz önüne alınarak seçilmelidir [21, 61].

2.4.1.2. Cam elyafı

Cam elyafı, eritilmiş cam karışımının basınçlı hava ile sıkıştırılması sonucu özel olarak yapılmış bölmelerden aşağı akıtılarak elde edilir [13, 62]. Bu işlem sırasında erimiş cama, dolomit ve alümina katılarak istenilen fiziksel özelliklerdeki lif, belirli bir hızda masuralara sarılmak sureti ile çekilerek çekim hızına bağlı 10–15 µm arası kalınlıklara sahip elyaflar elde edilir.

Çizelge 2.2'de yüzde miktarları görülen karışım genellikle 1500–1550 °C sıcaklıkta eritme işlemine tabii tutulur. Eriyen mamul silikon karbitten yapılmış bir

kaba konularak, lif oluşumu için, 3/16"~1/4" ölçülerinde delikleri olan kaptan akıtılır. Bu akan sıvı cama hava verilerek sıvı camın soğuması ve lifin elde edilmesi sağlanır. Daha sonra elyafların bağlayıcı bir madde ile teması sonucu kek adı verilen madde ortaya çıkar. Liflerin yoğunluğu 2,5–2,54 gr/cm³ arasında değişir. Ticari amaçlı elyaflar hasır şeklinde örülerek yalıtım malzemesi olarak veya bağlayıcılarla birleştirilerek değişik amaçlar için kullanılır [13].

Asbestsiz sürtünme malzemelerinde ana yapının mukavemetini arttırmak amacı ile %10–15 oranında cam elyafına yer verilmiştir. Ayrıca cam elyafın ısı iletiminin az olması asbest liflerine iyi bir alternatif olması ve fleksibl özelliğinden dolayı sürtünme malzemelerinde kullanılabilir yapıya sahiptir [13, 63].

Çizelge 2.2. İki ayrı yapıdaki cam yünü ve cam elyafın kimyasal analizi [13]

% Analiz							
Cam Yünü	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O
İnce	42,4	4,4	8,35	28	15	0,25	0,29
Kaba	60,3	4,2	12,5	14,3	3,9	0,16	0,29
Cam Elyafı	41	4,5	0,17	35,3	14,1	1,6	0,82

Fenolik balata üretimi için cam elyafın takviyesi amacı ile “E” camı elyafından “PH2” kırılmış demetleri geliştirilmiştir. Yüksek integrite, kolay akma, iyi işlenebilirlik, iyi mekanik dayanım özelliklerine sahip olup, silan esaslı bağlayıcısı, fenolik reçineler ile uyumludur. PH2 kırılmış demetleri TS-EN-150 9002’ye göre üretilmektedir. Kırılma boyu 3- 4,75 mm, elyaf çapı 13µm nem miktarı max. 0.07’dir [64]. Cam elyafın fiziksel, mekanik ve termal özellikleri Çizelge 2.3’de verilmiştir [65].

Çizelge 2.3. Cam elyafın fiziksel, mekanik ve termal özellikleri [65]

Özellik	Cam sınıfı			
	A	C	E	S
Fiziksel özellikler				
Yoğunluk	2,5	2,49	2,54	2,48
Mohs sertlik	–	6,5	6,5	6,5
Mekanik özellikler				
Çekme mukavemeti (MPa)				
22°C sıcaklıkta	3033	3033	3448	4585
371°C sıcaklıkta	–	–	2620	3758
538°C sıcaklıkta	–	–	1724	2413
Elastisite modülü (GPa)	–	6,9	72,4	85,5
Kopma uzaması (%)	–	4,8	4,8	5,7
Termal özellikler				
Lineer ısıl genleşme katsayısı ($m/^{\circ}C$) $\times 10^{-6}$	8,6	7,2	5	5,6
Isıl iletkenlik katsayısı ($W/m^{\circ}K$)	–	–	10,4	–
Özgül ısı (KJ/kgK)	–	0,212	0,197	0,176
Yumuşama sıcaklığı ($^{\circ}C$)	727	749	841	–

Cam elyafın kullanıldığı balata kompozisyonlarında ön şekil verme aşamasında malzemelerin kuru olmasından dolayı problemler olduğu, bunu gidermek için harmanlama sonrasında %3 alkollü su püskürtülebileceği belirtilmiştir [13].

Cam elyafının takviye elemanı olarak kullanıldığı balatalarda işletme şartlarına uyum gösterebildiği fakat uygulamalarda ses çıkardığı gözlenmiştir. Balataların ses yapma özellikleri, balata kompozisyonu ve üretim proses özellikleri ile yakından ilgilidir. Literatürde Phenol-formaldehit reçine oranının azaltılması ile iyileştirilebileceği belirtilmiştir [66].

2.4.1.3. Kevlar (Aramid)

Kevlar, ticari olarak mevcut olan en mukavim ve rijit organik elyafıdır. Kevlar, tescilli marka olup para aramid elyaflara Du-Pont firmasının verdiği ticari addır. Sıcaklığın artması ile bu özellikler tedricen azalır fakat 425 °C sıcaklığa kadar, hatta kısa süre içinde 530 °C dereceye kadar faydalı takviye sağlar. En az bu özellikleri kadar kevların doğal tokluğu, önemli sayılabilecek kopma uzaması ve kolaylıkla eğilebilmesi diğer önemli özellikleridir. Ayrıca pullama ve karıştırma gibi yüksek kayma gerektiren işlemler sırasında uzunluğunu muhafaza etmektedir. Bu özellikler ürünün sürtünme aşınmasında önemli özelliktir [67]. Kevlar, poly (p-phenylene terephthalamide) polimer yapısındadır. Aşağıdaki özellikler kevların balatalardaki kullanılabilirliğini sağlamıştır.

- Yüksek mukavemete sahip olduğundan balatalarda takviye elemanı olarak kullanılır.
- Tokluk değerinin yüksek olması veya kırılğan bir yapıya sahip olmadığından, balata kompozisyonunun hazırlanmasında karıştırma prosesinde dirençlidir.
- Termomekanik stabilitesi iyi olduğundan yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır.
- Statik sürtünme özelliklerine sahip olduğundan sürtünme davranışını iyileştirir.
- Korozyon direnci yüksektir, karşı malzemeyi (disk) kısa sürede aşındırmamaktadır.
- Nem ve sıcaklık değişimlerinden boyutsal olarak etkilenmemektedir.
- Düşük yoğunluğa sahiptir. Balataların hafif olmasını sağlar.

Kevlar fiberler ticari olarak Kevlar 29 ve Kevlar 49 olarak iki şekilde temin edilebilir. Kevlar 29 orta derecede elastisite modülüne ve yüksek mukavemete sahiptir. Kevlar 49 yüksek elastisite modülü ve yüksek mukavemete sahiptir. Kevlar 49 özellikle yüksek performans gerektiren uygulamalarda tavsiye edilmektedir [68]. Kevlar fiberlere ait mekanik ve termal özellikler Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Kevlar (aramid) fiberler uzun yani sürekli elyaf ip şeklinde üretilir. Çeşitli uzunluklarda kesilerek doğranmış elyaf oluşturulur. 0,5–8 mm arasındaki elyaflar ve elyaflara bağlı birçok ince elyafçıklardan oluşan bir şekli de pulp olarak adlandırılır. Elyafçıklar karmaşık kıvrılmış dallanmış ve çoğunlukla şerit şeklindedir. Bu elyafimsı yapı elyaf özellikleri üzerinde en büyük etkiye sahiptir [46, 67].

Kevlar pulp, elyaf uzunluğu 0,5–8,0 mm aralığında elyaf çapı 12–15 mm, yoğunluğu 1,44 gr/cm³ bozulma sıcaklığı 425 °C, sürtünme katsayısı 300 °C'ye kadar kararlı, sıcak aşınma dayanımı mükemmel, aşındırıcılığı düşük, sıcak konsantre asit ve bazlar hariç, ketonların, alkollerin ve hidrokarbonların çoğuna kimyasal olarak dayanıklı ve sürtünme dayanımı mükemmel bir malzemedir.

Çizelge 2.4. Kevlar fiberlerin özellikleri [67]

Özellik	Kevlar 29		Kevlar 49	
	Abbott	Sturgeon	Abbott	Sturgeon
Yoğunluk (gr/cm ³)	1,44	1,44	1,44	1,44
1.5 denier-fiber çapı (µm)	12	11,9	12	11,9
Nem absorpsiyonu (%)	3,9	6	4,6	3,5
Kırılma Mukavemeti (Gpd)	3275	2785	3034	2758
Kopma uzaması (%)	3,9	4	2,3	–
Eğilme modülü (GPa)	53,1	–	105,5	–
Eksenel basma modülü (GPa)	40,7	–	75,8	–
Dinamik modülü (GPa)	96,5	–	137,9	–
Eğmeli yorulma direnci (çevrim)	–	–	–	200
Max. Çekme mukavemetinin %90'ında sürünme (cm/cm)	–	–	–	0,0011
Sürtünme katsayısı (µ)	–	–	–	0,46(0,41)

2.4.1.4. Çelik elyaf (Çelik yünü)

Çelik elyaf uygun takviye etme özelliği, iyi ısı ve sürtünme kararlılığı, ekonomik oluşu ve karıştırma esnasında parçalanmaya karşı direnci sayesinde en çok kabul gören alternatif malzemelerden biridir. Korozyon dezavantajına rağmen

yumuşak çelik elyaf daha kolay işlenebilir ve ucuz olması sayesinde tercih edilmektedir. Uzun elyaflar daha iyi takviye sağlarken kısa elyaflarda kalıplamada daha kolaylık sağlar. Uzun elyaflar ticari araçlarda disk balata uygulamalarında başarı ile kullanılmaktadır [59].

Yoğunluğu $7,86 \text{ gr/cm}^3$, elyaf uzunluğu 1-5 mm, elyaf kalınlığı 16 μm , genişliği 50 μm , çekme dayanımı 2600 MPa, elastiklik modülü 200 GPa, Mohs sertliği 5'tir [59, 69].

2.4.1.5. Taş yünü

Taş yünü İzocam Ticaret ve Sanayi A.Ş. firması tarafından üretilmektedir. Üretici firma ürettiği taş yünü daha çok yüksek sıcaklıklarda ısı izolasyonunda kullanılmak için üretmektedir. Taş yünü değişik boy elyaflardan oluşmakta, diğer malzemelerle birlikte karıştırıldığında parçalanarak içyapıya dağılmaktadır. Üretici firma tarafından verilen fiziksel ve kimyasal özellikler aşağıdadır [70].

Çizelge 2.5. Taş yününün özellikleri

Özellik	
Yoğunluğu	105 kg/m^3
Ergime sıcaklığı	$> 1150 \text{ }^\circ\text{C}$
Azami kullanım sıcaklığı	$900 \text{ }^\circ\text{C}$
Yangın dayanımı	Yanmaz
Asit dayanımı	İyi
Baz dayanımı	İyi
Elyaf çapı	8–20 μm
Kimyasal bileşimi	%45 SiO_2 , %12 Al_2O_3 , %10 Fe_2O_3 , %9 CaO , %11 MgO , %2 Na_2O , %1,5 K_2O , %2,5 TiO_2

2.4.1.6. Basarit

Basarit; endüstride yaygın olarak kullanılan bazalt taşı yünü parçalanarak üretilmektedir. Basarit tescilli marka olup Deutsche Basaltsteinwolle GmbH firmasının kullandığı ticari addır. Ergitilerek 1 m uzunluğa kadar elyaf yapılabilen bazalt, sıcaklığa dayanıklı, ısı ve ses izolasyonuna uygun, korozyona dayanıklı, sert ve elastiktir. Basarit bazaltla aynı özellikleri taşır. Lif çapı ve boyu ile karışım oranı iyi ayarlandığında balata mukavemeti ve korozyon dayanımını artırmaktadır. Basarit lif uzunluğu 1 mm, lif çapı $>3 \mu\text{m}$, yığılma yoğunluğu $0,4 \text{ g/cm}^3$, yoğunluğu $2,65 \text{ g/cm}^3$, asit, alkali ve çözücülerle kimyasal reaksiyona dayanımı iyi, 1000°C sıcaklığa kadar kullanılabilen bir malzemedir. Karıştırılabilir, istenilen lif uzunluğunda üretimi mümkün ve sürtünme malzemesi endüstrisinde kullanıma uygundur. Fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda verilmiştir [21, 61].

Çizelge 2.6. Basarit'in özellikleri

Özellik	
Yoğunluğu	$2,65 \text{ gr/cm}^3$
Sürekli kullanım sıcaklığı	$<1000^\circ\text{C}$
Yumuşama sıcaklığı	$\sim 1100^\circ\text{C}$
Yanma reaksiyonu	Tutuşmaz
Asit dayanım	Orta
Baz dayanımı	İyi
Kimyasal bileşimi	$\%42\text{--}48 \text{ SiO}_2$, $\%9\text{--}14 \text{ Al}_2\text{O}_3$, $\%1\text{--}3 \text{ TiO}_2$, $\%11\text{--}14 \text{ Fe}_2\text{O}_3$, $\%10\text{--}14 \text{ MgO}$, $\%10\text{--}14 \text{ CaO}$, $\%2\text{--}4 \text{ Na}_2\text{O}$, $\%1\text{--}3 \text{ K}_2\text{O}$

2.4.1.7. Fiberfrax

Fiberfrax (*tescilli ticari marka) Carborundum Resistant Materials GmbH firması tarafından üretilmektedir [71]. Saf alümine taneleri ve silika kumunun 1790°C 'da bir elektrik ark ocağında ergitilmesi, ergimiş seramik karışım huzmesinin tabandan damlatılması ve basınçlı hava huzmesiyle damlacıkların elyaflara

dönüştürülmesi yoluyla üretilir. Fiberfrax % 100 elyaf olmayıp belli oranda parçacık da içerir. Tipik kimyasal analizi: %52,8 SiO₂, %47,0 Al₂O₃, %1,15 Na₂O, %0,04 Fe₂O₃, kalıntı elementler %0,01 dir.

