

**MERMER ATIKLARININ
OTOMOTİV FREN BALATA ÜRETİMİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HALİL KILIÇ

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2010

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

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERMER ATIKLARININ
OTOMOTİV FREN BALATA ÜRETİMİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

HALİL KILIÇ

DANIŞMAN

Yrd. Doç.Dr. İbrahim MUTLU

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2010

ONAY SAYFASI

Yrd.Doç.Dr. İbrahim MUTLU danışmanlığında, Halil KILIÇ tarafından hazırlanan “Mermer Atıklarının Otomotiv Fren Balata Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 16/ 06 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı , Adı, SOYADI

İmza

Başkan : Doç. Dr. İsmail DEMİR

Üye : Yard. Doç. Dr. İbrahim MUTLU (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Ömer SOYKASAP

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

Doç.Dr. Rıdvan ÜNAL
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Otomobillerdeki Fren Sistemleri	3
2.1.1 Fren Sisteminin Parçaları	3
2.1.2 Disk Fren Sistemleri	4
2.1.3 Kampana ve Disk Malzeme Özellikleri	7
2.2 Fren Balataları ve Özellikleri	8
2.3 Balatalardan İstenilen Özellikler	10
2.4 Balata Oluşumunda Kullanılan Malzemeler ve Fonksiyonları	12
2.4.1 Takviye Malzemeleri(Fiberler)	13
2.4.1.1 Asbest	13
2.4.1.2 Cam Elyafı	14
2.4.1.3 Kevlar (Aramid)	14
2.4.1.4 Çelik Elyaf (Çelik Yünü)	15
2.4.1.5 Taş Yünü	15
2.4.1.6 Basarit	15
2.4.1.7 Fiberfrax	16
2.4.1.8 Mika Grubu	16
2.4.2 Bağlayıcı Malzemeler	16
2.4.3 Sürtünme Ayarlayıcı Malzemeler	17
2.4.3.1 Grafit Tozu	18
2.4.3.2 Bronz Tozu	19

2.4.4 Dolgu Malzemeleri	19
2.4.4.1 Barit.....	20
2.4.4.2 Alçı.....	20
2.4.4.3 Talk	21
2.4.4.4 Kizelgur (Diatomit).....	21
2.4.4.5 Kil.....	21
2.4.4.6 Mermer Tozu	21
2.4.4.6.1 Mermer Tozunun Üretim Yöntemi	23
2.4.4.6.2 Endüstriyel Mermer Atıklarının Endüstriye Kazandırılması.....	24
2.4.4.7 Granit.....	25
2.4.5 Temizleyiciler.....	26
2.4.6 Renklendiriciler	26
2.4.7 Madeni Dolgu Malzemeleri	26
2.5 Literatür Özeti.....	26
2.6 Amaç ve Kapsam	30
3. MATERYAL METOT.....	32
3.1 Deney Düzeneğinin Tanıtılması.....	32
3.1.1 Bilgisayar Programı	35
3.1.2 Yük Hücresi.....	37
3.1.3 İnvertör.....	37
3.1.4 Hidrolik Ünite.....	38
3.1.5 Sıcaklık Ölçme Cihazı	38
3.1.6 Elektrikli Isıtıcı.....	39
3.1.7 Hassas Terazî.....	39
3.1.8 Fren Diski ve Balata Tutucu Pabuç	40
3.1.9 Sertlik Ölçüm Cihazı	41
3.1.10 Toz Karıştırma Cihazı.....	42
3.1.11 Yoğunluk Ölçüm Cihazı	43
3.2 Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi.....	44
3.2.1 Toz Karıştırma Süresinin Belirlenmesi.....	44
3.2.2 Üretim Basıncının Belirlenmesi	44
3.3 Deney Numunelerinin Üretilmesi	45

3.3.1 Komprime (Soğuk Presleme)	46
3.3.2 Pişirme (Sıcak Presleme)	47
3.4 Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması	50
3.5 Deney Numuneleri	51
3.6 Fren Balataları İçin Türk Standartlarında Belirlenen Deney Şartları.....	53
3.7 Deney Şartları	55
3.8 Aşınma Dayanımı, Sertlik ve Yoğunluk Testleri.....	56
4. BULGULAR.....	59
4.1 Mermer ve Granit Tozu Kullanılan Fren Balataları	60
4.1.1 Sürtünme Performansı.....	60
4.1.2 Aşınma, Yoğunluk ve Sertlik Testleri	63
4.2 Barit ve Granit Tozu Kullanılan Fren Balataları.....	66
4.2.1 Sürtünme Performansı.....	66
4.2.2 Aşınma, Yoğunluk ve Sertlik Testleri	70
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	72
6. KAYNAKLAR	74
7. ÖZGEÇMİŞ.....	82

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MERMER ATIKLARININ OTOMOTİV FREN BALATA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Halil KILIÇ

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilimdalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU

Otomotiv frenlerinde kullanılan balatalar birçok maddenin bileşiminden yapılır. Bir fren balatasından istenilen temel özellikler, standartlara uygun aşınma direnci, sürtünme katsayısıdır. Bunlara ilave olarak ekonomik olması istenir. Frenleme sırasında sürtünme nedeniyle fren balataları aşırı ısınmaktadır. Aşırı sıcaklık nedeniyle balataların frenleme performansı değişebilmekte veya balatalar mekanik deformasyona uğramaktadır.

Bu çalışmada; Türkiye’de mermerin işlenmesi neticesinde ortaya çıkan mermer toz atıklarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için, mermer artıkları öğütülerek toz haline getirilmiştir. Mermer atıkları balata dolgu malzemesi olarak kullanıldı. Çeşitli katkı maddeleri kullanılarak yeni formülasyonlu fren balataları üretilmiştir. Balata özelliklerini iyileştirmek amacıyla balata bileşiminde metalik parçacıklar, granit tozu, mermer tozu ve barit kullanılmıştır. Mermer tozu fren balatası üretiminde farklı oranlarda kullanıldı. Böylece mermer tozunun frenleme performansına etkisi incelenmiş oldu. Mermer tozunun frenleme performansında olumlu sonuçlar verdiği gözlemlendi. Bu sonuçlar ışığında fren balatasında mermer tozu kullanılması hem mermer atıklarının değerlendirilmesi hem de üretim maliyetinin azaltılması açısından önemlidir.

2010, 82 sayfa

Anahtar Kelimeler: Mermer, Mermer tozu, Atık mermer, Balata, Sürtünme, Aşınma.

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

INVESTIGATION OF USABILITY OF MARBLE WASTE IN AUTOMOTIVE BRAKE PADS MANUFACTURING

Halil KILIÇ

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

Advisor: Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU

Brake linings used in automotive disks are usually composed of various components. Expected properties from a brake lining are appropriate standart value of wear resist, friction coefficient and also economical value. Brake lining extremely warms up during braking due to friction. The braking performance of brake lining changes and braking lining is subject to mecanical deformation due to excessive temperature.

In this study, it is aimed to reevaluate the waste of marble dust in marble processing in Turkey. For this purpose, marble wastes are grinded to produce marble dust. Dust wastes of marble is used as filler material in brake pads. The brake lining, which has new formulation, is produced by using various additive materials. Metallic particles, granite powder, marble dust and barite are added to brake lining components to improve brake lining properties. Marble dust is used to produce brake pad in different ratios. Therefore, the effect of marble dust on braking performance is investigated. It is observed that favorable results in braking performance is obtained using of marble dust. In the light of this results, the use of marble dust in brake pad is important in view of both revaluation of marble wastes and decreasing cost of manufacturing.