2.4.1.8. Mika grubu

Mika, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip levhamsı, kompleks bileşimli hidroalüminyum silikat minerallerine verilen isimdir. Mineralojik olarak yerkabuğunun ağırlıkça %3.8'ini oluşturan mikalar özellikle asidik magmatik ve metamorfik kayalarda bol olarak bulunur. Mika grubu mineralleri arasında endüstriyel öneme sahip ana mineral muskovittir. Bazı alanlarda muskovit yerine kullanılan filogopit ise ikinci derece öneme sahip bir mika grubu mineralidir. Biyotit ise düşük izolasyon özelliği ve yapısındaki demirin kolayca oksitlenmesi nedeni ile endüstride özel kullanım yerlerinde önem taşımaktadır [72].

Mika; mika gurubu mineraller silikat mineralleri olup pulsu yapıdadırlar. Sürtünme malzemelerinin yapımında en çok kullanılan mika minerali muskovit (K₂.Al₄.(Al₂Si₆O₂₀).OH)₄) olarak bilinen mineraldir. Yoğunluğu 2,6-3,2 gr/cm³, sertliği 3 Mohs'dur. 500 °C sıcaklığa kadar kararlı olup bu sıcaklığın üzerinde ayrışır. Çekme dayanımı 255-295 MPa, elastiklik modülü 1,7x10⁵ MPa olup kimyasal ortamlara dayanıklıdır. Rengi yeşilden kırmızıya değişik olabilir [21, 73].

Vermikülit; mika mineralinden ‘(Mg, Ca)_{0,7}.(Mg, Fe, Al)₆.[(Al, Si)₈O₂₀].OH)₄.8H₂O’ ve Biyotit K₂.(Fe₂+Mg)₆.Al₂ Si₆O₂₀.OH)₄) den üretilir. % 11-21 su içerir. Isıtıldığında hacimce % 1500 oranında genişler. Pulsu yapıdadır. Isı izolasyonunda da kullanılır [21, 73].

Wollastonit; bir kalsiyum silikattır (CaSiO₃). Yoğunluğu 2,8-2,9 gr/cm³, sertliği 4-5 Mohs olup rengi beyaz, gri veya sarımsı beyazdır [21, 71].



Şekil 2.21. Wollastonit'in görünüşü [74]

Attapulgit; bir magnezyum silikat mineralidir ($Mg_5.Si_8.H_{10}.O_{26}.4H_2O$). İğnemsli kristallerden oluşur. Bu kristallerin boyu $0,5 \mu m$, şekil oranı 20:1'dir [2, 21].

2.4.2. Dolgu Maddeleri

Dolgu maddeleri istenen sürtünme özelliklerini bozmadan balatayı geliştirmek, hacim doldurmak ve maliyeti düşürmek amacıyla katılır. Isının homojen bir şekilde dağılması ve sürtünme katsayısının ayarlanması, mukavemetin ve korozyon direncinin artırılması ve balatanın renklendirilmesi dolgu maddelerinin yardımıyla sağlanmaktadır [49]. Genellikle sürtünmeye etkisiz kabul edilir fakat sürtünme ayarlayıcı bir maddede olabilirler. Dolgu maddesi olarak alçı, barit, kil veya kalsiyum karbonat gibi genellikle düşük fiyatlı mineraller kullanılmaktadır. Doğal barit ($BaSO_4$) yaygın bir dolgu maddesidir ve genellikle sürtünme katsayısına etkisiz kabul edilmektedir [21, 75]. Aşağıda kullanılan bazı dolgu maddeleri verilmiştir.

- Alçı
- Talk
- Barit
- Kizelgur (Diatomit)
- Kil

2.4.3. Bağlayıcı Maddeler

Bağlayıcılar balata bileşenlerini kullanım öncesinde ve kullanım sırasında bir arada tutan yapıştırıcılardır. Bağlayıcı olarak birçok termoset reçineyi kullanmak mümkündür. Doğal veya sentetik kauçuk da bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Bağlayıcılar tek tek kullanılabilir olmakla beraber birden fazla bağlayıcı birlikte de kullanılmaktadır [76]. Fakat bunlar arasında fenol formaldehit reçine adı verilen termoset reçineler otomotiv sektöründe kullanılan en yaygın bağlayıcıdır.

Bu reçinelerin en büyük özelliği sıcaklıkta sertleşmeleridir. Termoset malzemelerin özelliği erime derecesi yanma derecesinin üzerindedir. Fenol (Phenol) (C_6H_6O) ve formaldehit (Formaldehyde) (CH_2O) kalıp pudrası halinde kullanılır, polimerleştirme reaksiyonu, polimerin normal sıcaklıklarda katı olduğu fakat ısı ve basınç etkisi altında akabileceği bir basınç etkisi altında durdurulur. Karışım basınç altında kalıplanır, sürtünmenin azaltılabilmesi için bir miktar grafitte yer verilir. Fenol formaldehitler yüksek sıcaklıklarda kullanılırdılar çünkü sürekli bir yapı kafesine sahip oldukları için moleküller arasında kayma olmaz. Böylece şekil değiştirme sıcaklığın yükselmesine bağlı değildir. Fenol formaldehit reçinenin içerisinde %40 fenol, %22 formaldehit, %4 kresol, %34 su, çözücü ve diğer dolgu maddeleri bulunmaktadır [13].

Reçinelerde polimerizasyonun tamamlanarak sertleşmesine kürleşme denir. Kürleşme termoset bir reçinenin özelliklerinin geri dönülmez bir şekilde kimyasal bir reaksiyonla değişmesidir [77]. Kürleşme, kürleştirici maddelerin katılması sıcaklık ve basınçla veya sıcaklık ve basınç olmadan meydana gelir. Fenolik reçinelerin kürleşme şartları $232\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar sıcaklıklarda birkaç dakikadan birkaç saate kadar olabilir. Yüksek sıcaklık dayanımının elde edilebilmesi için fenoliğin kalıpta başlayan kürleşmesinin tamamlanması gerekmektedir. Bunun için kalıplanmış parçalar $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda hacmine bağlı olarak belli bir süre fırında tutularak kürleşmenin tamamlanması sağlanır [78]. Son kürleme işlemi ısı işlemi olarak da adlandırılır ve dayanım özelliklerini iyileştirmek için uygulanır [21, 79].

2.4.4. Sürtünme Ayarlayıcı Maddeler

Sürtünme ayarlayıcı katkı maddeleri sürtünme katsayısını değiştiren maddelerdir. Bunları abrasif olan ve olmayan şeklinde ayırmak mümkündür. Toz halde alümina gibi abrasif özellikli malzemeler, sürtünme katsayısını artıran grafit gibi katı yağlayıcılar ise sürtünme katsayısını istenen düzeye getirmek için katılan bileşenlerdir. Bunlara aşınma özelliklerini ve mekanik özellikleri iyileştirmek için ilave edilen elastomerler, fenolik sürtünme parçacıkları, fenolik reçineler için kürleştiriciler ve diğer sürtünme artırıcı ve azaltıcı katkıları da dahildir. Pirinç, çinko veya diğer metal tozları abrasif özellikleri kontrol etmek için katılmaktadır. Metalik tozlar ısı iletimini artırdığı gibi fren zayıflama dayanımının iyileşmesinde faydalı olduğu da ifade edilmiştir [21, 54].

2.4.5. Temizleyiciler

Temizleyiciler; balata bileşimine karşı malzemeye yapışıp katılmış olan bağlayıcıların kazınıp sökülmesi amacıyla katılmaktadır. Temizleyiciye ihtiyaç duyulan bazı bileşim ve kullanım şartlarında pirinç tozu, bronz tozu, çinko tozu gibi metalik malzemeler kullanılmaktadır [80].

2.4.6. Renklendiriciler

Sürtünme malzemelerinde, malzemenin dış görünüş rengini değiştirerek göze daha iyi görünebilmesi ve konstrüksiyonda uyum sağlaması açısından renk verici maddeler kullanılır. Siyah demir oksit (Fe_3O_4), sarı demir oksit ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$), kırmızı demir oksit (Fe_2O_3) ve karbon siyahı sıkça kullanılan renk vericilerdir [80].

2.4.7. Madeni Dolgu Malzemeleri

Sürtünme malzemelerinde (balatalarda) yapıyı homojenleştiren, ısı iletim katsayısını düzenleyen, aşınma ile sürtünme katsayısının dağılımına etkisi olan bu malzemeleri, metal yünleri ve metal talaşları oluşturur. Genellikle metal yünü olarak demir ve alüminyum yünleri, talaş için de pirinç, bakır ve alüminyum metallerinin talaşları kullanılır. Bu malzemelerin kompozit içerisindeki oranları ve sertlikleri iyi seçilerek karşı malzemeye zarar vermemesi gerekir [51].

2.5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Mutlu [81], Otomotiv frenlerinde, sürtünme üzerine yapılan bir çalışmada, deney düzeneğinde fren diskini döndürmek için 2,2 kW gücünde 1400 d/d trifaze elektrik motoru seçilmiştir. Elektrik motorunun dairesel hareketi kayış kasnak kullanılarak fren diskini yüksüz durumda 680 d/d'da döndürerek aşınma deneyinin yapılacağı referans çapta 6 m/s hız sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. TS 9076'da belirtilen 1050 kPa ve 3000 kPa balata yüzey basıncının sağlanması için yük kolu üzerine uygun büyüklükte ağırlık asılmıştır. Ağırlığın asıldığı yük kolu, diskin bağlı olduğu dikey mil üzerine yataklandırılmıştır. Yük kolu milin hareketinden bağımsız olarak yatayda dönme hareketi, dikeyde manivela hareketi yapabilmektedir. Yük kolunun diske karşı gelen alt yüzüne numune balata parçasının yerleştirilebilmesi için balata yuvası açılmıştır. Numune balata parçası yuvaya yerleştirildikten sonra istenen basıncı sağlayacak mekanik ağırlık, yük koluna asılmaktadır. Disk dönmeye başladığında disk ile yük kolu arasında numune balata parçası olduğu için diskin dönmesi sırasında fren balatasına uygulanan basınçtan doğan sürtünme kuvveti yüzünden balatanın da disk ile beraber dönme isteği dikkate alınarak bu döndürme kuvveti elektronik olarak yük hücresi vasıtasıyla ölçülmektedir. Disk ile balata yüzeyi arasındaki yüzey basıncına bağlı olarak sürtünme kuvveti dolayısıyla döndürme momenti de değişmektedir.

Hando, Kato [82], Farklı bir çalışmada, fren balatalarının sürtünme ve aşınma özelliklerine etkilerini araştırmak için beş türlü katkı maddesi içeren üç grup kompozit incelenmiştir. 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 aşağı iniş şartlarında (ağır frenleme) yapılmıştır. Her bileşenin etkisini incelemek için birinin oranını artırıp diğerinin oranını azaltarak yapılan deneylerde aşınma oranı ve fren zayıflama karakteristiği incelenmiştir.

Hee , Filip [83], Otomotiv fren balatalarındaki sürtünme mekanizması üzerine yapılan araştırmalara rağmen, konunun tamamen anlaşılammakta olduğu

ileri sürülmektedir. Buna göre; kompozit bir sürtünme malzemesinin sürtünme ara yüzeyinde meydana gelen kompleks süreçler, sürtünme performansı ile fren balata formülasyonu arasındaki korelasyonu anlamayı zorlaştırmaktadır. Yapılan çalışmada, yeni formüle edilen bir fren balata malzemesinin sürtünme ve aşınma karakteristikleri ile potasyum-titanın bunlar üzerindeki etkisi üzerine yoğunlaşmıştır. İki farklı malzeme örneği formüle ederek, bunlar test ve analiz edilmiştir. Bir yarı ölçekli tek sonlu ataletsel tip fren disk dinamometre testi (FAST) kullanarak, sürtünme ve aşınma karakteristikleri incelenmiştir. Her iki sürtünme malzemesinin performansını yorumlamak için, sürtünme katsayısı, aşınma oranı ve sürtünme yüzeyleri incelenmiştir. Işık mikroskopunu, taramalı elektron mikroskopunu, enerji ayırıcı X-ray analizlerini ve X-ray difraksiyon analizlerini kullanarak örneklerin sürtünme yüzeyleri araştırılmıştır.

Kim, Cho, Cho, Jang [84], Farklı hacimde grafit oranları ve antimontrisülfat (Sb_2S_3) içeren NAO (non-abestos organic) fren balatasının tribolojik davranışını incelemek için, deneysel bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada sürtünme testleri için bir skala dinamometre kullanılmış ve iki katı yağlayıcının bağlı miktarlarına göre sürtünme katsayısında sıcaklık, kayma hızı ve uygulanan basıncın etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, her iki katı yağlayıcılı fren balatalarının, bir tek katı yağlayıcı içeren sürtünme malzemelerine göre daha az hız hassasiyeti ve daha iyi sürtünme kararlılığı olduğu görülmüştür. Özellikle daha yüksek grafit yoğunluğu içeren fren balatasının yüksek sıcaklık sürtünme testi boyunca, diğerlerinden daha iyi frenleme direnci gösterdiği belirlenmiştir.

Mohanty ve Chugh [85], otomotiv fren balatası sürtünme kompozitlerinde, uçucu kül partiküllerinin %50 ağırlığından daha fazla birleştirmek için, bir araştırma yapmışlardır. Sürtünme kompozitlerinin gelişimi için Illionis Eyaleti'nde spesifik bir elektrik santralinden elde edilen uçucu kül kullanmışlardır. Uçucu küle ek olarak kompozit gelişim aşamasında, fenolik reçine, aramidpulp, cam yünü, potasyum titanat, grafit, alümina ve bakır tozu gibi bileşim maddeleri kullanmışlardır. Geliştirmiş oldukları fren balata kompozitleri, 0,35-0,4 aralığında kararlı sürtünme katsayısı ve %12'den daha düşük aşınma oranları göstermiştir.

Hong ve arkadaşları [86], düz fenolik reçine, silikonlu fenolik reçine veya boron fosforlu (B-P) fenolik reçineli fren sürtünme malzemelerinin aşınmasını araştırmışlardır. Sürtünme malzemesi numuneleri üretmek için basit bir formülasyon kullanmışlar ve Krauss tipi sürtünme testi kullanarak aşınma testleri yapmışlardır. Üç sürtünme malzemesindeki sürtünme stabilitesini ve aşınma oranını, 400°C'nin üstündeki sıcaklık fonksiyonları olarak karşılaştırmışlar ve mekanizmaları farklı sıcaklık değerlerinde aşınma yöntemleri ile birleştirilerek analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, reçinedeki termal çürüme sonucu oluşan ayrılmış alt yüzeyler ile yükseltilmiş sıcaklıklardaki aşınma oranını tespit etmişler, en iyi çalışma direncini ve sürtünme stabilitesini, B-P uygulanmış reçine içeren sürtünme malzemesinin verdiğini görmüşlerdir.

Matejka ve arkadaşları [87], yarı metalik sürtünme kompozitlerinin (SMFC) sürtünme-aşınma özelliklerine silisyum karbürün (SiC) etkisini araştırmışlardır. Silisyum karbür hacimli yarı metalik numune hazırlamışlar, dökme demir diskinin karşı kaydırmışlar ve bunların sürtünme-aşınma özelliklerini değerlendirmişlerdir. Sürtünme katsayısının (μ) SiC hacmiyle artırılmasını incelemişler, yüksek hacme rağmen sürtünme katsayısının değerinde önemli bir değişiklik olmadığını gözlemlemişlerdir. Test ettikleri sürtünme kompozitlerinin aşınma oranının, SiC hacminin artması ve sıcaklık ile biraz arttığını görmüşlerdir.

Azıklı ve Savaşkan [40], Zn-40Al-2Cu-2Si alaşımlı balata ısıl işlem ile üretmişlerdir. Isıl işlemin, balata numunesinin direncini ve sertliğini arttırdığını gözlemlemişlerdir. Bununla beraber, sürtünme katsayısının, küçük bir azalma gösterdikten sonra kayma hızının artmasıyla arttığını ve aşınma numunesinin sıcaklığının basınç ve kayma hızının her ikisiyle birlikte arttığını gözlemlemişlerdir. Aşınma kaybını, basınçla birlikte üssel olarak ve kayma hızıyla lineer bir şekilde arttığını gözlemlemişlerdir.

El-Tayeb ve Liew [88], yeni geliştirdikleri dört farklı ticari olmayan sürtünmeli fren balatası malzemelerinin kuru ve ıslak olarak sürekli kayma performanslarını değerlendirmişler ve seçilen diğer iki ticari fren balata malzemesi ile küçük ölçekli bir disk-balata sürtünme test cihazı kullanarak karşılaştırmışlardır.

Çalışmanın sonucunda, sürekli kuru frenleme altında, CMB içeren tüm ticari olmayan fren yastık malzemeleri için sürtünme katsayılarının fren yastık malzemelerinden etkilenmediğini görmüşlerdir. Ayrıca, bütün fren yastık malzemelerinin, basınç veya hız artışı ile sürtünme katsayılarında hafif bir artış gösterdiğini ifade etmektedirler. Bu arada, aşınma oranlarının esasen fren yastık malzemesi ve basıncın tipi veya bileşenine bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kim ve arkadaşları [89], disk üzerinde yastık tipi sürtünme testi kullanarak, fenolik reçine, potasyum titan ve aldehit ile iyileştirilmiş CNSL'nin tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Geleneksel fren balatalarında kullanılan tipik bileşenler ve bu çalışmada onların sürtünme özelliklerini asbestsiz organik bir formülasyon kullanarak değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, kayma esnasında yüksek gürültü meydana gelirken fenolik reçinenin sürtünme katsayısını artırdığını gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda, gürültü oluşumunun, sürtünme malzemesi içindeki CNSL'nin artırılmasıyla azaldığını belirlemişlerdir. Sürtünme malzemesinin aşınma direncini, ilave fenolik reçine ile artırmışlardır. Potasyum titanın ve CNSL'nin, aşınma direncini kötüleştirdiğini görmüşlerdir. Gürültü oluşumunu azaltmak için fren balatalarının düşük sertlik, yüksek gözeneklilikte olmasını önermişlerdir.

Stadler ve arkadaşları [90], C/C-SiC kompozit fren diski üzerinde sinterlenmiş metalik fren balatalarının sürtünmesi ve aşınması üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada, C/C-SiC fren diski ile iyi birleştirilmiş gibi görünen sinterlenmiş metalik fren balatalarının aşınma ve sürtünme özelliklerini açıklamaktadırlar. Fren kaliperleri ve disk ölçüleri farklı olan iki farklı ticari motosikletin fren sistemindeki dinamometreleri ile sürtünme karakteristiklerini incelemişlerdir. EDX analizi donanımlı taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak sürtünme tabakasının oluşumunda metalik matris içindeki abrasivler ve grafit gibi bileşenlerin etkisini araştırmışlardır. Sürtünme tabakasının, diskin kayma yüzeyi üzerinde daha çok demir ve bakır oksitlerden oluşan oksidasyon aşınması olduğunu doğrulamışlardır. Sinterlenmiş metalik disklerin sürtünme özelliklerini incelemişler ve fren balatalarının yapısı ve kompozisyonuyla bağlantılı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Cho ve arkadaşlarının yaptığı diğ er bir çalışmada [91], zirkon partiküllerinin boyutunun fren balata malzemesinin sürtünme karakteristiklerine etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Sertleştirilmemiş türde balata malzemesi üretmek için 4 farklı boyutta zirkon partikülleri kullanmışlardır (1, 6, 75 ve 150 m). Sürtünme katsayısını, sürtünme kuvveti salınımını, balataların aşınma direnci ve gri dökme demir disk sürtünme testi ile zirkon boyutu bakımından araştırmışlardır. Sonuç olarak, sürtünme performansı ile ilişkili olan sürtünme filminin formülasyonunda zirkon partiküllerinin önemli rol oynadığını keşfetmişlerdir. Kaba zirkon partiküllü balata malzemelerinin, balata yüzeyinde, az miktarda balata aşınması ile mükemmel sürtünme stabilitesi sağlayan, sabit sürtünme filmi meydana getirdiğini görmüşlerdir. Aynı zamanda, zirkon partikülleri ile aşırı balata aşınması ve az sürtünme stabilitesine neden olan geçici sürtünme filmlerini üretmişlerdir.

3.MATERYAL METOD

3.1. İMALAT AŞAMALARI

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

Tasarım işlemine başlarken yapılması gereken işlemler şunlardır;

- Test cihazının çalışma sahası ve özelliklerinin belirlenmesi,
- Test cihazı ebatları, parçalarının belirlenmesi,
- Test cihazının çalışma standartlarına uygun sıcaklık, basınç ve devir ayarları belirlenerek bu çalışma şartlarına uygun ekipmanların temin edilmesi,
- Test cihazının tasarımı ile ilgili teknik çalışmaların yapılması,
- Test cihazının ekonomik olması için araştırmaların yapılması,
- Test cihazının piyasadaki benzerleriyle karşılaştırılması.

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 grafikleri oluşturulmaktadır. Üretim aşamasına geçmeden önce test cihazında kullanılan ekipmanlardan istenilen verimi almak için geniş bir piyasa ve katalog araştırması yapılmıştır.



Şekil 3.1. Chase Marka Test Cihazı

Yapılan araştırmalarda çeşitli sürtünme katsayısı test cihazları incelenmiş olup bu cihazların çalışması ile ilgili uzman kişilerden bilgi alınmıştır. Şekil 3.1’ de Chase Marka sürtünme katsayısı test cihazı görülmektedir. Bu cihazın kalite kontrol test prosedürleri SAE J661 standardına göre yapılmıştır. Sistem, sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayılarını, üzerinde bulunan donanımlar sayesinde doğru ve hassas olarak belirleyebilmekte ve çıktılar 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 ısısını kontrol etmek amacıyla tambur içerisine 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.



Şekil 3.2. Michael Eriksson Tarafından Üretilmiş Test Cihazı

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

3.2. İMALATI YAPILAN SÜRTÜNME TEST CİHAZI

Üretilen balataların aşınma, sürtünme katsayısı gibi bir takım özelliklerini belirlemek amacıyla daha önce bu konuda yapılmış olan çalışmalar dikkate alınarak sürtünme malzemeleri üzerinde çeşitli çalışma şartlarından dolayı meydana gelen hız, sıcaklık, basınç gibi değişkenlerin incelenmesi için test cihazı geliştirilmiştir. Bu faktörler, sürtünme malzemesinin karakteristiğini önemli ölçüde etkilemektedir. 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 grafikleri oluşturulmaktadır. Fren balatası test cihazı tasarımında deneylerin TS 555 ve TS 9076’ da belirtilen şartlara uygun ve teknolojinin gerektirdiği veri alma, denetleme ve veri aktarma özelliklerine sahip olmasına dikkat edilmiştir.

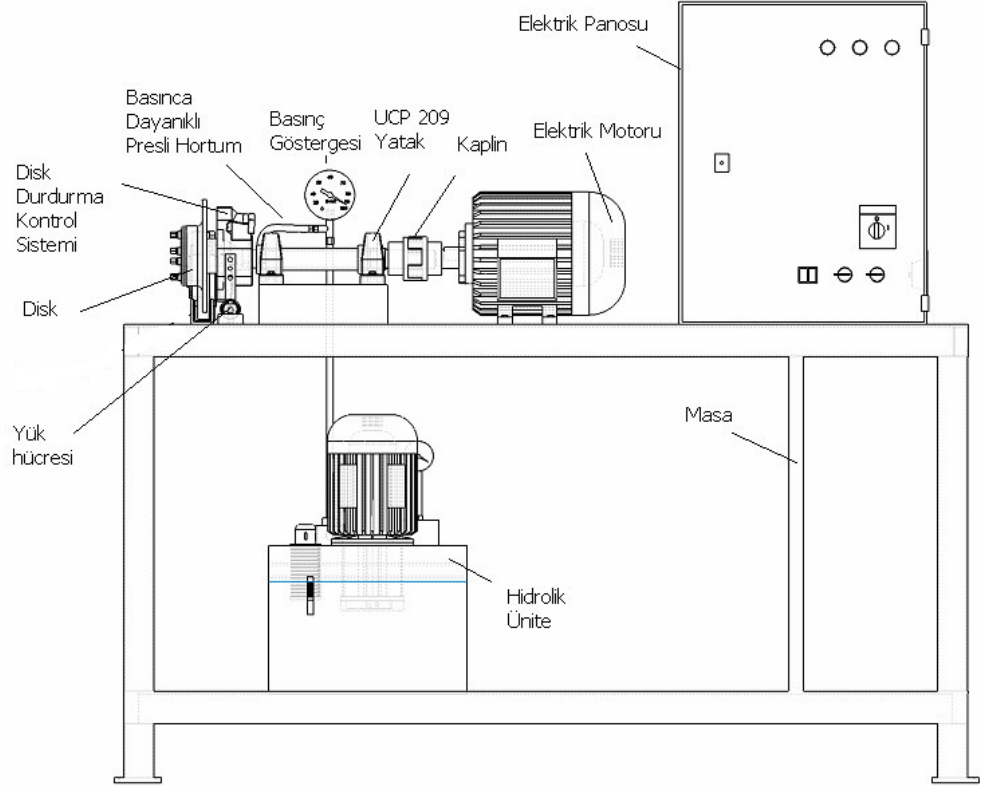
Test cihazının imalatında birinci aşama olarak taşıt üzerindeki fren sisteminin mekanik kısmı oluşturulmaya çalışılmıştır. Mekanik sistemde disk, diskin hareketini sağlamak için elektrik motoru, kaliper, kaliperde fren balatalarının yerleştirileceği balata sacı kullanılmıştır. Söz konusu test cihazının 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 çizimler yapıp, malzemeler temin edildikten sonra üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.3.'de görülmekte olan sürtünme katsayısı test cihazında diski döndürmek için 7.5 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 sayısı bilgisayar programında kolaylıkla kontrol edilebilmektedir. Balatalar bütün frenleme durumlarında sabit kalan bir sürtünme katsayısına (μ) 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.

Balatalara uygulanan basıncın etkisiyle diskin yüzeyinde oluşan sıcaklık infrared termometre ile saniyede bir değer ölçülerek test cihazı programına gönderilmektedir. Şekil 3.3.'de Sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısını tespit etmek amacıyla üretilen test cihazının şematik resmi görülmektedir.