2010, 82 Page

Keywords: Marble, Marble dust, Waste marble, Brake pad, Friction, Wear.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde yapmış olduğu çok değerli katkı ve yönlendirmeler ile bana büyük destek veren ve elinden gelen yardımı esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU' ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneysel çalışmalarda emeği geçen Öğr. Gör. İlker SUGÖZÜ ve bu çalışmanın yürütülmesinde A.K.Ü Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv bölümü personeline teşekkürü bir borç bilirim. Tezin hazırlanması safhasında manevi desteğini esirgemeyen çalışmalarımınla bugünlere gelmemi sağlayan çok kıymetli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Halil KILIÇ
Afyonkarahisar, 2010

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

f_m	Deneydeki ortalama sürtünme kuvveti (N)
V	Özgöl aşınma (gr/mm^2)
m_1	Deneyden önce ölçülen balata kütlesi (gr)
m_2	Deneyden sonra ölçülen balata kütlesi (gr)
ρ	Balata yoğunluğu (gr/cm^3)
R_d	Disk yarıçapı (m)
μ	Sürtünme katsayısı
n	Toplam devir sayısı (devir)
F	Deney yükü (N)
F_s	Sürtünme kuvveti (kg)
D	Batıcı bilye çapı (mm)
d	Bilye izi ortalama çapı (mm)
v	Kayma hızı (m/s)
T_B	Frenleme torku (Nm)
N	Normal reaksiyon tepki kuvveti (N)
R_0	Balata ortalama yarıçapı (cm)
R_1	Balata iç yarıçapı (cm)
R_2	Balata dış yarıçapı (cm)
A	Balatanın alanı (mm^2)
D_h	Numune yoğunluğu (gr/cm^3)
G_k	Numune kuru ağırlığı
G_{dh}	48 saat su içerisinde bekletildikten sonra numune ağırlığı
G_{ds}	48 saat su içerisinde bekleme sonrası numunenin kaptaki ağırlığı

2. Kısaltmalar

TSE	Türk Standartları Enstitüsü
BS	Brinell Sertlik Değeri
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	Disk Fren Sistemi Şematik Görünüşü	5
Şekil 2.2	Fren Diskinde Sürtünme	7
Şekil 2.3	Kampanalı ve Disk Frenin Şematik Görünüşü	8
Şekil 2.4	Kuru Balatada Basınç ve Hızın Sürtünme Katsayısına Etkisi	11
Şekil 3.1	Fren Balatası Test Cihazının Şematik Görünüşü	33
Şekil 3.2	Deney Numunelerinin Üretim Şeması	49
Şekil 3.3	1" lik Balata Tutucu	51
Şekil 3.4	½ " lik Balata Tutucu	51
Şekil 3.5	Balatanın Takılma İşlemi	51
Şekil 4.1	Mermer ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Sürtünme Katsayısı-Zaman Değişimi	62
Şekil 4.2	Mermer ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Sıcaklık-Zaman Değişimi	62
Şekil 4.3	Mermer ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Ortalama Sürtünme Katsayısı	63
Şekil 4.4	Mermer ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Özgöl Aşınma Değişimi	64
Şekil 4.5	Mermer ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Sertlik Değişimi	65
Şekil 4.6	Barit ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Sürtünme Katsayısı-Zaman Değişimi	68
Şekil 4.7	Barit ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Sıcaklık-Zaman Değişimi	68
Şekil 4.8	Barit ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Ortalama Sürtünme Katsayısı	69
Şekil 4.9	Barit ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Özgöl Aşınma Değişimi	70
Şekil 4.10	Barit ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Sertlik Değişimi	71

RESİMLER DİZİNİ

		Sayfa No
Resim 3.1	Fren Balatası Test Cihazı	32
Resim 3.2	Fren Balatası Test Cihazı Kontrol Paneli	35
Resim 3.3	Bilgisayar Kontrol Paneli Grafik Göstergesi	36
Resim 3.4	Balata Test Cihazı Manuel Kontrol Paneli	36
Resim 3.5	Yük Hücresi	37
Resim 3.6	Devir Ayarlayıcı İnvertör	38
Resim 3.7	Sıcaklık Ölçme Cihazı	39
Resim 3.8	Elektrikli Isıtıcı	39
Resim 3.9	Hassas Terazı	40
Resim 3.10	Fren Diski Görünüşü	40
Resim 3.11	Test Cihazında Kullanılan Fren Pabuçları	41
Resim 3.12	Sertlik Ölçme Cihazı	42
Resim 3.13	Toz Karıştırma Mikseri	42
Resim 3.14	Arşimet Terazisi	43
Resim 3.15	Numunelerin Üretildiği Soğuk Presleme Kalıbı	46
Resim 3.16	Soğuk Pres ile İmal Edilen Balata Resimleri	46
Resim 3.17	Numunelerin Üretildiği Sıcak Presleme Kalıbı	47
Resim 3.18	Sıcak Pres İle İmal Edilen Balata Resimleri	48
Resim 4.1	Deney Esnasında Sürtünmeden Dolayı Fren Diskinde Meydana Gelen Durum	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1 TS 555'e Göre Balataların Sınıflandırılması	10
Çizelge 2.2 Mermer Tozunun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	22
Çizelge 2.3 Mermer Tozunun Kimyasal Özellikleri	23
Çizelge 2.4 Granit Tozunun Kimyasal Özellikleri	25
Çizelge 2.5 Granit Tozunun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	25
Çizelge 3.1 Ortak İçerik Olarak Belirlenen Katkı Maddelerinin Kütlesel Oranları	45
Çizelge 3.2 Mermer Tozu Kullanılan Numunelerin %'de Oranları	52
Çizelge 3.3 Barit Kullanılan Numunelerin %'de Oranları	52
Çizelge 4.1 MG Kodlu Numunelerin Özellikleri	64
Çizelge 4.2 BG Kodlu Numunelerin Özellikleri	70

1. GİRİŞ

Otomobil icat edilene kadar sürtünme malzemeleri ve sürtünme mekanizmaları konusunda çok az gelişme olmuştur. İlk otomobillerde çok farklı sürtünme malzemeleri (balatalar) kullanılmıştır. Uzun yıllar kullanılan asbest esaslı sürtünme malzemeleri sağlık gerekçesiyle asbest kullanımının yasaklanması sonucu yerini asbest içermeyen elyaf takviyeli kompozit balatalara bırakmaktadır (Bijwe, 1997, Mutlu, 2002).

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 (Milevski et al., 1987, Gopal et al., 1996, Robinson et al., 1992).

Aynı zamanda balataların bir süre hava ve yol şartlarında su, nem, yağ gibi yolların olumsuz etkileri ile karşı karşıya kalmaları, sürtünme özelliklerinin kısmen bozulmasına sebep olur. Uzun süreli çalışmalarda balata sürtünme yüzeyi ısının etkisi ile sertleşmekte ve parlaklaşmaktadır. Sert ve parlak yüzey (pürüzlülüğün azalması) sürtünen yüzeylerin birbiri üzerinde daha kolay kaymalarına sebep olmaktadır (Gemalman, 1984).

Fren performansının en önemli göstergesi, frenlemeden sonra sağlanan kısa durma mesafesidir. Bu maksimum yavaşlama ivmesi ile mümkündür. Yüksek frenleme kuvveti, sürtünen yüzeylerin önemli bir kısmını oluşturan balata kalitesi ile ilgilidir (Anderson,1987). Otomotiv ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan balataların kompozisyonlarında 15-20 adet farklı malzeme mevcuttur. Kaliteli bir balata üretebilmek için bu malzemelerin hangi oranlarda kullanılacağını belirlemek oldukça zordur (Gopal et al., 1996).

Asbest esaslı sürtünme malzemelerinin zararlı etkileri ve yüksek sıcaklıklara çok duyarlı olmaları; bilim adamlarını yüksek sıcaklıklarda daha dayanıklı ve insan sağlığını tehdit etmeyen malzemeler araştırmaya yöneltmiştir. Bu yüzden fren balata içeriklerinde büyük değişiklikler olmuştur (McLellan, 1988). Bazı ülkeler asbesti kaldırarak yerine

kullanılabilecek başka mineral arama çabasına girmişlerdir. Yine bu ülkeler, non-asbestos adı altında yeni balata malzemeleri üreterek, yeni ürünlerini piyasaya sunmuşlardır. Fakat bu ürünlerin maliyeti, normal asbestli balatalara göre üç dört kat fazla olmaktadır. Yeni geliştirilen bu ürünler konusunda bu firmalar çok hassas davranarak bilgi vermekten kaçınmaktadırlar (Rhee et al., 1991).

Balataların bünyesinde kullanılan, yurtdışından ithal edilmekte olan malzemelere büyük miktarda döviz ödenmektedir. Balata üretiminde kullanılan yeni malzemelerin Türkiye açısından önemi değerlendirilmiş, asbestsiz balata malzemelerinin polimerik kompozitler içerisinde, Türkiye ithalatında önemli bir yere sahip olduğu Devlet İstatistik Enstitüsü verilerinde görülmüştür (İnt.Kyn.2).

Halen üretilen balatalarda dolgu malzemesi olarak barit kullanılmaktadır. Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak kullanılan barite ilave olarak granit ve barit yerine mermer tozu ve granit farklı oranlarda kullanılarak fren performansına etkisi incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Otomobillerdeki Fren Sistemleri

Fren sistemi taşıtın en önemli sistemidir. Bir otomobilin en önemli emniyet özelliği fren sistemidir. Hareket enerjisini sürtünme yoluyla ısıya dönüştürerek hareketin durdurulması ya da kontrol altına alınmasını sağlayan sistemlere fren sistemi denir. Fren sisteminden, aracı değişik şartlar altında emniyetli bir şekilde durdurması istenir. Bu maksimum yavaşlama ivmesi ile mümkündür. Frenler enerji değişim araçlarıdır, kinetik enerjiyi (momentum), termal enerjiye (ısı) çevirirler. Fren sistemi; sürtünme malzemesi olarak balata, otomobillerde genellikle dökme demirden yapılan disk/kampana ve balatayı hidrolik/pnömatik olarak hareket ettirerek rotor yüzeyine bastıran sistemden oluşur (Bijwe, J., 1997).

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

2.1.1 Fren Sisteminin Parçaları

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

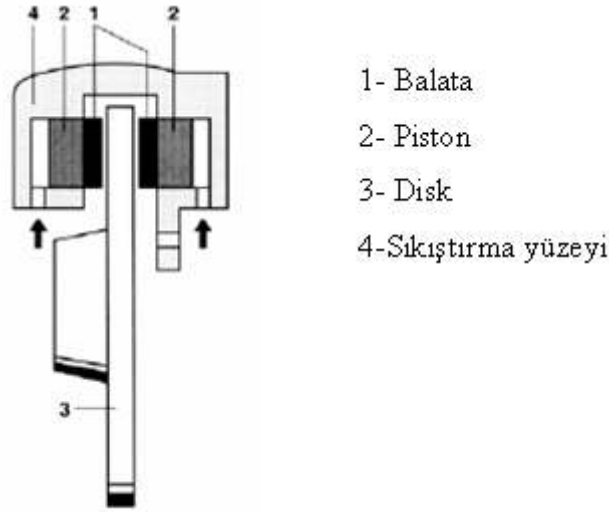
"Ön balatalar" ve "arka pabuç balatalar" ise fren silindirleri tarafından itilip, "ön fren disklerine" ya da "arka kampanalara" sürülerek meydana gelen sürtünme kuvvetiyle aracın yavaşlaması sağlanır.

Son yıllarda frenlerin tasarımı büyük değişikliğe uğramıştır. Yıllardır ön frenlerde kullanılan diskler, modern araçlarda arka kampanaların yerini almaya başlamıştır. Buradaki önemli etken basit tasarımları, hafiflikleri ve daha iyi performans sağlamaları olmuştur. Bunun sebebi ise tasarımları gereği kampanalara göre daha çabuk soğumaları ve böylece aşırı ısınma ortaya çıkaran zor fren şartlarında çok başarılı olmalarıdır. Çabuk soğumalarının sebebi ise havalandırma kanallarının olmasıdır. Kampanalarda ise havalandırma kanalları yoktur, eğer olsaydı içlerinde su toplanarak daha başka problemlere meydan verirdiler. Disk frenler ise tasarımları gereği suyu hemen savurup atarak daha iyi havalandırma sağlarlar (Stringham, 2001).

2.1.2 Disk Fren Sistemleri

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

Disk frenler süspansiyon elemanlarına tutturulmuş "kaliperlere" yerleştirilmiş fren balatalarının diskleri bir 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 2.1 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 frenler çalışmayabilir. Disk frenler daha iyi hava soğutması sağladıklarından performansları daha iyidir. Bazı disklerde ise performansı daha da arttırmak için hava kanalları da bulunabilir (Boz, 1999).

Diskli frenler oldukça verimlidirler ve aşırı ısınmadan doğan balata ile disk arasındaki sürtünme kayıplarına karşı dayanıklıdır. Aşırı ısınmalar, hem balatanın hem de kampananın sürtünme yüzeylerinde zamanla cam gibi bir parlaklık oluşturur ve frenleme etkisinde zayıflama meydana gelir.

Açık havada oldukça elverişlidir örneğin kuru veya yağışlı havada kolayca çalışmaları 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 kararlı olarak çalışmasını sağlar ve yüksek hızlardaki durmalarda tutukluk meydana gelmez.

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.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot M \cdot V^2 \quad (2.1)$$

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;

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot M \cdot (2V)^2 = \frac{1}{2} \cdot M \cdot 4V^2 = 2M \cdot V^2 \quad (2.2)$$

olur. Disk frenlerde sürtünme kuvveti

$$F = 2 \cdot \mu \cdot N \quad (2.3)$$

$$R_o = \frac{R_2 + R_1}{2} \quad (2.4)$$

$$T_B = 2 \cdot \mu \cdot N \cdot \frac{R_2 + R_1}{2} \quad (2.5)$$

$$T_B = 2 \cdot \mu \cdot N \cdot R_o \quad (2.6)$$

T_B = Frenleme torku (Nm)

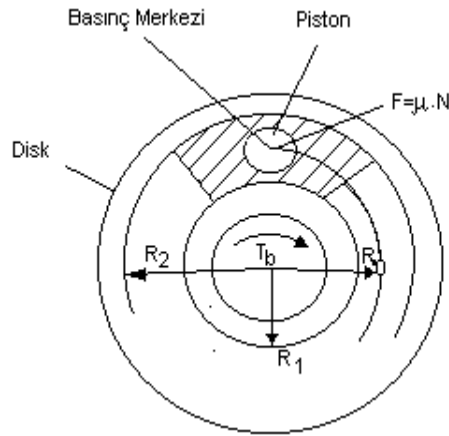
N = Normal reaksiyon tepki kuvveti (N)

μ = Sürtünme katsayısı

R_0 = Balata ortalama yarıçapı (cm)

R_1 = Balata iç yarıçapı (cm)

R_2 = Balata dış yarıçapı (cm)



Şekil 2.2 Fren Diskinde Sürtünme

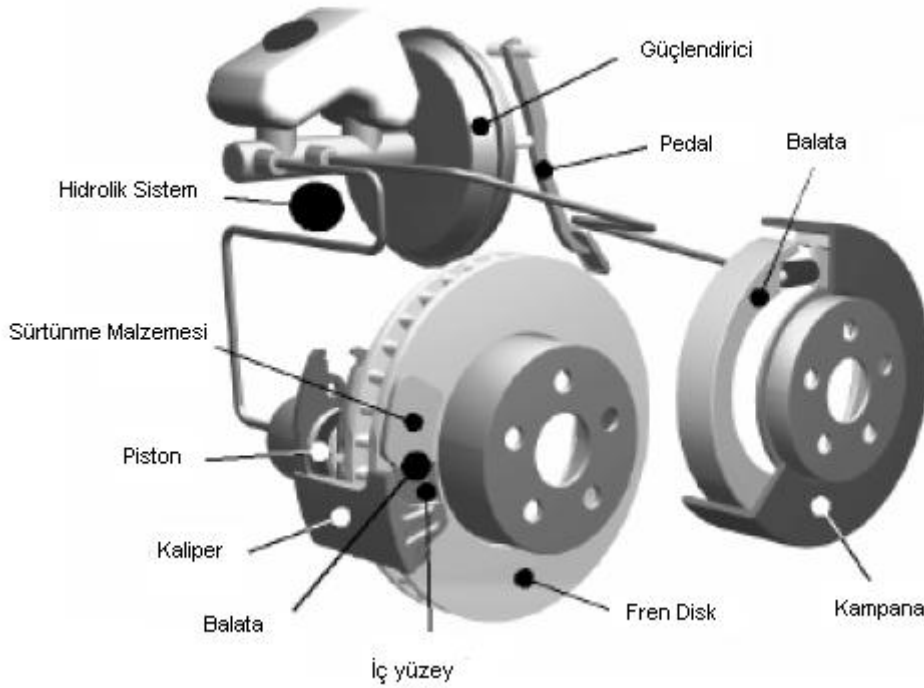
2.1.3 Kampana ve Disk Malzeme Özellikleri

Karşı malzemenin, sürtünme özellikleri ile verimli bir şekilde çalışabilmesi için, sistemin mekanik ve ısıl zorlamalarına karşı dayanıklı olması gerekir. Balata ve karşı malzemedeki (diskte) sürtünmeden dolayı kısa zamanda meydana gelen sıcaklık artışının, biran önce sistemden uzaklaştırılması istenir. Bunun için disk ve kampana malzemesinin yüksek ısı iletim katsayısına sahip olması gerekmektedir.

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 iletim kabiliyetine sahip olması istenir.

Disk ve kampana üretiminde perlitik yapıli 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 (Erşan, 1998).



Şekil 2.3 Kampanalı ve Disk Frenin Şematik Görünüşü

2.2 Fren Balataları ve Özellikleri

Balatalar, TS 555'e göre sürtünmeli frenler için uygulanan fren kuvvetinin, araçların tekerlekleri ile bağlantılı disk veya kampanalara sürtünme yolu ile aktarılmasını sağlayan elemanlar olarak tanımlanır (T.S.E. 1.baskı, 1992).