Şekil.3.3. Sürtünme Test Cihazı Şematik Görünüşü

Çizelge 3.1. Sürtünme Katsayısı Test Cihazı Parça Listesi

KODU	MALZEMENİN ADI	ADET	ÖZELLİKLERİ
0001	Elektrik Motoru	1	7.5 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	Etlı 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	Basınca dayanıklı presli hortum	2	30 cm
0037	Motor	1	Emtaş 1.5 Kw

3.2.1. Sürtünme Test Cihazı Çalışma Prensibi

Mekanik sistemde disk, diskin hareketini sağlamak için elektrik motoru, kaliper, kaliperde fren balatalarının yerleştirileceği pabuçlar kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Sürtünme test cihazı görüntü-1



Şekil 3.5. Sürtünme test cihazı görüntü-2

Mekanik sistemde frenleme sağlanabilmesi için balata üzerinde oluşacak olan pedal kuvvetini oluşturan basınç hidrolik sistemle sağlanmıştır.

Deney düzeneğinde fren diskinin döndürülebilmesi için 7,5 kW gücünde 1450 d/d üretebilen bir elektrik motoru seçilmiştir. Elektrik motorundan çıkan dairesel hareketin mil üzerinden diske istenilen devirlerde aktarılması elektronik bir devir ayarlayıcı (invertör) sayesinde gerçekleşmektedir. Elektrik motorunun devir sayısı bilgisayar programında kolaylıkla kontrol edilebilmektedir.

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 bir yük kolu aracılığıyla 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.

3.2.2. Sürtünme Test Cihazından Kullanılan Donanımlar

3.2.2.1. Sıcaklık ölçme aleti

Deneyle sırasında balatanın fren diskine sürtünmesi sonucunda sürtünme yüzeyi sıcaklığı artmaktadır. Sıcaklık artışının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla disk sürtünme yüzeyinin 2 cm ilerisinden sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Sıcaklık ölçümünde her saniye veri alabilen Optris CT infrared termometre kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.

Optris CT infrared termometre özellikleri

- -40...+975° C sıcaklık aralığı
- 0.9 mm' den daha küçük spot
- Gerçek hedefi ve boyutunu belirleme amaçlı çift lazer
- İsteğe bağlı odaklama ve Optik 75:1
- 85 °C sıcaklık ortamında kullanabilme
- İsteğe bağlı analog çıkış ve dijital ara yüz girişi seçeneği
- Sıcaklık çözünürlüğü 0.1° C
- Tepki süresi 120 ms



Şekil 3.6. Optris CT infrared termometre

3.2.2.2. Load cell

Sürtünme kuvveti F_s 'i belirlemek için kullanılan yük hücresi elektronikte strain gage olarak adlandırılan manyetoelastik cihazlardır. Transdüserlerin kuvvet ölçmek için kullanılanlarına yük hücresi adı verilir. Bu cihazlar gelen yükü, milivolt cinsinden algılayarak ekrana yansıtmaktadırlar. 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 3.7. Yük hücresi (loadcell)

3.2.2.3. İnvörtör

İnvörtörler doğru akımı alternatif akıma çeviren DC-AC konverterlerdir. Bir invörtörün görevi girişindeki bir doğru gerilimi çıkışında istenen genlik ve frekansta

simetrik bir alternatif gerilime dönüştürmektir. Çıkışta elde edilen gerilim ve frekans değerleri sabit veya değişken olabilir. Girişteki DC gerilim değiştirilmek ve invertör kazancı sabit tutulmak suretiyle, değişken bir çıkış gerilimi elde edilebilir. Diğer taraftan giriş geriliminin sabit olması halinde, invertör kazancı değiştirilmek suretiyle değişken bir çıkış gerilimi elde edilebilir.



Şekil 3.8. Elektronik devir ayarlayıcı (invertör)

3.2.2.4. Hidrolik ünite

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

3.2.3. Sürtünme Test Cihazı Bilgisayar Programı

Verilerin bilgisayar ortamında analizinin yapılması için program geliştirilmiştir. Üzerinde çalıştığımız konunun her bir sistemi için ayrı bir detay

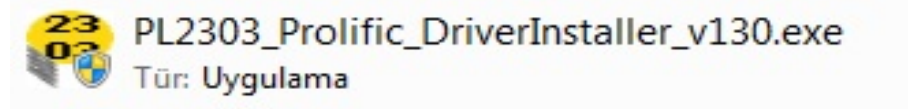
mevcuttur. Örneğin; Türk standartlarında sıcaklığın 0-400 °C arasında olması istenir. Basınç 10,5 MPa ve 30 MPa olması istenmesine rağmen 0-40 MPa arasında değiştirilebilmektedir. Hız 3m/s, 6m/s, 9m/s, olması istenmekte ve hız, devir sayısı kontrolü sağlandığından devir sayısı 0-1450 d/d arasında değiştirilebilmektedir. Bu değişken etkenlerin sürtünme performansına etkilerini belirleyebilmek için farklı deney şartlarının oluşturulması ve hassas sonuçlar alınması gerekmektedir. Bu nedenle bilgisayar programı, verilerin kaydedilmesi, kullanılması ve istenildiğinde yeniden ulaşılabilmesi için imkan sağlamaktadır.

İstenilen deney şartlarının girilerek deneylerin güvenilir olarak yapılabilmesi amacıyla sürtünme katsayısı test cihazı için bilgisayar programı geliştirilmiştir.

3.2.3.1. Sürtünme test cihazı bilgisayar programının kurulması

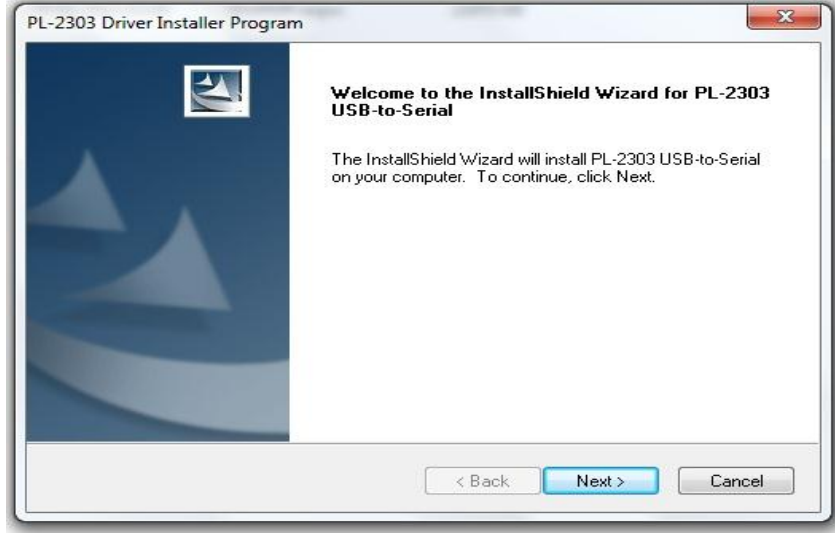
Bu işlem sırasıyla aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

• Program “PL2303_Prolific_DriverInstaller_v130.exe” simgesi ile çalıştırılır.



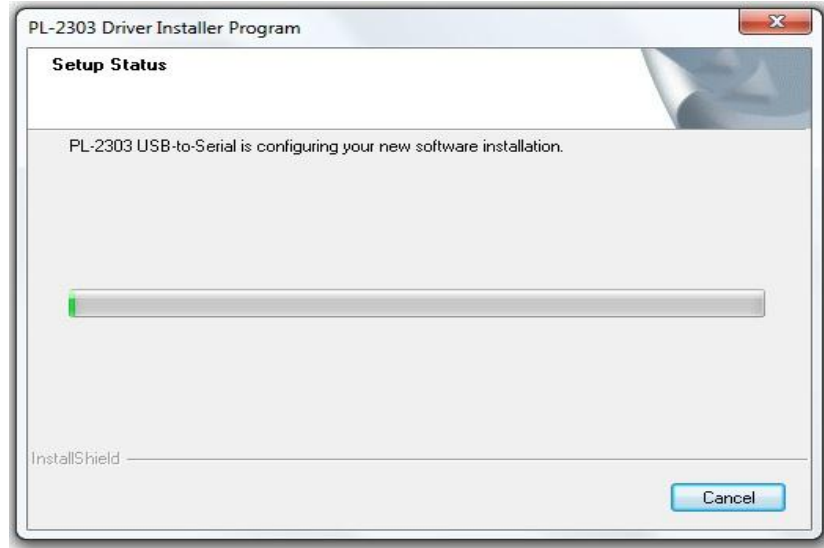
Şekil 3.9. Program kurulum simgesi

• Gelen ekranda “Next butonuna basılır.



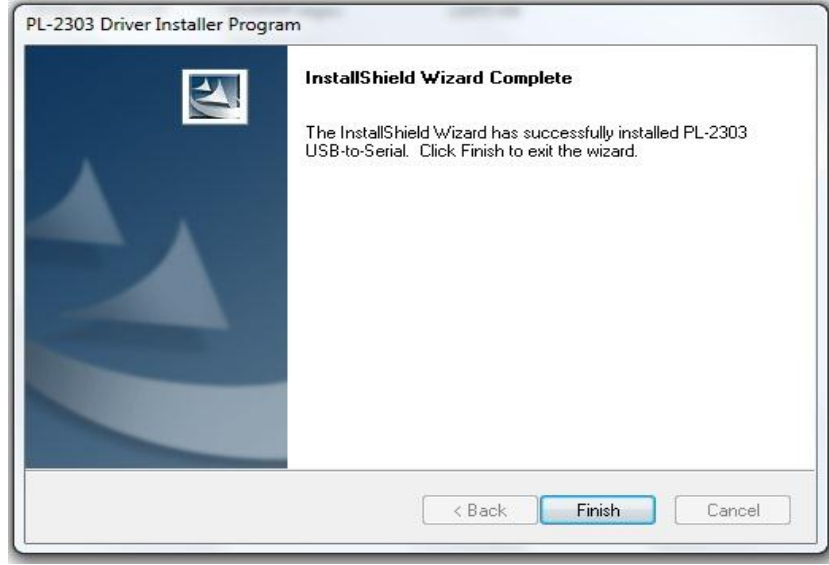
Şekil 3.10. Program kurulumu 1

- Program kurulurken beklenir.



Şekil 3.11. Program kurulumu 2

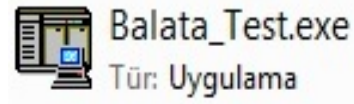
- “Finish” butonuna basılarak kurulum sonlandırılır.



Şekil 3.12. Program kurulumu 3

Sürtünme test cihazı ile bağlantıyı sağlayacak olan program kullanılabilir.

“Balata_Test.exe” simgesi ile program çalıştırılabilir.



Şekil 3.13. Programı çalıştırma simgesi

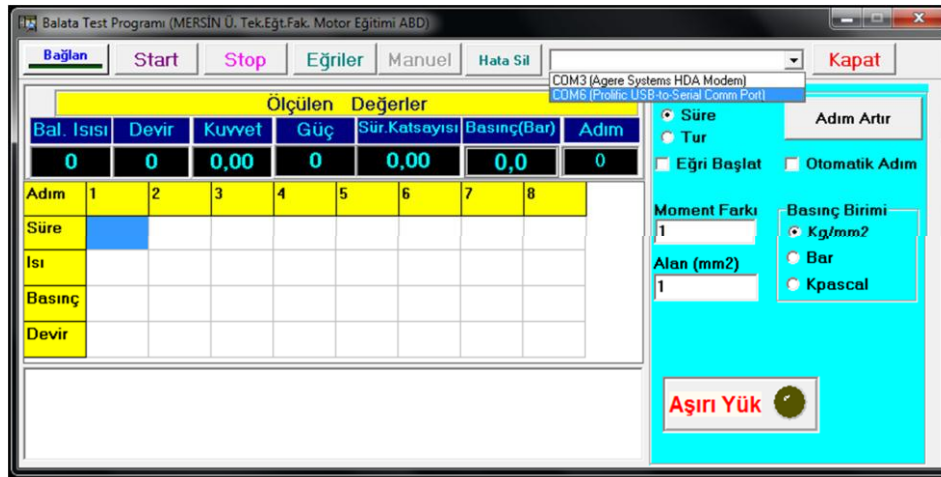
Şekil 3.14. de deney şartlarını belirlediğimiz çalışma ekranıdır görülmektedir.



Şekil 3.14. Program çalışma ekranı

3.2.3.2. Program ile sistem arasındaki bağlantıyı yapma

Cihaza bağlanmak için USB kablosunu bilgisayara taktıktan sonra Şekil 3.15’ de görüldüğü gibi port seçilmesi gerekmektedir. Port seçildikten sonra bağlan butonuna basılarak sistem ile bağlantı sağlanır.