Balata, pabuç ile kampana/disk arasındaki sürtünme görevini üzerine alır, pabuca yapıştırma veya perçinleme usullerinden biriyle tutturularak, pabuca bağlı olarak çalışır (Reinsch, E. W., 1970).

Frenlerde sürtünmenin önemi bilinmektedir. Bu nedenle sürtünme gereçlerinin istenilen özelliklerde bulunmaları gerekir. Sürtünme gereci düşükten, çok yüksek sıcaklıklara kadar sürekli değişebilen çalışma sıcaklıklarında ve yüksek hızlarda çalışmaktadır. Fren balatalarında gereç ne olursa olsun yüksek bir sürtünme katsayısı, üzerine uygulanan frenleme kuvvetlerine karşı dayanıklılık, iyi aşınma direnci ve sürtünme yüzeyine iyi oturma ilk bakışta istenilen özellik olarak karşımıza çıkmaktadır (Anlaş, İ., 1988).

Bilindiği gibi sürtünme esnasında yüzeylerin pürüzlülüğü ve enerji absorpsiyonu sonucu meydana gelen sıcaklık, sürtünme katsayısını önemli ölçüde etkiler, ısınan malzeme de sürtünme katsayısının düşmesine neden olur ve sistem görev yapamaz hale gelir.

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°C, 350°C ve 400 °C sıcaklıklarda ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Soğuk sürtünme katsayısı, aşınma deneyi esnasında 100°C, 150°C 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 (direnc) oluşur.

Çizelge 2.1 TS 555'e göre Balataların Sınıflandırılması

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

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 (Ayar, 1991).

2.3 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 (Gemalman, 1986).

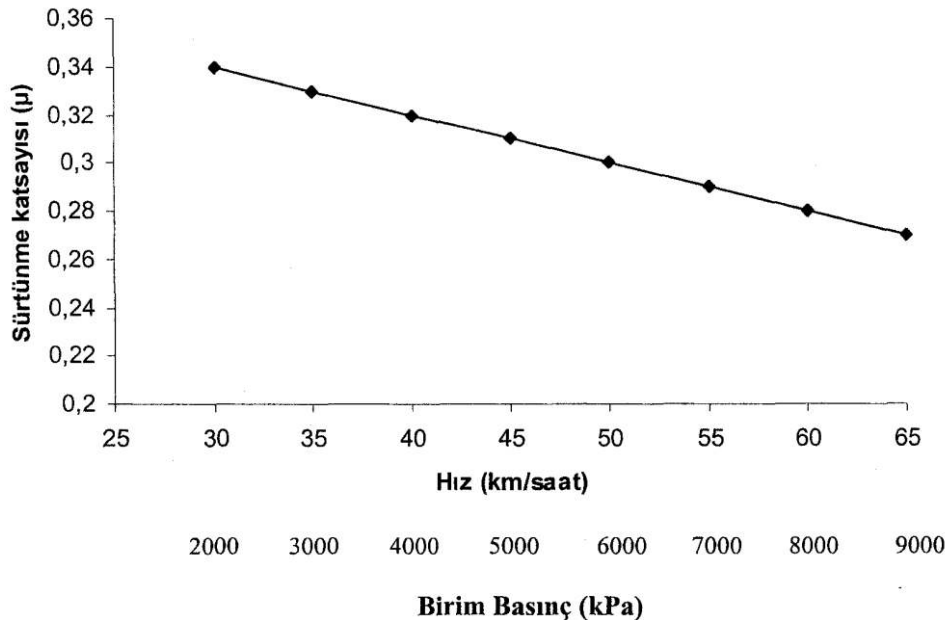
Fren balatalarından; zor çevre şartları altında güvenli kullanım ve rahatlık, yüksek mukavemet, sabit sürtünme katsayısı, düşük aşınma oranı, düşük ses ve anti-titreşim karakteristikleri gibi özellikler istenmektedir (Milevski, et. al., 1996).

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.

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 (Uygur, M. E., 1996, Fedorchesco, I. M., Kırıyachek, V. M., 1970).

Kuru balatalar, ıslak olanlara göre daha basit ve hafiftir. Şekil 2.4 de 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 2.4 Kuru Balatada Basınç ve Hızın Sürtünme Katsayısına Etkisi

Fren, balatalarının sürtünme ve aşınmasına bilimsel ve sınıfsal ayrım 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 (Anderson, 1992). 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 (Uygur, 1996).

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 (Demirsoy, 1973). Balata özellikleri olumsuz şartlardan etkilenmemelidir.

Literatürde balatalardan istenen özellikler aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Her çalışma şartlarında sabit sürtünme performansı,
- Sürtünme katsayısının sıcaklık, fren basıncı ve hızdan bağımsız olması veya sürtünme davranışındaki değişimin az olması,
- Yüksek sıcaklık direnci,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- İyi korozyon direnci,
- Yüksek mekanik mukavemet,
- Düşük gürültü seviyesi,
- Hava koşullarından etkilenmeme,
- Balata malzemesinin sağlığa zararsız olması,
- Yüksek aşınma mukavemeti ve karşı malzemede düşük aşınma istenmektedir.

2.4 Balata Oluşumunda Kullanılan Malzemeler ve Fonksiyonları

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 (Washabaugh, 1987).

İstenen özelliklerde bir balata üretilebilmesi için ana grup olarak takviye malzemeleri, bağlayıcı malzemeler, sürtünme ayarlayıcı malzemeler ve dolgu malzemeleri kullanılır (Bijwe, 1997). 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 (Dönmez, 2000).

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

2.4.1 Takviye Malzemeleri (Fiberler)

Takviye malzemesi balataya dayanım kazandırmak için katılır. Elyaf matris içinde her tarafa dağılarak balataya gerekli rijitliği, dayanımı ve bütünlüğü kazandırır. Bunun yanında balatanın sürtünme ve aşınma özelliklerini de etkilemektedir. Bu işlemde fren balataları için gerekli güç, sağlamlık ve rijitlik sağlamak amaçlanır. Üretimin kuru karışım tipi olması durumunda elyaf eğilme ve çekme dayanımına ilaveten ön şekillendirilmiş tabletin parçalanmasını önler, yüksek sıcaklıklarda kullanımda balataya kararlılık kazandırır.

2.4.1.1 Asbest

Asbest, doğal bir mineraldir. İşlendikten sonra elde edilen asbest elyaf yumağı görünüşündedir. Elastikiyeti yumuşak ipeksi görünümünden dolayı “mineral ailesinin ipeği” ismi verilmiştir.

Asbestin teknolojik değeri başlıca üç özelliğinden kaynaklanmaktadır. Ateşe dayanıklıdır, elektrik ve ısı yalıtımı yüksektir, lifli yapısından dolayı fenolik kompozitlerde çelik kafeslere benzer şekilde özel bağlayıcılık özelliği gösterir. Bu yüzden, başka malzemelere karıştırılan asbest ileri derecede dayanıklılık sağlayabilmektedir (Türk Sağlık Ajansı Yayınları 1,1991). Özgül ağırlığı $2,1-2,8 \text{ gr/cm}^3$ ve ergime noktası $1150-1550^\circ\text{C}$ dir (Sophie and Mason, 2002).

Asbeste maruz kalmakla asbestos corns, asbestosis, mesolheima, mide, gırtlak ve akciğer kanseri gibi hastalıklar gelişebilir (Baker, 1992, Berry, 1994). 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 malzeme araştırmaları hız kazanmıştır (Dönmez, 2000, Katalog,1993).

2.4.1.2 Cam Elyafı

Cam elyafı, eritilmiş cam karışımının basınçlı hava ile sıkıştırılması sonucu özel olarak yapılmış bölmelerden aşağı akıtılarak elde edilir (Welch, P.A. and A.F.,1953). Bu işlem sırasında erimiş cama, dolomit ve alümina katılarak istenilen fiziksel özelliklerde üretilen liflerin yoğunluğu $2,5-2,54 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir (Gemalmayan, 1984, Katalog, 1983).

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 (Gemalmayan, N., 1984).

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. Kevların doğal tokluğu, önemli

sayılabilecek kopma uzaması ve kolaylıkla eğilebilmesi (mineral ve suni inorganik elyafların gevreklik karakteristiğini önler) diğer önemli özellikleridir (Stocks et al., 1985). Ayrıca pullaşma ve karıştırma gibi yüksek kayma gerektiren işlemler sırasında uzunluğunu muhafaza etmektedir. Bu özellikler ürünün sürtünme aşamasında özelliktir.

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. Uzun elyaflar daha iyi takviye sağlarken kısa elyaflarda kalıplamada daha kolaylık sağlar. Uzun elyaflar ticari araçlarda disk balata uygulamalarında başarı ile kullanılmaktadır Korozyon dezavantajına rağmen yumuşak çelik elyaf daha kolay işlenebilir ve ucuz olması sayesinde tercih edilmektedir (Baker, 1992).

2.4.1.5 Taş Yünü

Taş yünü İzocam Ticaret ve Sanayi A.Ş. firması tarafından üretilmektedir. Taşyünü; bazal taşının öğütülüp toz haline getirilerek, çeşitli kimyasal maddeler ve geri dönüşümlü çöp maddelerinin bileşiminden oluşur. Taş yünü değişik boy elyaflardan oluşmakta, diğer malzemelerle birlikte karıştırıldığında parçalanarak içyapıya dağılmaktadır (Genel Ürün Kataloğu,1998).

Özellikleri itibariyle Basarit elyafına benzer. Sıcaklığa dayanıklı, ısı ve ses izolasyonuna uygun, korozyona dayanıklı bir malzemedir. Sıcağa ve rutubete maruz kalması halinde dahi, boyutlarında bir değişme olmaz. Zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve paslanmaya neden olmaz.

2.4.1.6 Basarit

Basarit (tescilli ticari marka) Deutsche Basaltsteinwolle GmbH firması tarafından balata imali için üretildiği bildirilmektedir. Asit çözeltileriyle kimyasal reaksiyona dayanımı orta, alkali çözeltilerle kimyasal reaksiyona dayanımı iyi, çözücülerle kimyasal

reaksiyona dayanımı çok iyi, sıcaklığa dayanıklı, ısı ve ses izolasyonuna uygun, korozyona dayanıklı, sert ve elastiktir Kimyasal analizi: %42-48 SiO₂, %9-14 Al₂O₃, %1-3 TiO₂, %11-14 Fe₂O₃, %10-14 MgO, %10-14 CaO, %2-4 Na₂O, %1-3 K₂O dir (Dönmez, 2000, Katalog 1,1998).

2.4.1.7 Fiberfrax

Fiberfrax (tescilli ticari marka) Carborundum Resistant Materials GmbH firması tarafından üretilmektedir (Katalog 2, 1998). 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. Çok yüksek sıcaklıklarda kararlı, çok düşük ısı genleşme katsayısı, düşük elektrik iletkenliği, mükemmel ısı şok dayanımı, iyi çekme dayanımı ve çok iyi korozyon dayanımına sahiptir. Takviye olarak fren balata karışımlarında oldukça yüksek sıcaklık (ısı feyd) dayanımı sağlar (Dönmez, A.,G., 2000). 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 gurubu mineraller silikat mineralleri olup pulsu yapıdadırlar. Mika, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip levhamsı, kompleks bileşimli hidroalüminyum silikat minerallerine verilen isimdir. Elektriksel, kimyasal ve sünme direncini ayrıca elastiklik modülünü ve sertliği artırır. Termoset reçineler için dolgu maddesi olarak geniş uygulama alanları bulur. Mika, ısı, çatlama ve rutubet dayanımını yükseltir. Sıvı reçine sistemi içerisinde dibe çökmeme özelliği vardır. Termal kondüktiviteyi, şekillenme süresini, termal genleşme katsayısını, nem apsorbsiyonunu düşürür (Othmer, K., 1967).

2.4.2 Bağlayıcı Malzemeler

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 (Vishwanath, et. al., 1993). 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 kullanışlıdır 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 (Gemalman, 1984).

Reçinelerde polimerizasyonun tamamlanarak sertleşmesine kürleşme denir. Kürleşme termoset bir reçinenin özelliklerinin geri dönülmez bir şekilde kimyasal bir reaksiyonla değişmesidir (Othmer, K.,1966). Kürleşme, kürleştirici maddelerin katılması sıcaklık ve basınçla veya sıcaklık ve basınç olmadan meydana gelir. Fenolik reçinelerin kürleşme şartları 232 °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°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda hacmine bağlı olarak belli bir süre fırında tutularak kürleşmenin tamamlanması sağlanır (Neiman, 1965). Son kürleme işlemi ısıl işlem olarak da adlandırılır ve dayanım özelliklerini iyileştirmek için uygulanır (Dönmez, 2000, Hao Ko and Sheng Ma, 1998).

2.4.3 Sürtünme Ayarlayıcı Malzemeler

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 (Bijwe, 1997, Dönmez, 2000).

Fren balatası üretiminde kullanılan bir katkı maddesi birden çok etkiye sahip olabilir. Sürtünme ayarlayıcı malzemeler aynı zamanda bir yağlayıcı olarak balataları kalıptan çıkarmaya da yardım etmektedir. Bununla birlikte dolgu maddesi ve temizleyici madde etkisi de yaparlar. Sürtünme ayarlayıcı olan yağlayıcıları kuru ve yağ yağlayıcı olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Grafit ve molibden disülfid yaygın olarak kullanılan kuru yağlayıcılardır. Kurşun ise önceleri yaygın olarak kullanılan yağ bir yağlayıcı olmasına rağmen son yıllarda çevreye etkisi ve sağlık riski nedeniyle kullanımından vazgeçilmiştir. Yağlayıcılar sürtünme yüzeyinde bir film oluşturarak sürtünme katsayısını azaltmaktadırlar.

2.4.3.1 Grafit Tozu

Sürtünme malzemelerinde önemli yer tutan grafit, şekilli karbonun bir dalıdır. Tek kristalden oluşan grafit pulcukları mükemmel uzama özelliğine sahiptir. Balatalarda sürtünme olayına etkisi büyük olan grafitin, yapısı nedeniyle yüzeylerde küçük kontak alanları oluşturmakta buna bağlı yüzeylerden yırtılmanın az olmasını sağlamakta ve makaslama değerinin düşük olması sonucu sürtünmenin azaltılmasında da büyük rolü olmaktadır (Gemalman, N., 1983).

Grafitin sürtünme katsayısı 0,1-0,15 civarındadır. Bu düşük sürtünme katsayısı grafitin tabakalı yapısına bağlanmıştır. Grafit seklindeki karbon ince tabakalardan oluşur. Tabakaların basma dayanımı yüksek olmasına rağmen birbiri üzerinde kolayca kayabilirler. Basmaya karşı yüksek dayanım temas alanının küçük olmasını sağlarken kolay kayma düşük bir tabakalar arası kayma dayanımı sağlar. Bu özelliğiyle balatalarda sürtünme ayarlayıcı olarak kullanılır. Yoğunluğu $2,1 \text{ gr/cm}^3$, ısıl iletkenliği 5.000 W/mK 'dir (Esin, A., 1981).

Grafit sıcaklık değişimlerinden de büyük ölçüde etkilenir, öyle ki sürtünme katsayısı oda sıcaklığında yaklaşık 0,45 iken 1500 °C'ye kadar olan sıcaklık artışlarında sürtünme katsayısı değeri giderek azalmakta ve 0,2 değerine düşmektedir. Bu değişime sebep olarak, yükselen sıcaklıklarda bireysel kristaller arasındaki bağın zayıflaması buna bağlı sürtünen yüzeyler arasında yırtılma dayanımının az olmasıdır (Bowden, F. P., and Tabor, D., 1994). Sürtünme malzemelerinde önemli yer tutan grafitin, balatalarda yüzde miktarı uygun değerlerde tutularak, sürtünme katsayısı dağılımının istenilen düzeyde olması sağlanır.

2.4.3.2 Bronz Tozu

Bileşimi ağırlıkça %80–83 Cu, %20–17 Sn olan bronzdan üretilmektedir. Bronz tozunun tane büyüklüğü kullanım amacına göre değişik ölçülerde olabilir. Yoğunluğu 8gr/cm³, ergime sıcaklığı 900°C, ısı iletim katsayısı 86,0–116,0 W/mK olarak verilmektedir (Kaya. F., 1983).

2.4.4 Dolgu Malzemeleri

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 (Ayar. H. H.,1991).

Dolgu malzemeleri, temelde maliyeti azaltmak ve üretilebilirliğini iyileştirmek için kullanılır. Dolgu maddeleri istenen sürtünme özelliklerini bozmadan balatayı geliştirmek, hacim doldurmak ve maliyeti düşürmek amacıyla katılır. Genellikle sürtünmeye etkisiz kabul edilirler fakat sürtünme ayarlayıcı bir madde de olabilirler. Dolgu maddesi olarak barit, kil veya kalsiyum karbonat gibi mineraller kullanılmaktadır. Doğal baryum sülfat yaygın bir dolgu maddesidir ve genellikle sürtünme katsayısına etkisiz kabul edilmektedir (Dönmez, 2000, Tanaka et. al., 1973).