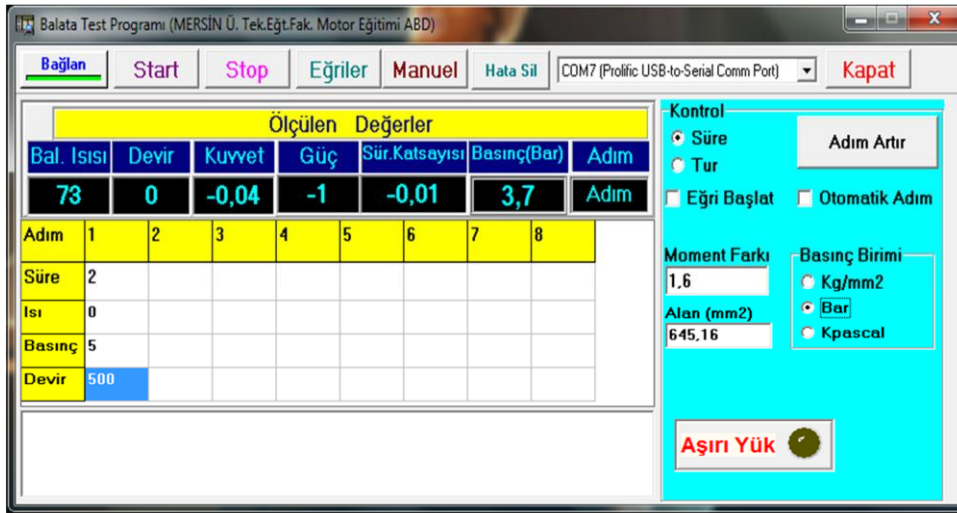


Şekil 3.15. Port Seçme

3.2.3.3. Programın kullanılması

Program ile cihaz arasındaki bağlantıyı sağladıktan sonra sol taraftaki süre, ısı, basınç ve devir kısımlarına istenilen değerler girilebilir. Değerler numaralandırılmış sütunlara sırasıyla yazılırsa ilk deneyin süresinin bitmesinin ardından ikinci deneye geçilebilir böylelikle ardı ardına sekiz deney yapılabilmektedir.

Ekranın sol tarafındaki mavi bölmeden yapılacak deneyin genel ayarları görülmektedir. Deneyin girilen süreye göre mi veya diskin yaptığı tur sayısına göre mi yapılacağı “Süre” ve “Tur” seçeneklerinden seçilebilir. Eğer “Eğri Başlat” seçeneği aktif hale getirilirse deneyin başlaması ile birlikte program eğrileri de otomatik olarak başlatacaktır. Sağ taraftaki basınç satırına girilen değerlerin birimlerini de “Basınç Birimi” karesinden “kg/mm²”, “Bar” veya “kPa” olarak belirtilmesi gerekmektedir.

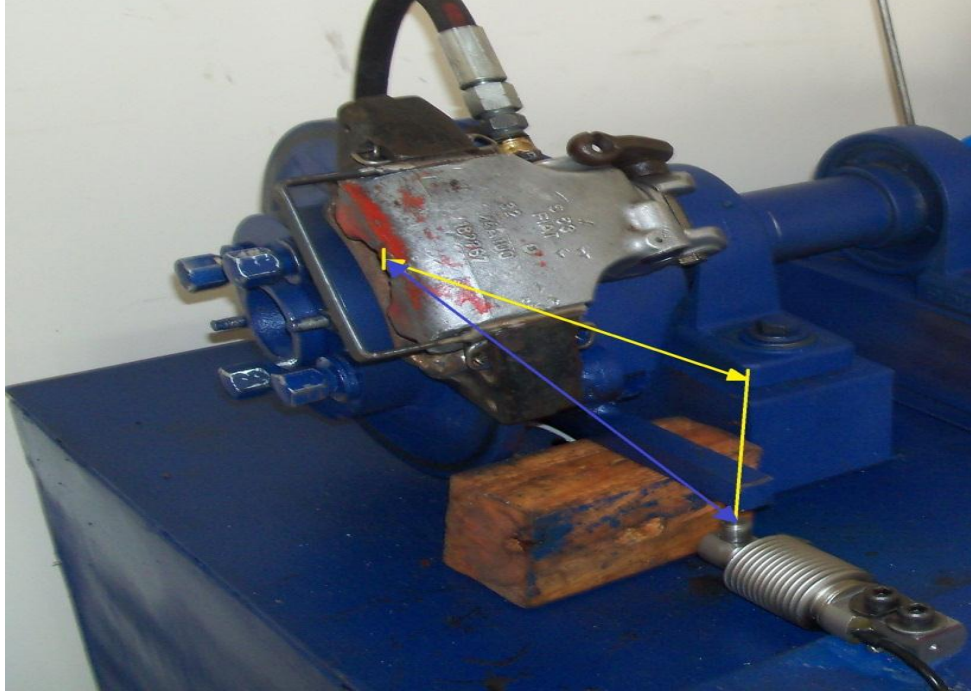


Şekil 3.16. Değerlerin girilmesi

Moment farkı

Yapılan deneylerde sağlıklı ve kesin sonuçlar alınabilmesi için moment farkının santimetre cinsinden girilmesi gerekmektedir. Cihazın moment farkı pabuçta

bağlı olan balatanın merkezi ile kuvveti ölçtüğümüz loadcell arasındaki uzaklığa eşittir. Bu uzunluk Şekil 3.17.' da mavi çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Moment farkı

Alan (mm²)

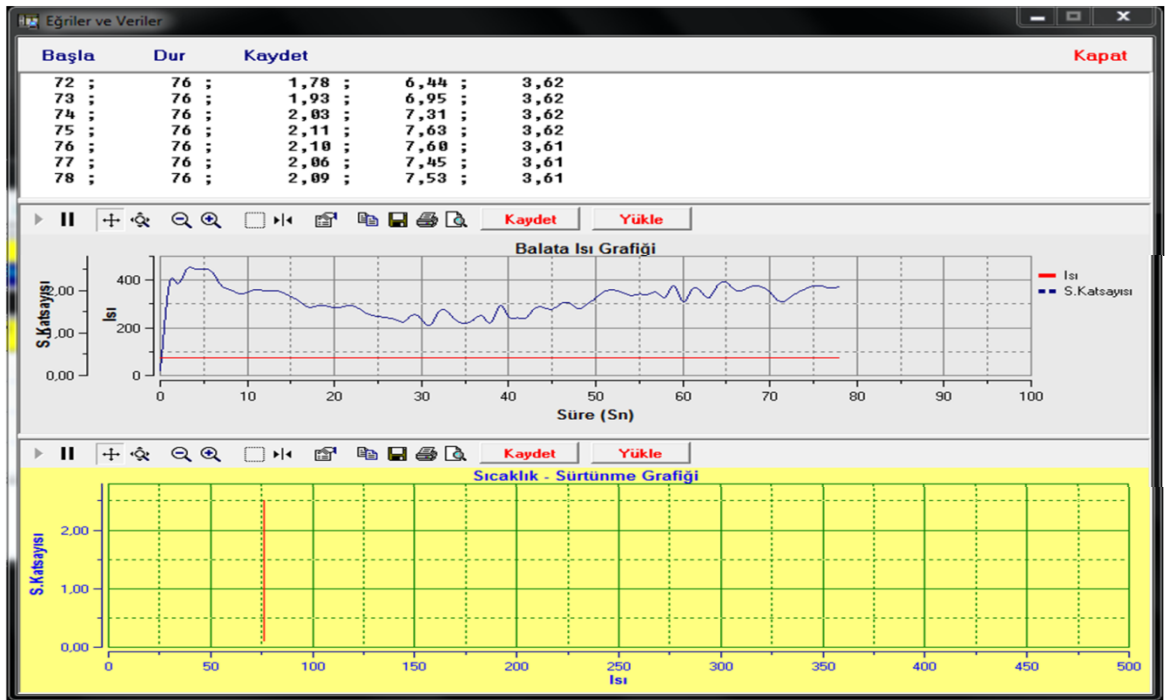
Buradaki alan kısmına balatanın alanının milimetre cinsinden girilmesi gerekmektedir. Deneylerde kullanılan balatalar özel imalat oldukları için her biri 1"² (bir inç kare) alana sahiptirler.



Şekil 3.18. Üretilen Balatalar

3.2.3.4. Programda eğrilerin (grafiklerin ve verilerin) alınması

Programda eğrilerin alınması için iki yöntem bulunmaktadır. Birincisi deneye başlamadan önce sağ taraftaki mavi bölmede “Eğri Başlat” seçeneğini aktif hale getirmektedir. Bu seçenek aktif olduğu takdirde deney başlar başlamaz eğrilerde otomatik olarak başlayacaktır. İkincisi ise programın üst tarafındaki “Eğriler” butonuna basıp yine açılan ekrandan “Başla” butonuna basılarak eğriler manuel olarak başlatılabilir.

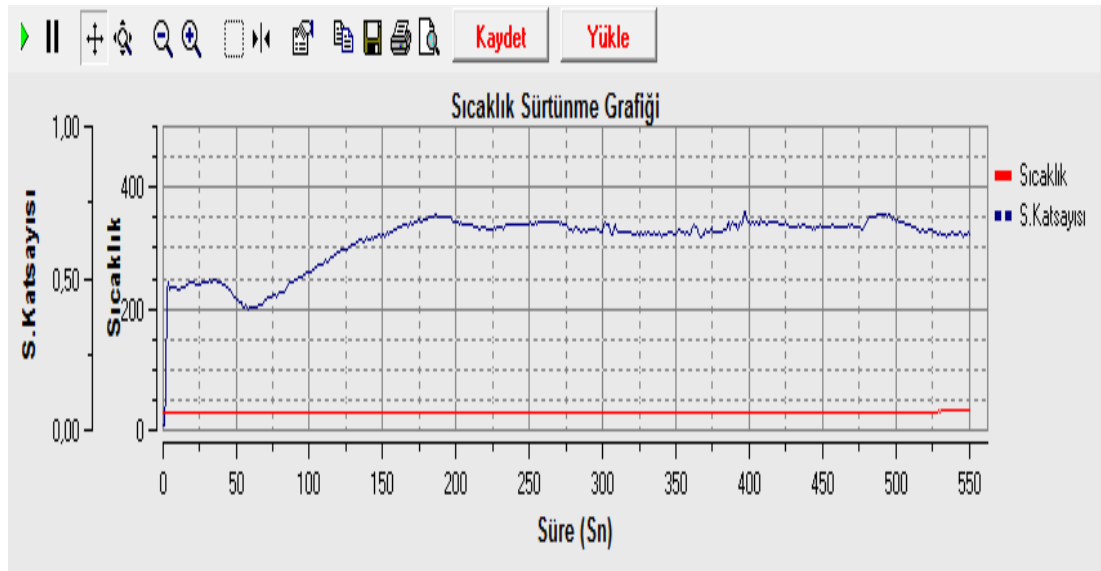


Şekil 3.19. Eğrilerin alınması

“Başla” butonuna basıldıktan sonra program otomatik olarak verileri saniyelik periyotlarla ölçer ve ekrana yansıtır. Şekil 3.19’ de deney esnasında alınan veriler doğrultusunda program tarafından oluşturulan eğrilerin ekran görüntüsüdür. Burada ekranın en üst bölümünde saniyelik periyotlarla alınan veriler görülmektedir. Bunlar sırasıyla “Süre”, “Isı”, “Sürtünme Katsayısı”, “Kuvvet” ve “Basınç” verileridir. Verilerin yer aldığı bölmenin hemen altındaki satırda ise verilerin kaydedilebilmesi ve yazdırılabilmesi için butonlar bulunmaktadır. “Kaydet” butonuna tıklanması halinde program verileri istenilen

yer ve uzantıda kaydedilebilir. Kaydedilen verilerin başka bir deneyde kullanılmasına ihtiyaç duyulduğu takdirde “Yükle” butonuna tıklayarak ve kaydedilen veriyi seçerek geri yüklenebilir ve kullanılabilir.

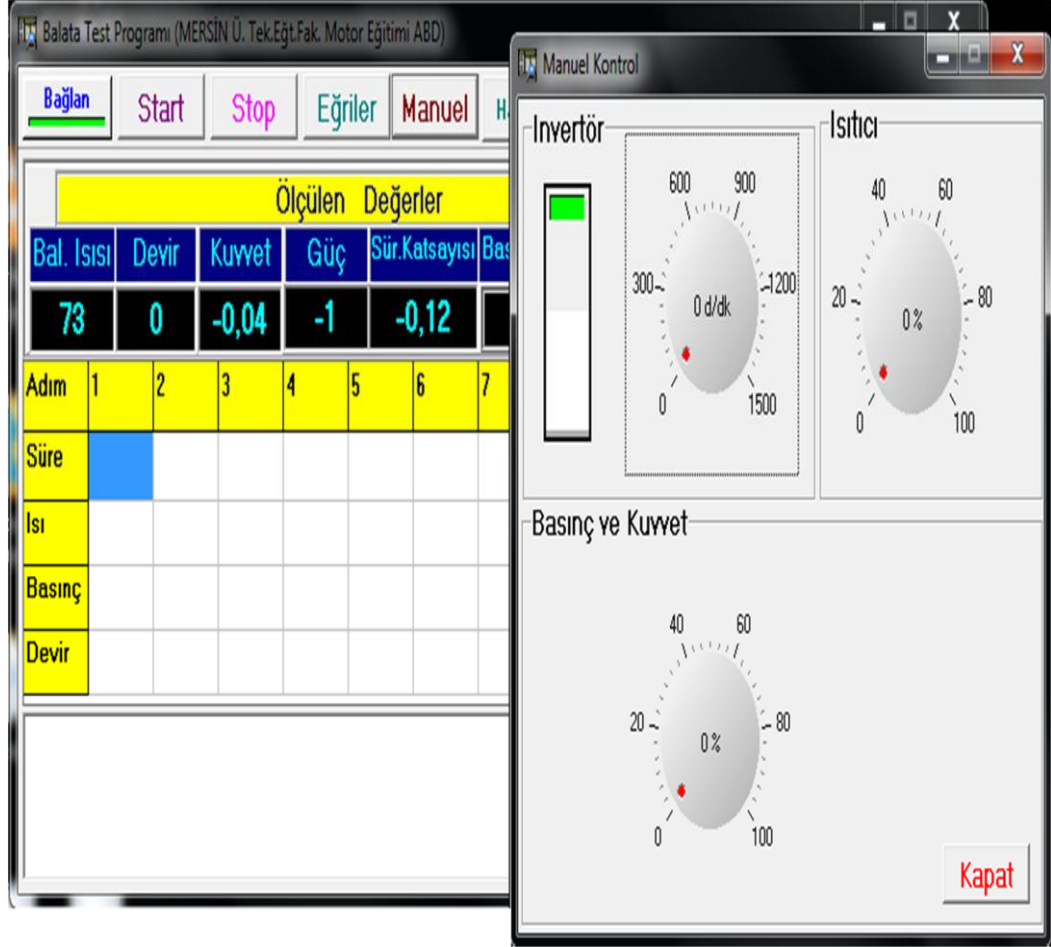
Grafik de mavi ile gösterilen veriler sürtünme katsayısını, kırmızı ile gösterilen veriler ise disk yüzey sıcaklığını göstermektedir. Veriler için yapılan yazdırma, kaydetme ve geri yükleme işlemlerini grafik içinde grafiğin altındaki satırdan aynı şekilde yapılabilir. Şekil 3.20’ da kaydedilen bir grafik resmi görülmektedir.