Genelde ideal bir dolgu maddesinden istenen bazı özellikler aşağıda verilmiştir.

- Takviye edici özelliği olmalıdır.
- Kalıcı olmalıdır. Yani, su ve diğer sıvılardan etkilenmemelidir.
- Kararlı olmalıdır. Yani, polimer stabilitesini bozmamalıdır, polimerlerle temas eden kimyasal maddelerin ışığın ve ısının etkisiyle çözünmemeli, düşük yağ ve su absorpsiyonuna sahip olmamalıdır.
- Mekanik özellikleri iyileştirmelidir. Abrasif aşınma direncini artırma, boyutsal stabiliteyi artırma, alevlenmeye karşı direnci artırmalıdır.
- Maliyeti düşürmelidir (Ayar. H. H 1991).

2.4.4.1. Barit

Barit minerali (BaSO_4) baryum (Ba) elementinin ve bileşiklerinin ana kaynağını teşkil eder. BaSO_4 (barit) miktarı azaltıldığında yüksek sıcaklıklarda dahi sürtünme katsayısı kararlılığını koruduğu, ancak aşınma oranının önemli derecede arttığı gözlenmiştir. Alternatifi olarak CaCO_3 kullanılır. Daha ucuzdur, ancak yüksek sıcaklıklarda dayanıksızdır (Nicholson, G. 1995). Özgül ağırlığı $4,5 \text{ gr/cm}^3$, erime noktası 1580°C ve sertliği 2,5-3,5, renksiz, beyaz, bazen sarı ve gri olup, sürtünme malzemelerinde barit daha dengeli olduğundan dolayı %50-55 kullanılmaktadır (Gemalmayan, N., 1986).

2.4.4.2 Alçı

Alçı taşı tabiatta mineraller halinde bulunur. Bu mineral genellikle şist, kireç taşı ve dolomit ile birlikte bulunur. Çoğunlukla beyaz, gri, sarı ve pembe renklerde karışım halinde bulunan masif alçı taşı yumuşak bir yapıya sahiptir (Alçı Teknolojisi 1978). Kimyasal olarak %93,8 CaSO_4 , %6,2 H_2O 'dan oluşmaktadır. Su katıldığında $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ olarak sertleşmektedir. Yoğunluğu $1,23 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Alçının ortalama tane büyüklüğü $167 \mu\text{m}$ 'dur (Çavuşoğlu, E., N., 1989, Lavrence, A, R., 1975). Alçı $0-50^\circ\text{C}$ ısıtıldığında bir miktar genişir, sıcaklık arttıkça bünyeden su kaybı başlar ve hacimde küçülme gösterir (Alçı Teknolojisi, 1978).

2.4.4.3 Talk

Talk formülü $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ olan bir magnezyum silikat mineralidir. Talkın ortalama tane büyüklüğü 102 μm , yoğunluğu 2,7 gr/cm^3 , yanma kaybı % 7,05–7,3 özgül ısı 0,870 KJ/kg, sertlik 1-2 Mohs, tipik kimyasal analizi; %42-54 SiO_2 , %7-25 Al_2O_3 , %0,94-1,25 Fe_2O_3 , %0,2-15 CaO , %23-32 MgO , olarak verilmektedir. Kâğıtta, lastiklerde, kozmetiklerde vb. dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Kaya. F., 1983).

2.4.4.4 Kizelgur (Diatomit)

Kieselguhr “Diatomit” diye de bilinen sedimanter kayalara verilen isimdir. Diatomit minerali tatlı veya tuzlu göl sularında yaşayan diatome adı verilen mikroskobik canlıların fosilleşmiş silisli kabuklarından oluşmuştur. Yurdumuzda, Kütahya Alayunt’da bulunur. Kimyasal bileşimi %86,16 SiO_2 , %3,5 Al_2O_3 , %1,43 Fe_2O_3 , kalan Na_2O , K_2O , CaO , MgO , TiO_2 ’den oluşur (Mete, Z., 1985). Beyaz renkli, yoğunluk 2,1–2,2 gr/cm^3 , ergime noktası ~1590 °C’dir (Akkurt, S., 1991).

2.4.4.5 Kil

Kil, püskürük kayalar içerisinde veya saf halde bulunan feldspatların zamanla karbonik asit’in etkisiyle çözülüp değişmesinden oluşur. Esas maddesi, içerisinde su bulunan silikattır. Doğadaki killerin çoğunun içinde kalker, mika ve daha birçok maden oksitleri bulunur (Ekmekyapar, T., Örüng, İ., 1997). Genellikle 0,002 mm den daha küçük tanelidir. Kili meydana getiren sulu SiO_2 ve Al_2O_3 olarak isimlendirilen bu maddeler, tabakalar meydana getirerek birleşirler ve kil minerallerini meydana getirirler (Süme, V., Güner, M. S., 1999, Tekinel, O. ve Ark., 1999).

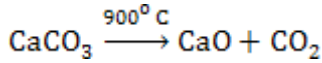
2.4.4.6 Mermer Tozu

Mermerin bilimsel olarak tanımı; kireç taşlarının ($CaCO_3$) zamanla doğada meydana gelen ısı ve basınç (metamorfizma) etkisi ile kristalize olmuş bileşiminde en az %95 $CaCO_3$ bulunan, genellikle yoğunluğu 2550-2800 kg/m^3 arasında değişebilen, içerisinde

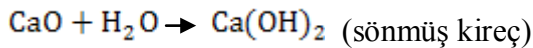
az miktarda kuvars, grafit, hematit, limonit, pirit, mika, klorit gibi mermere değişik renkler ve damarlı bir görünüm kazandıran mineraller bulunur. Kimyasal bileşimlerinde büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranlarda silisyum dioksit, ayrıca pigment olarak da değişik metal oksitleri bulunmaktadır.

Sertlik mermerlerin aşınmaya karşı gösterdiği dirençtir Mermerindeki minerallerin sertliği mermerin sertliğini belirler. Bir mineralin sertliği o minerale dıştan gelen bir etkiye karşı göstermiş olduğu dirençtir. Tane boyut dağılımının genelde ince, sınırlarının ise grift olması mermerin sertliğini artırmaktadır (Kun, N.,2000, Önenç, D., 1998). Mohs sertlik ölçeğine göre kalsitin sertliği 3,0 ve dolomitin sertliği 3,5-4 tür. Mermerlerde dolomit oranı arttıkça sertlik derecesi artar. Mermer sertliği; mineralojik bileşimi yanında yapısına dokusuna gözenekliliğine yapısındaki yabancı madde türü ve miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Mermer tozu 900°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda kalsinasyona uğrar yani bünyedeki nemi ve karbondioksit gibi uçucu maddelerini bünyeden uzaklaştırır. Kalsiyum karbonat sönmemiş kirece dönüşür.



Bu reaksiyon sonucu CaO genişler bünyedeki CO₂ ile birlikte yaklaşık %54 ağırlık kaybına uğrar. Böylece mevcut kalan CaO (sönmemiş kireç) reaksiyonun devamında havanın neminden etkilenecek aşağıdaki reaksiyon gelişir.



Çizelge 2.2 Mermer Tozunun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri (Kun, N., 2000).

Sertlik	3-4
Birim Hacim Ağırlığı	2,70 gr/cm ³
Özgül Ağırlığı	2,73 gr/cm ³
Basınç Direnci	1,12 kgf/cm ²
Darbe Direnci	13,18 kgf-cm/cm ³
Eğilme Direnci	225 kgf/cm ²
Doluluk Oranı	98,90 %
Gözeneklilik Derecesi	1,10 %
Çekme Direnci	68 kgf/cm ²

Çizelge 2.3 Mermer Tozunun Kimyasal Özellikleri (Kun, N., 2000).

Bileşik Adı	Mermer Tozundaki Oranı (%)
SiO ₃	4,67
Al ₂ O ₃	-
Fe ₂ O ₃	0,03
CaO	51,8
MgO	0,4
Kızdırma Kaybı	41,16

2.4.4.6.1 Mermer Tozunun Üretim Yöntemi

Günümüzde mermer tozu, çeşitli sanayi dallarında katkı ve dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Mermer tozu gereksinimi çoğu zaman ocaklardan patlatma yöntemiyle özel olarak elde edilen moloz büyüklüğündeki mermer parçalarının kırılıp öğütülmesiyle veya mermerin kesimi ve makine ile işlenmesi sırasında açığa çıkan kristal haldeki atıktır. Toz atıkların tane boyut dağılımları ise balata dolgu malzemesi üretiminde kullanılabilecek ideal kalsitin tane boyut dağılımına tam olarak uymamakla birlikte, eleme-öğütme işlemi sonucunda uygun boyutlu malzeme elde etmek mümkün görünmektedir.