Şekil 3.20. Kaydedilmiş bir grafik örneği

3.2.3.5. Manuel kullanım

Programda deneyler süre, ısı, basınç ve devir gibi değerler girilerek otomatik olarak yapılabileceği gibi, bu veriler programa yazılmadan el ile manuel olarak da ayarlanabilir. Bunun için programın üst tarafında yer alan butonlardan “Manuel” butonuna tıklanır ve açılan ekrandan cihazın kontrolü yapılabilir.



Şekil 3.21. Manuel kullanım ekranı

Açılan manuel kullanım ekranında “İnvertör” kısmından motorun devri ayarlanabilir. Bunun için invertör yazısının altındaki butonu aktif hale getirilmesi gerekmektedir. Buton aktif hale getirildiğinde motor devri el ile manuel olarak istenilen devirlerde artırılıp azaltılabilir.. Buton şekil 3.21.’ de aktif haldedir kapalı hale getirmek için üzerine bir kere tıklanması yeterlidir. Hidrolik sistem basıncı da “Basınç ve Kuvvet” bölümünden rahatlıkla bilgisayar klavyesinden el ile ayarlanabilir.

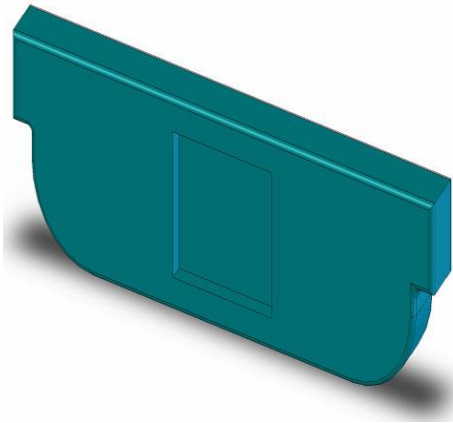
4. BULGULAR

Sürtünme katsayısı test cihazının kontrollerinin yapılması için balatalar üretilmiştir. Ayrıca piyasada aktif olarak balata üreticileri tarafından kullanılan bir test cihazında deneyleri yapılmış bir balata temin edilmiştir. Üretimi tamamlanan sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısını ölçen test cihazındaki deneyler, Mersin Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi uygulama atölyesinde yapılmıştır.

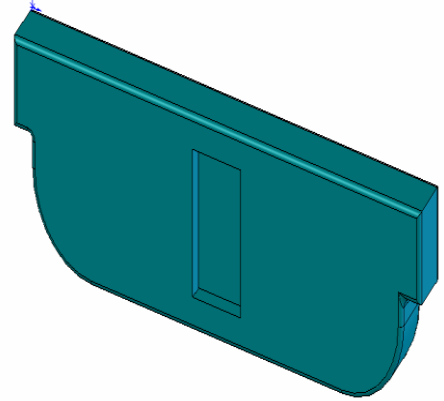
4.1. Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması

İmalatı yapılmış olan sürtünme test cihazında test edilmek amacıyla daha önceden Chase marka sürtünme aşınma test cihazında deneyleri yapılan balata numunesi temin edilmiştir.

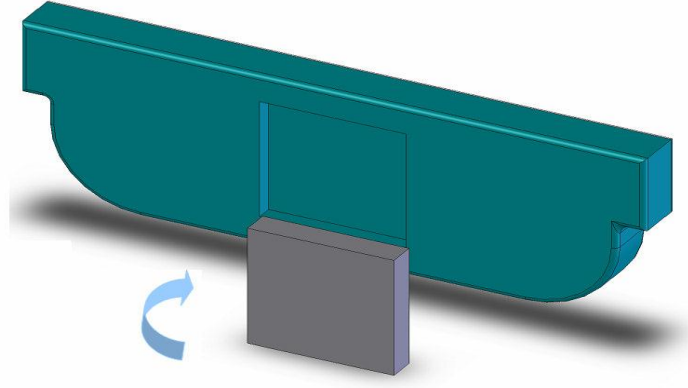
Test cihazına balatanın takılabilmesi için 1" (25.4mm×25.4mm) ve ½" (25.4mm×12.7mm)'lik yüzey alanı 2 mm derinlikte boşaltılmış olan balata tutucu sac kullanılmaktadır. Şekil 4.1, 4.2'de balata tutucu sac, şekil 4.3'de balatanın balata tutucu saca takılışı görülmektedir. Balata şeklindeki parçanın orta kısmında bulunan 2mm derinliğindeki alana sıkı monte edilir.



Şekil 4.1. 1"lik Balata Tutucu



Şekil 4.2. ½" lik Balata Tutucu



Şekil 4.3. Balatanın Takılma İşlemi

4.2. Deney Şartları

Balata ile diskin yüzeyinin tamamen örtüşmesi için disk, düşük basınçlarda sürtünme katsayısı sabit hale gelinceye kadar döndürülür. Böylece balata yüzeyi ile disk yüzeyinin birbirine tam sürtünmesi sağlanarak balata deneye hazır hale getirilmiş olur. Her deneyden önce disk üzerindeki tozlar kuru hava ile temizlenir.

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

4.3. Deney Sonuçları

Bu çalışmada, fren balatası sürtünme katsayısının sıcaklığa bağlı olarak değişiminin belirlenebildiği yeni tasarlanan ve imalatı yapılan sürtünme katsayısı test cihazı kullanılmıştır. Test cihazında yapılan deneylerde, sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiğini oluşturmak için sürtünme katsayısı ve zaman değişimleri sabit aralıklı salınım periyodu oluşana kadar deneyler yapılmıştır.

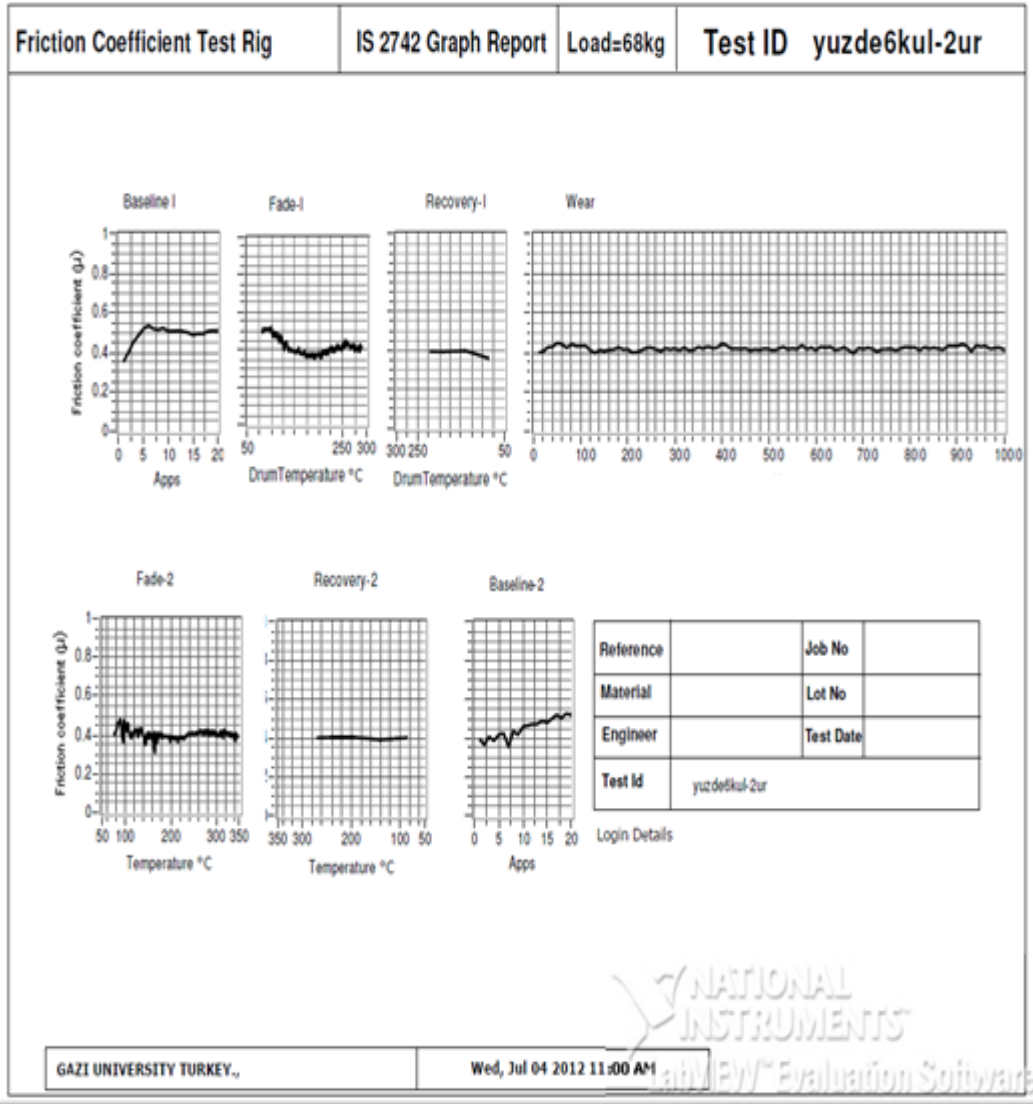
Tasarım ve imalatı gerçekleştirilen otomotiv fren balatası sürtünme test cihazında yapılan deney çalışması (Şekil 4.5), yurt dışı imatlı başka bir referans sürtünme test cihazında (Şekil 4.4) yapılan deney sonucu ile karşılaştırılmıştır.

Referans; Chase tipi sürtünme test cihazı, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji Malzeme Mühendisliğinde bulunmaktadır.

Chase tipi sürtünme test cihazı SAE J661 test standardına göre fren sisteminde kullanılan malzemelerin sürtünme karakteristiklerini belirlemek için tasarlanmıştır. Ayrıca Chase tipi sürtünme test cihazı kalite kontrol, araştırma ve geliştirme ve sertifikasyon tipi uygulamalar için de kullanılabilir. Test makinesi numune tutucusu, 250 Hv sertlikte ve 280 mm çapında gri dökme demirden üretilmiş kampana ve kontrol nitesi olmak üzere  ana kısımdan oluşur. Test cihazında 25x25x7 mm boyutlarında balata numunesi kullanılmaktadır. Numuneye uygulanan normal yük pnömatik bir sistem tarafından sağlanmaktadır. Test boyunca kampana sıcaklığı, kampananın dış çevresine yerleştirilmiş rezistanslar ve hava soğutma sistemi tarafından otomatik olarak kontrol edilir.

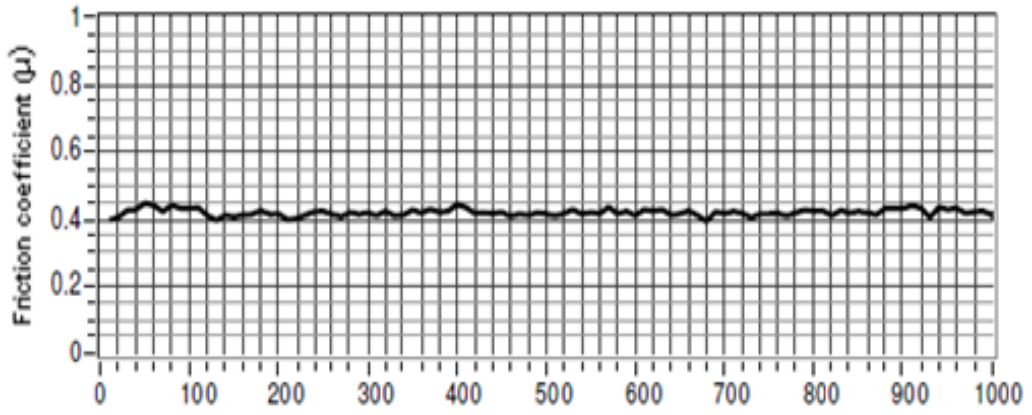


şekil 4.4. Chase tipi sürtünme aşınma test cihazı



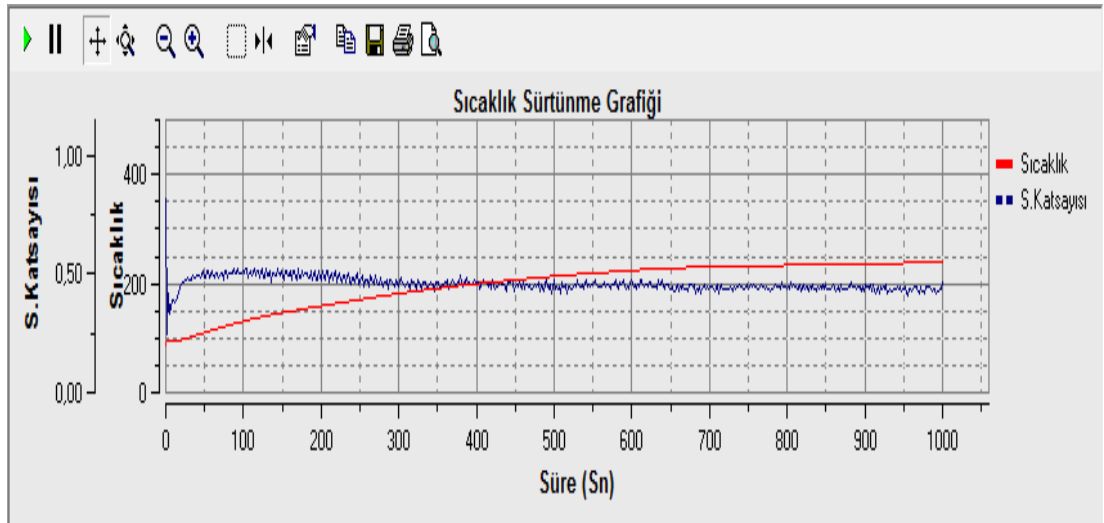
Şekil 4.5. Chase marka cihazda elde edilen verilerin çıktısı

İki farklı cihazda elde edilen deney sonuçlarının doğrudan grafiğe dönüştürüldüğünde sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiklerinde birbirine çok yakın salınım ve ortalama değerleri gözlenmiştir. İmalatı gerçekleştirilen otomotiv fren balatası sürtünme test cihazında yapılan test sonuçları yurt dışı imalath referans sürtünme test cihazında yapılan test sonuçları ile birbirine yakın değerler vermiştir. Bu deneysel çalışma sonuçlarına göre, otomotiv fren balatalarının sürtünme katsayısını tespit eden test cihazının amacına uygun olduğu söylenebilir.



	Fric (μ)
Average:	0.455

Şekil 4.6. Chase tipi sürtünme test cihazındaki deney sonucu



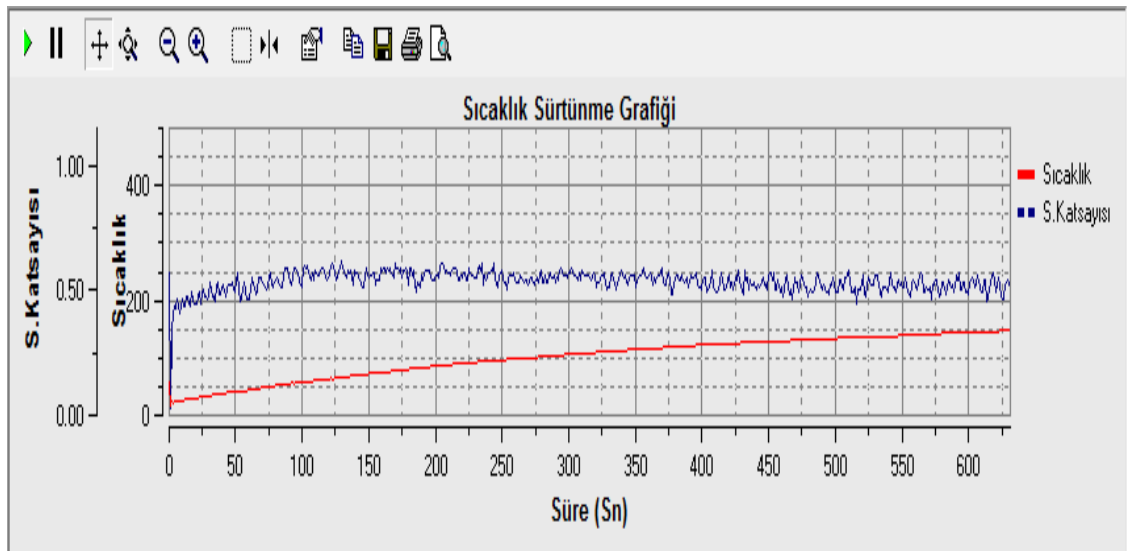
	Sürtünme K. (μ)
Ortalama:	0,459

Şekil 4.7. Tasarımı ve imalatı yapılan cihazdaki deney sonucu

İki farklı test cihazında yapılan deneylerin grafikleri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde Chase marka cihazda yapılan deney

sonuçlarının sürtünme katsayısı ortalaması 0,455, tasarımı ve imalatı yapılan sürtünme test cihazı ile yapılan deneylerdeki ortalama sürtünme katsayısı 0,459 olarak elde edilmiştir. Değerlerinin birbirine çok yakın olması, imalatı yapılan test cihazının amacına uygun olduğunu ispatlamaktadır. Ayrıca şekiller incelendiğinde her iki cihazdaki sürtünme katsayısı performans grafikleri deney süresince stabil olarak devam etmiştir. Bu tür cihazlarda yapılan deneylerde sürtünme katsayısı grafiklerinin stabil olması istenmektedir.

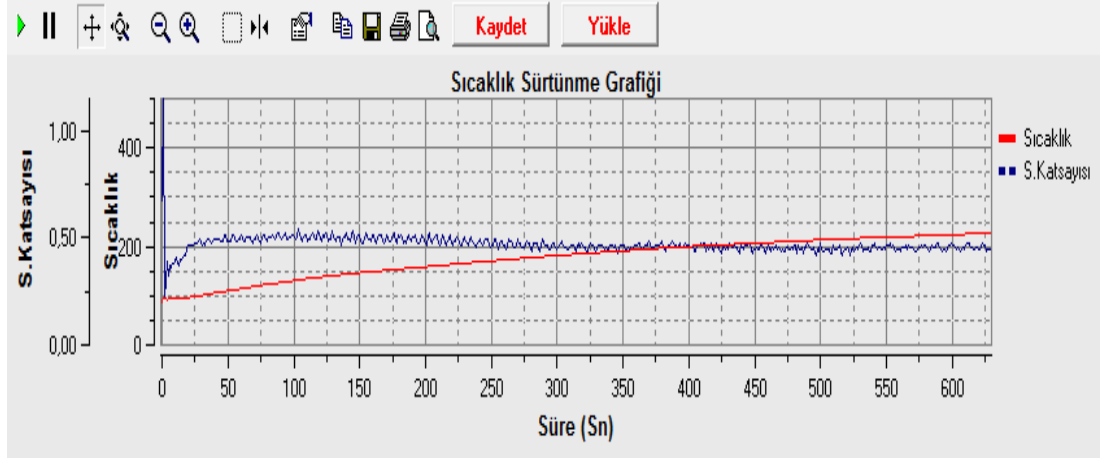
Chase tipi sürtünme aşınma test cihazı ile yapılan deneylere ek olarak Türkiye'de üretim yapan farklı balata üreticileri ile irtibata geçilerek balata numunesi temin edilmiştir. Üç farklı firmaya ait balatalarla yapılan deney sonuçları da aşağıdaki gibidir.



Sürtünme K. (μ)	
Ortalama:	0,544

Şekil 4.8. A Firmasına ait balata deney sonucu

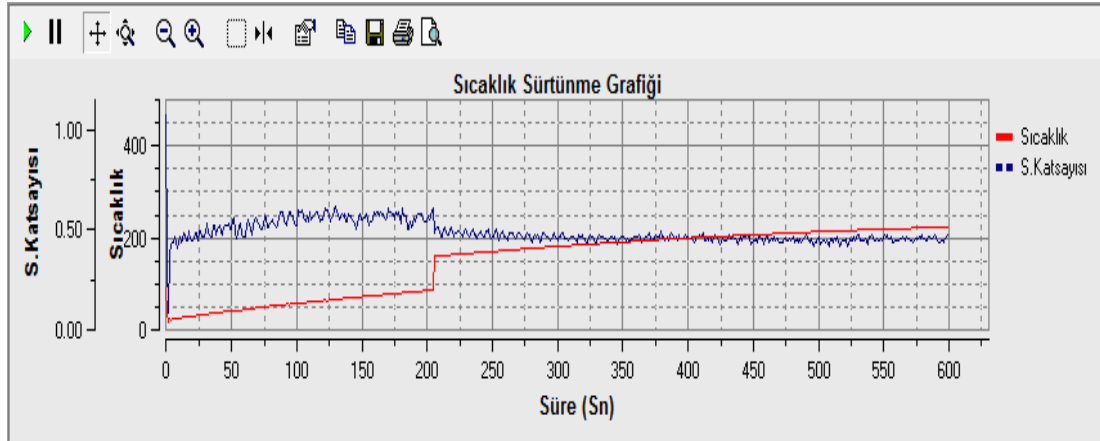
A firmasından temin edilen balata numunesi ile yapılan deney sonucunda sürtünme katsayısı ortalama (μ) 0,544 olarak balata test cihazından elde edilmiştir. Firma ile yapılan görüşmelerde kendilerine ait balatanın sürtünme performansının TS 555'e göre G sınıfına girdiği belirtilmiştir. G sınıfı balata sürtünme katsayısı 0,45-0,55 olarak TS 555'te belirtilmiştir.



Sürtünme K. (μ)	
Ortalama:	0,524

Şekil 4.9. B Firmasına ait balata deney sonucu

B firmasından alınan balata numunesi ile yapılan deney sonucunda sürtünme katsayısı ortalama (μ) 0,524 olarak balata test cihazında elde edilmiştir. Firma ile yapılan görüşmelerde kendilerine ait balatanın sürtünme performansının TS 555'e göre G sınıfına girdiği belirtilmiştir.



Sürtünme K. (μ)	
Ortalama:	0,533

Şekil 4.10. C Firmasına ait balata deney sonucu

C firmasından alınan balata numunesi ile yapılan deney sonucunda sürtünme katsayısı ortalama (μ) 0,533 olarak balata test cihazında elde edilmiştir. Firma ile yapılan görüşmelerde kendilerine ait balatanın sürtünme performansının TS 555'e göre G sınıfına girdiği belirtilmiştir.

Farklı firmalardan alınan balata numuneleri ile yapılan deney sonuçları üretimi yapılan test cihazının test sonuçlarını doğrulamaktadır.

Türkiye'de üretim yapan balata firmalarından alınan numune örnekleri ile yapılan deney sonuçları, tasarımı ve imalatı yapılan sürtünme katsayısı test cihazının balata sürtünme ve aşınma test cihazı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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 kullanılmıştır. Cihazda, taşıttaki fren sistem basıncını ve TS 555'te belirtilen sürtünme katsayısı deney basınçlarını sağlayabilecek elektro-hidrolik sistem mevcuttur. Bilgisayar program kontrolü ve sistemdeki elektronik geri besleme donanımları ile kapalı çevrim oluşturulmuştur. Sistem ilk çalıştırılırken istenilen sistem basıncı elektronik kontrol kartı tarafından algılayarak 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 seklindedir.

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 yapılabilir.

Bu cihazların üretimi yurt dışında yapılmakta ve Türkiye içi satışı çok yüksek fiyatları bulmaktadır. Üniversiteler bünyesinde, bu cihazların tasarımı ve imalatı çok daha uygun fiyata oluşturulabilir. İmal edilen cihaz yurt dışından gelenlerle aynı deney şartlarına sahiptir ve aynı değerleri almak mümkündür.

Tüm bu deneysel çalışma sonuçlarına göre, otomotiv fren balatalarının sürtünme katsayısını tespit eden test cihazının amacına uygun olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca, uluslararası standartlarda kabul gören balata test cihazlarından alınan veriler incelenerek var olan bilgisayar programına ölçmesi istenilen veriler için eklemeler yapılabilir. Deneyler sırasında disk sıcaklığını kontrol etmek için, diskin dış çevresine rezistanslar ve hava soğutma sistemi yerleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Filikçioğlu. C., "Taşıt Frenlerinde Balata eşidinin ve alışma Şartlarının Frenleme Performansına Etkisi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (1998).
- [2] Crouse, W.H, ev: Anlaş, İ., "Otomobil Őasisi", E.T.Y.Ö.O. Matbaası, Ankara, (1979).
- [3] Milevski er al., (1987), Gobal et al., (1996), Robinson et al., (1992).
- [4] Ayar, H.H., "Disk Fren Balatalarında Bileşimin Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi", Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (1991).
- [5] E. Reinsch, " Sintered Metal Brake Linings For Automotive Applications " , Delco-Moraine Division, General Motors Corp Dayton, Chapter 2, Pp. 9-21, (1970).
- [6] Karagöz, Y., " Metallerde Aşınma Yorulması " , İzmir, (2004).
- [7] Őiřman, L., " Bir Aşınma Deney Cihazının Tasarım ve İmalatı " , Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (1999).
- [8] Ferrante, J., Abel, P.B, Handbook of Micro/Nanotribology, 2nd ed, Surface physics in tribology, Chapter3, (1999).
- [9] Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W.,Engineering Tribology, Boston, Heinemann, (1) :36-44, (2001).
- [10] Szeri, A.Z., McGraw, Hill, Tribology (Friction, Wear, Lubrication), Washington, Hemisphere pab., (1): 30-75, (1980).
- [11] Topbaş, M.A., Endüstri Malzemeleri, Cilt 2 , Yıldız Üniversitesi Matbaası, İstanbul, sf 264, (1993).
- [12] Staab, G.H., Laminar Composites.,Butterworth-Heinemann, Chapter 1.,(1999).
- [13] Gemalmayan, N., "Sürtünme Malzemelerinin zelliklerinin Deneysel İncelenmesi " , Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,

Ankara, (1984).