Mermer günümüzde özellikle mermer tozu olarak çeşitli sanayi dallarında katkı veya dolgu maddesi olarak ya da ana hammadde olarak kullanılmaktadır. Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan ve büyük çoğunluğu da 300 mikronun altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminde su kullanılması nedeniyle suyla birlikte çöktirme havuzlarına taşınır. Mermer atıkları ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda, mermer tozu tane boyutlarının tamamına yakın bir kısmının tane boyutunun uygun olduğu görülmüştür.

2.4.4.6.2 Endüstriyel Mermer Atıklarının Ekonomiye Kazandırılması

Mermercilik faaliyetleri devam ettiği sürece bu artıkların çoğalması ve çevre açısından olumsuz görüntü kirliliği oluşturması da kaçınılmaz bir gerçektir. Bu mermer artıklarının endüstrinin her hangi bir kolunda değerlendirilmesinin araştırılması, değişik sektörlerde hammadde veya katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin etüdü, mermercilik sektörü ve çevre açısından faydalı olacaktır. Literatür bilgilerinde ve dünyadaki bazı uygulamalarda gerek mermer tozlarının gerekse mermer toz atıklarının seramik, çimento, boya, cam, yapı malzemesi gibi birçok sektörde değerlendirilme çalışması olmakla birlikte, ülkemizde bu konuya yönelik yaygın uygulamalara rastlanmamaktadır.

Ülkemizde işlenen mermerlerin yaklaşık %30'u üretim artığı olarak ortaya çıkmaktadır. Birinci ürün, iri boyutlu parça mermer atıkları, ikinci ürün ise koloidal yapıda büyük miktarı 150 mikronun altında olan maksimum parça boyutu 2 mm ye ulaşabilen kesim toz atığı olmaktadır. Yılda yaklaşık 2.800.000 ton mermer bloğu işlendiği düşünülürse, 660.000 ton mermer tozunun değerlendirilmeden ayrıldığı söylenebilir (Ceylan H, Saraç, S., Özkahraman, T.). Afyon Bölgesindeki işletmelerde mermer blok ve plakalarının kesilmesi ve parlatılması sırasında ortaya çıkan mermer tozu miktarı kabaca bir tahminle yılda minimum 125.000 - 150.000 ton civarındadır.

Mermer sektörünün en önemli sorunlarından birisi mermerin kesilmesi sırasında açığa çıkan çok küçük boyuttaki toz artıklarıdır. Kesme işlemi sırasında oluşan bu toz artıklar su ile ortamdan uzaklaştırılır (Kun, 2000). İscehisar-Afyon bölgesinde bulunan ocaklardan ve işleme tesislerinden yılda toplam 340.000 ton mermer artığı açığa çıktığı tahmin edilmektedir (Sabah ve Çelik, 2001).

Bunların değerlendirme alanları farklılık göstermektedir. İri boyutlu parça atıklar, inşaat sektöründe yapı elemanı olarak kullanılabilirken, toz atıklar ise doğrudan farklı endüstri dallarında kullanılabilme imkânı bulmaktadır. Toz mermer atığının değerlendirilebildiği alanlar:

- Çimento üretimi,

- Kireç üretiminde,
- Kâğıt üretiminde,
- Sıva katkı malzemesi,
- Kalsine dolomit üretimi,
- Cam üretiminde,
- Baca gazından kükürdün gideriminde,

2.4.4.7 Granit

Granitin hemen hemen tamamı feldspat, kuvars ve mika olmak üzere üç mineralden oluşmuştur. Diğer yandan kristalin yapısı ve bileşimindeki mineraller dikkate alındığında ortalama sertliği normal mermerin iki katıdır. Bu nedenle de dış etkenlere ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Sert mermer grubu içinde yer alırlar. Atmosferik koşullardan, dondan ve ısı farklarından etkilenmez. Darbelere karşı dayanıklıdır. Dayanım süresi diğer bütün doğal taşlardan fazladır.

Çizelge 2.4 Granit Tozunun Kimyasal Özellikleri (İnt.Kyn.3).

Bileşik Adı	Granit Tozundaki Oranı (%)
SiO ₂	64-76
Al ₂ O ₃	8-16,5
Na ₂ O ₃	2,6-6,5
K ₂ O	2,7-6,5
CaO	0,1-3

Çizelge 2.5 Granit Tozunun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri (İnt.Kyn.3).

Sertlik (Mohs)	7
Özgül Ağırlığı(gr/cm ³)	2,73
Basınç Direnci(kgf/cm ²)	890
Darbe Direnci(kgf/cm ²)	11
Eğilme Direnci (kgf/cm ²)	90
Ortalama Aşınma (mm)	13,4
Aşınma Mukavemeti(kg)cm)	1600-3300

2.4.5 Temizleyiciler

Temizleyiciler; balata bileşimine karşı malzemeye yapışıp katılaşmış olan bağlayıcıların kazınıp sökülmesi amacıyla katılmaktadır. Bazı balata malzemeleri kendi kendine temizleyicidir. Temizleyiciye ihtiyaç duyulan bazı bileşim ve kullanım şartlarında pirinç tozu, bronz tozu, çinko tozu gibi metalik malzemeler kullanılmaktadır (Dong et al., 1996).

2.4.6 Renklendiriciler

Sürtünme malzemelerinde, malzemenin dış görünüş rengini değiştirerek göze daha iyi görünebilmesi ve konstrüksiyonda uyum sağlaması açısından renk verici maddeler kullanılır (Yamashita et al., 1993). Siyah demir oksit (Fe_3O_4), sarı demir oksit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), kırmızı demir oksit (Fe_2O_3) ve karbon siyahı sıkça kullanılan renk vericilerdir (Dong et al., 1996).

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 (Anderson, 1992).

2.5 Literatür Özeti

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

Otomotiv frenlerinde, sürtünme üzerine yapılan bir çalışma, sürtünme sisteminin önemi ve sürtünme noktalarının modifikasyonu üzerine yapılacak çalışmalara ilham verir (Crolla and Long, 1991). Sürtünme malzemelerinde asbestin etkilerini sağlayacak yeni malzeme geliştirmek için büyük bir efor harcanmaktadır (Gopal et al., 1996). Sürtünme malzemelerinde frenlemenin farklı çalışma şartlarında düzgün sürtünme kuvvetini korumada kararlılık ve iyi aşınma direnci gibi etkenler dikkate alınır. Ayrıca sürtünme malzemesinin sürtünme iç yüzeyinde güvenilir sürtünme filmi şekillendirmesi ve gri dökme demir diskle iyi bir uyum içinde olması istenir (Witaker and Wirth, 1992, Jacko et al., 1989, Rhee et al., 1991).

Bir otomotiv fren sistemi için sürtünme elemanı kompozit malzemelerin en önemlilerinden birisidir ve genel olarak 10'dan fazla malzemedan oluşur (McLellan, 1988, Anderson, 1992). Fren balatasının sürtünme katsayısının stabilitesi ve aşınma direnci için en iyi üretim parametrelerinin bulunması amacıyla 15 farklı malzeme içeren fren balatası üretilmiştir. Parametre düzenlemesine göre 16 farklı şartlarda üretilen fren balataları fiziksel ve tribolojik özellikler için test edilmiş ve bu çalışmanın sonucu fren balatasındaki sürtünme performansı ve fiziksel özellikleri arasında hiç bir ilgi olmadığını göstermiştir. Üstelik ağır araçlarda kullanılan dört ticari otomotiv balatasının fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Konu ile ilgili fiziksel özellikler, yoğunluk, su emme, kabarma gibi özellikler standart test metodu kullanılarak yapılmış ve sonuçlar karşılaştırıldığında dört farklı sürtünme malzemesinin de matris olarak fenol formaldehit reçine içerdiği belirlenmiştir (Morshed, 2004).

Disk fren balataları için yüksek performanslı asbestsiz sürtünme malzemesinde tane yapı kontrolü üzerine yapılan çalışmalarda yeni geliştirilen sürtünme malzemelerinin temelde yeni bir kavramla üretildiği belirtilmiştir. Bu üretilen malzemelerde balata ile disk sürtünme ara yüzeyinde balata gözeneklerinden gazlar geçirilerek deneyler yapılmıştır. Frenleme zayıflamasını azaltmak için taneler arasındaki gözenek büyüklüğü kıyaslanarak değerlendirilmiştir (Yamashita et al., 1993).

Asbest elyaf takviyeli numuneler kullanarak bir dizi deneyler yapılmıştır. Numunelerde bağlayıcı reçine, demir tozu, asbest, grafit, bakır, alüminyum silika vd. kullanılmıştır.