- [14] Gediktaş, M., Sürtünme Malzemelerinin Deneysel Tayini, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, pp. 10-80, (1968).
- [15] Holinski, R., Industrial Lubrication and Tribology, Fundamentals of dry friction and some practical examples, pp. 53: 61-65, (2001).
- [16] Persson, B.N.J., Theory of Friction, The American Physical Society , pp. 50: 47-71, (1994).
- [17] Tabor, D., Friction as a dissipated process, Friction of organic polymers in fundamentals of friction, Macroscopic and Microscopic Processes, p. 220:3, (1996).
- [18] Yılmaz F., "Sürtünme ve Aşınma", İstanbul, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, pp. 229-247, (1997).
- [19] Halling, J., "Principles of tribology", The Macmillan Process.Ltd., pp. 72-92,(2000).
- [20] Moore, D.F., Princippless and Application Tribology, Oxford, Pergamon Press, pp. 109-156, (1975).
- [21] Dönmez, A.G., "Asbest dışı elyaflarla üretilen balata malzemelerinin özelliklerinin incelenmesi", Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Doktor Tezi, Trabzon, (2000).
- [22] Bowden, F.P., Tabor, D., "The friction and lubrication of solids", pp. 12-16, 29-31, 52-55, 78-79, 187-191, (1994).
- [23] Ashby M.F., Jones, D.R.H., Engineering materials 1, 2nd edition, Butterworth, Heineman, (1996).
- [24] Kayalı, E.S., "Aşınma ve kaplı takımların aşınması", Nato-TU PVD kaplamaları projesi, İ.T.Ü. Kimya-Metalürjisi Fakültesi, İstanbul, pp. 5-18, (1996).
- [25] Uygur, M., "Balata üretim teknolojisi", 1. Ulusal Toz Metalurjisi Kongresi, Bildiriler Kitapçığı , Gazi Üniversitesi, Ankara, p. 17, (1996).
- [26] Uygur, M.E., "Toz metalürjisi ekonomik bir üretim tekniği", 1. Ulusal toz metalürjisi konferansı, Gazi Üniversitesi, Ankara, (1996).

- [27] Fedorchesco, I.M., Kırýachek, V.M., New sintered friction materials, *Friction and Antifriction Materials* , pp. 4:139-142, (1970).
- [28] Mutlu, İ., "Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (2002).
- [29] Bhushan, B., Principles of tribology, *Modern Tribology Handbook*, Volume 1, CRC Press, (2001).
- [30] Alision, V.V., Krogelsky, I.V., *Tribology Handbook* , Pergamon Press, Oxford, pp. 2:35-56, (1981).
- [31] Tuç, B., Tribology, Basılmamış Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Ankara,(2003).
- [32] Kjeldsteen, P., Trilk, N., Wear map production on P/M materials and the definition of transition, *The Danish for Powder Metallurgy*, Nordberg, Denmark, pp. 50-110, (1995).
- [33] Trilk, N.C., Eyre, T.S., *Tribology Methodology*, Brunel University, Kingston Lane, Uxbridge, U.K., pp. 114-145, (1993).
- [34] Halling, J., Principles of Tribology, The Macmillian Press Ltd., America, pp. 83-98, (1983).
- [35] Aslan, S., SiC ve grafit takviyeli çinko alüminyum hibrid kompozit malzemelerin aşınma davranışının incelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (2005).
- [36] Testing for materials selection, *Advanced materials and processes*, *International Journal of Fatigue*, pp. 13: 99-191, (1991).
- [37] Wakelin, R.J., Tribology: The friction, lubrication and wear of moving parts *Annual Review of Materials Science*, pp. 4: 221-53, (1974).
- [38] Bedge, D. and Starcevic, J., Topographic properties of the contact zones of wear surfaces in disc brakes, *Wear*, pp. 254:195-202, (2003).
- [39] Ludema, K.C., Introduction to wear. University of Michigan, in *ASM Handbook*, Vol 18.
- [40] Azaklı, Z., Savaşkan, T., An Examination of Friction and Sliding Wear Properties of Zn-40Al-2Cu-2Si Alloy in Case of Oil Cut Off, *Tribology*

International, Vol.41, pp. 9-16, (2008).

- [41] Rigney, D.A., Sliding wear of metals, Ann.Rev.Mater.Sci.,pp. 18:141-63,(1988)
- [42] Godet, M., The third-body approach : A mechanical view of wear, Wear, pp. 100:437-52, (1984).
- [43] Sasada, T., Oike, M., Emori, N., The effect of abrasive grain size on the transition between abrasive and adhesive wear, Wear, pp. 97:291-302, (1984).
- [44] Stringham, W., " Bosch braking systems, 401 IN. bendix drive, south bend ", IN 46634-4001, pp. 34-36, (2001).
- [45] Anderson, A.E., Peterson, M., Winer, W.O. (Eds.), "Wear of brake material", Wear Control Handbook, New York, pp. 843-858, (1997).
- [46] Boz, M., "Toz Metalürjisi ile Üretilmiş Bronz Esaslı Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, (1999).
- [47] Ersan, K., "Mevcut eski,yeni ve farklı balataların frenleme kuvvetine etkisinin pedal kuvvetinin fonksiyonu olarak tanımlanması", Gazi Üniversitesi, Müh.Mim.Fak. Der. cilt13, sayı 1, p. 75, (1998).
- [48] TS 9076, "Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları İle Değerlendirilmesi", T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Nisan, (1991).
- [49] Ayar, H.H., " Disk Fren Balatalarında Bileşimin Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi ", Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (1991).
- [50] Gemalmayan, N., "Asbestsiz Sürtünme Malzemelerinin (Balataların) Yapımı ve Uygulanması", 2. Ulusal Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, (1986).
- [51] Anderson, A.E., "Friction and Wear of Automotive Brakes", Friction, Lubrication and Wear Tecnology ASM Handbook, Vol. 18, 1st Ed.,USA, (1992).
- [52] Demirsoy, M., Balatalar, Mühendis ve Makine, cilt 17, sayı 189, Ankara, pp. 157-170, (1973).

- [53] Washabaugh, F.J., EMCOR 66 Ultra-Short Fibers for Asbestos-Free Friction Materials, SAE 860630, (1987).
- [54] Bijwe, J., Composites As A Friction Material: Recent Developments In Non-Asbestos Fiber Reinforced Friction Materials- A Review, Polymer Composites,18,3, pp. 378-396, (1997).
- [55] "Toplum ve Çevre Sağlığı Açısından Soru Cevaplarla Asbest", Türk Sağlık Ajansı Yayınları 1, Ankara, (1991).
- [56] İrkeç, T., "Asbest", MTA Genel Müdürlüğü Yayınları,Eğitim Serisi no:31, Ankara, (1990).
- [57] Erdil, E., Sarıkaya, Y., "Temel Üniversite Kimyası", Hacettepe Kitap LTD., Ankara, (1984).
- [58] Sophie, K.T. and Mason, E., "Asbestos: Mineral and Fibers", Division of Chemical Health and Safety of the American Chemical Society, May., (2002).
- [59] Baker, R., "Changes Caused By Legislation Against Asbestos", Powder Metallurgy, 35 (4): 255-256, (1992).
- [60] Berry, G., "Mortality and Cancer Incidence of Workers Exposed To Chrysotile Asbestos In The Friction Product Industry", Ann. Occup. Hyg., 38 (4): 539-546, (1994).
- [61] Katalog, "Basarit Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri", Deutsche Basaltsteinwolle Gmbh, Rodetal 40 D-3406 Bovenden, 1, Germany, (1993).
- [62] Welch, P.A. and A.F., "The Development of Mineral Wool From Florida Minerals", Greaves-Walker, Fla. Eng. and Ind. Exp. Sta. Bull. 59, (1953).
- [63] Katalog, "abex", Friction Products Division, Michigan USA, (1983).
- [64] Şişecam A.Ş., "Cam elyaf", www.sisecam.com.tr , (08.12.2009).
- [65] Knox, C.E., "Fiberglass Reinforcement" Handbook of Composites, Van Nosrand Reinhold Company, pp. 136-159, (1982).
- [66] Eckert, A., Bethke, H., "Neue Erkenntnisse zur Asbestubstitution in Reibbelagen" (Recent Development and Results in the Substitution of Asbestos in Friction Materials), Automobiltechnische Zeitschrift, pp.

89:145-147, 150-152, (1987).

- [67] Stocks, A.I., Giezendanner, H., Van-Der-Hurk, H., Asbestos-Free Clutches and Brakes Reinforced with Kevlar-Aramid Fibers, *Int. J. of Vehicle Design*, 6, 4/5, pp. 483-487, (1985).
- [68] HULL, D., "An Introduction to Composite Materials", Cambridge University Press, New York, (1987).
- [69] Crosa, G., Baumvol, I.J.R., *Advances In Composite Tribology*, Composite Materials Series, Vol.8, Friedrich, K., Ed., Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, (1993).
- [70] Genel ürün kataloğu, İzocam Ticaret ve Sanayi A.Ş., Dilovası Mevkii, 41810 Gebze/Kocaeli.
- [71] Katalog, "Carborundum Resistant Materials" GmbH, Postfach 160260, Deutschland, (1998).
- [72] DPT, "6. Beş Yıllık Kalkınma Planı", ÖIK Raporu, Mica: Mineral Research Consultative Comitte, 22 p 2 Turner, D.C., London , (1975).
- [73] Othmer, K., "Encyclopaedia of Chemical Technology", Vol.13, 2.Ed. John Wiley and Sons Inc., New York, (1967).
- [74] <http://web.umr.edu/~karakus/natural/sld011.htm> , (20.02.2009).
- [75] Tanaka, K., Ueda, S., Noguchi, N., Fundamental Studies On The Brake Friction of Resin-Based Friction Materials, *Wear*, Vol.23, pp. 349-365, (1973).
- [76] Vishwanath, B., Verma, A.P.; Kameswaro Rao, C.V.S., Effect of Reinforcement on Friction and Wear of Fabric Reinforced Polymer Composites, *Wear*, Vol.167, pp. 93-99, (1993).
- [77] Othmer, K., Friction Materials, *Encyclopedia of Chemical Technology*, Vol.10, 2nd Ed., John Wiley and Sons Inc., New York, (1966).
- [78] Neiman, M.B., "Aging and Stabilization of Polimers", 1st Ed., Consultant Bureau, New York, (1965).
- [79] Hao Ko, T., Sheng Ma, T, "Effect of Post Curing on The Mechanical Properties of Carbonized Phenolic Resins", *Polimer Composites*, 19, 4, pp.

- 456-462, (1998).
- [80] Dong, F., Blum, F.D., Drahani, L.R., "Polimer-Polimer Composites", 4, pp. 155-159, (1996).
- [81] Mutlu, İ., Öner, C., Fındık, F., "Boric Acid Effect in Phenolic Composites On Tribological Properties in Brake Linings", *Materials and Design* 28, pp. 480-487, (2007).
- [82] Hando, Y., Kato, T., Effects of Cu Powder, BaSO₄ and Cashew Dust on the Wear and Friction Characteristic of Automotive Brake Pads, *Tribology Transactions*, Vol.39, pp. 346-353, (1996).
- [83] Hee, K.W., Filip, P., Performance of Ceramic Enhanced Phenolic Matrix Brake Lining Materials For Automotive Brake Lining, *Wear*, Vol.259, pp. 1088-1096, (2005).
- [84] Kim, S.J., Cho, M.H., Cho, K.H., Jang, H., Complementary Effects of Solid lubricants in The Automotive Brake Lining, *Tribology International*, Vol.40, pp. 15-20, (2007).
- [85] Mohanty, S., Chugh, Y.P., Development of Fly Ash-based Automotive Brake Lining, *Tribology International*, Vol.40, pp. 1217-1224, (2007).
- [86] Hong, U.S., Jung, S.L., Cho, K.H., Cho, M.H., Kim, S.J., Jang, H., Wear Mechanism of Multiphase Friction Materials with Different Phenolic Resin Matrices, *Wear*, p. 6, (2008).
- [87] Matejka, V., Lu, Y., Fan, Y., Kratosova, G., Leskova, J., Effects of Silicon Carbide in Semi-Metallic Brake Materials on Friction Performance and Friction Layer Formation, *Wear*, Vol.265, pp. 1121-1128, (2008).
- [88] EL-Tayeb, N.S.M., Liew, K.W., On The Dry and Wet Sliding Performance of Potentially New Frictional Brake Pad Materials for Automotive Industry, *Wear*, Vol.266, pp. 275-287, (2009).
- [89] Kim, Y.C., Cho, M.H., Kim, S.J., Jang, H., The Effect of Phenolic Resin, Potassium Titanate, and CNSL on The Tribological Properties of Brake Friction Materials, *Wear*, Vol.264, pp. 204-210, (2008).
- [90] Stadler, Z., Krnel, K., Kosma, C. T., Friction and Wear of Sintered Metallic Brake Linings on A C/C-SiC Composite Brake Disc, *Wear*, Vol.265, pp. 278-285, (2008).

- [91] Cho, H., Jang, H., Hong, Y.S., Kim, S.J., Basch, R.H., Fash, J.W., The Size Effect of Zircon Particles on The Friction Characteristics of Brake Lining Materials, *Wear*, Vol.264, pp. 291-297, (2008).
- [92] Yamashita, Y., Hiroshi, A., Kawase, M., Iwata, K., High Performance Asbestos Free Friction Materials for Disk Brake Pads with The Controlled Grain Structure, Sumitomo Electric Industries, Ltd., SAE 890861, (1998).