Deneyler dinamometre ve sürekli aşınma deneyleri şeklinde yapılmıştır. Bütün numunelerde artan ilk hızla ortalama sürtünme katsayısının azaldığı, frenleme süresinin arttığı görülmüştür. Yüzey basıncı arttıkça frenleme süresi kısalmaktadır. Deneme aralığı (0,1-0,4 MPa basınç aralığı) sürekli aşınma deneylerinde artan yüzey basıncıyla sürtünme katsayısında önce biraz artma daha sonra düşme olduğu görülmüştür. Artan kayma hızıyla sürtünme katsayısında bir düşme olmaktadır (Yamaguchi, 1990).

Hando ve Kato, otomotiv fren balatasında kullanılmak amacıyla bakır tozu, barit, Al_2O_3 , Cashew dust ve grafitin kullanıldığı üç grup kompozit incelemiştir. Kompozitlerin tribolojik değerlendirilmesi pim-disk tipi deney düzeneği kullanılarak iki farklı şartta yapılmıştır. Birinci grup deneyler düz yolda hafif frenleme şartlarında, ikinci grup ise uzun bayır aşağı iniş şartlarında (ağır frenleme) şartlarında yapılmıştır. Her bileşenin etkisini incelemek için birinin oranını artırıp diğerini azaltarak yapılan deneylerde aşınma oranı ve fren zayıflama dayanımları incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri tekrarlı kaymaların sonucu aşınan yüzeylerden bir tabaka koparak ayrılmış, bu olay yüzey pürüzlülüğünü ve aşınmayı artırmıştır. Elde edilen değerlerle fenolik kompozitlerin sürtünme performansı önceki çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Fiberler kompozitlerin maliyetini artırmaktadır. Bu yüzden çalışmada hiçbir fiber kullanılmamıştır (Handa and Kato, 1996).

Yamashita ve arkadaşları, disk fren balataları için yüksek performanslı asbestsiz sürtünme malzemesinde tane yapı kontrolü üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda yeni geliştirilen sürtünme malzemelerinin temelde yeni bir kavramla üretildiği belirtilmiştir. Bu üretilen malzemelerde balata ile disk sürtünme ara yüzeyinde balata gözeneklerinden gazlar geçirilerek deneyler yapılmıştır. Frenleme zayıflamasını azaltmak için taneler arasındaki gözenek büyüklüğü kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Bu yeni balatanın asbest gibi güçlendirici elyaf içermediği, frenleme sırasında termal stabilite sağlandığı hem aşınma direncinde hem de fren ses seviyesi ve fren zayıflama direncinde yüksek performans gösterdiği belirtilmiştir (Yamashita et al., 1993).

Ayrıca birçok içeriğin sürtünme performansında önemli rol oynadığı bilinmektedir. İstisnai olarak sürtünme ayarlayıcısı, aşındırıcı, katı yağlayıcı ve diğer ilaveler sürtünme performansının şekillenmesinde temel rol ve davranışlarında bir dereceye kadar etkili olduğu bildirilmiştir (Wirth et al., 1990).

Mutlu ve arkadaşları, bakır tozu içerikli borik asit katkılı ve katkısız fren balatası komponenti oluşturarak bir kısım deneyler yapmışlardır. Borik asit katkılı ve katkısız üretilen numunelerin sürtünme katsayısı (μ), aşınma direnci ve belirli yük ve zamanlarda ısınma özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalımsalar, asbestsiz otomotiv fren balatası gelişiminde aşınmaya karşı direnç oluşturmada, sürtünme katsayısının düzgünleşmesinde bakır tozu ile birlikte borik asitin kullanılabileceğini göstermiştir (Mutlu, İ., ve Ark., 2002).

Loken, wollastonit, BaSO_4 , maun cevizi tozu, toz fenolik reçine sabit bileşiminde değişik boyut ve şekillerde kevlar ile takviye edilmiş kompozit numuneler hazırlamıştır. Elyaf şekli ve üretim parametreleri mekanik özellikleri etkilemekle birlikte sürtünme ve aşınma özelliklerini önemli ölçüde etkilememiştir. Karşılaştırmalı çalışmalar kevlar'ın asbestin yerini alacak çok iyi bir alternatif olduğunu göstermiştir (Bijwe, 1997).

Rhee, demir tozu ve grafit dolgulu fenolik reçinenin sürtünme özelliklerinin yük, hız ve sıcaklığa bağımlılığını araştırmıştır. Fren zayıflamasında yük zayıflaması, hız zayıflaması ve sıcaklık zayıflaması olarak üç mekanizmanın etkili olduğunu görmüştür. Sabit kayma hızında balata basıncını artırmakla sürtünme kuvvetinin doğrusal olarak artmadığını, sabit basınçta kayma hızını artırmakla sürtünme kuvvetinin azaldığını tespit etmiştir. Bu nedenle sürtünme katsayısının sabit değil normal kuvvet, kayma hızı ve ara yüzey sıcaklığına bağlı olabileceği sonucuna varılmıştır. Sürtünme katsayısının sabit olmadığını, sabit sıcaklık ve sabit kayma hızında artan basınçla azaldığı, sabit basınçta ise artan hızla azaldığını tespit etmiştir. Ayrıca sürtünme katsayısının sıcaklığa bağlı olduğu sonucuna varmıştır (Rhee, 1971).

Mutlu ve arkadaşları, borik asidin fren balata özelliklerine etkisi üzerine araştırma yapmıştır. Çalışmasında disk balataları üzerinde 50°C den 400°C ye kadar sıcaklıkta ve

1050-3000 kPa basınçlar altında aşınma ve sürtünme katsayısı testleri yapmış, disk malzemesi olarak dökme demir kullanmıştır. SEM çalışmasına ilave olarak balatanın su, tuzlu su, fren sıvısı ve motor yağına olan tepkilerini belirlemek için yapmıştır. Balata numuneleri imalat sırasında ısıtılma işleminden geçirilmiştir. Bu nedenle balataların sertlikleri artmış, yoğunlukları azalmış, aşınmaya karşı dayanımları artmıştır. Aynı zamanda borik asit içeren balatalar çevre ortamlarından daha az etkilenmektedir. Borik asit içermeyen numunelerde ise ısıtılma işlem sonucunda aşınma direncine negatif yönde etki yapmış borik asit içeren numunelerde ise aşınma direnci artmaktadır (Mutlu ve Öner., 2005).

Otomotiv frenlerinde sürtünme temasına, yüksek hızda kuru sürtünme ve yüksek temas kuvveti dahildir. Genellikle organik bağlayıcılı fren balatası sürtünme malzemesi tipleri yeterli homojen değildir ve çok düşük hacimsel dayanıklılık sergiler. Düşük dayanıma rağmen özel temas yüzeylerinin kullanımı çok iyi aşınma ve sürtünme karakteristiği vermiştir. Dökme demir disklere karşı organik bağlayıcılı sürtünme malzemelerinin temas şartları, temas yüzeyi çeşitliliği ve bir çok mekanizmadaki özellik ile sürtünme katsayısının çeşitliliği benzerdir (Erikson et al., 2002).

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

2.6 Amaç ve Kapsam

Bir balatadan beklenen asgari sürtünme ve aşınma değerlerini sağlaması, insan sağlığı ve çevre için zararlı olmaması, aynı zamanda ekonomik olması ve ülke ekonomisine katkıda bulunması beklenmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmada, balata komponentini oluşturan malzemelerden barit (dolgu malzemesi) yerine yurtiçinden temin edilebilen mermer tozu katkılı fren balatası üretilmiştir. Yurtdışına bağımlılığın azaltılmasının hedeflenerek ülke ekonomisine katkı sağlanacağı ve endüstriyel atık malzeme olarak

mermer tozlarının endüstriyel hammadde olan baritin yerine dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Balata özelliklerini iyileştirmek amacıyla mermer tozu eleme temizleme gibi gerekli fiziksel işlemlere tabii tutulduktan sonra komponent içerisine katılmıştır. En elverişli oranın belirlenmesi amacıyla farklı oranlarda kullanılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Deney Düzenekinin Tanıtılması

Deneylerin TS 555 ve TS 9076’da belirtilen şartlara uygun olarak yapılabilmesi için tasarlanan sürtünme katsayısı test cihazı, taşıtların disk frenlerinde kullanılan balataların sürtünme katsayısını etkileyecek farklı devir, sıcaklık, basınç gibi faktörleri oluşturarak sürtünme katsayısını tespit edebilmektedir. Fren balatası test cihazı ile sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı-zaman, sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturmak mümkündür.



Resim 3.1 Fren Balatası Test Cihazı

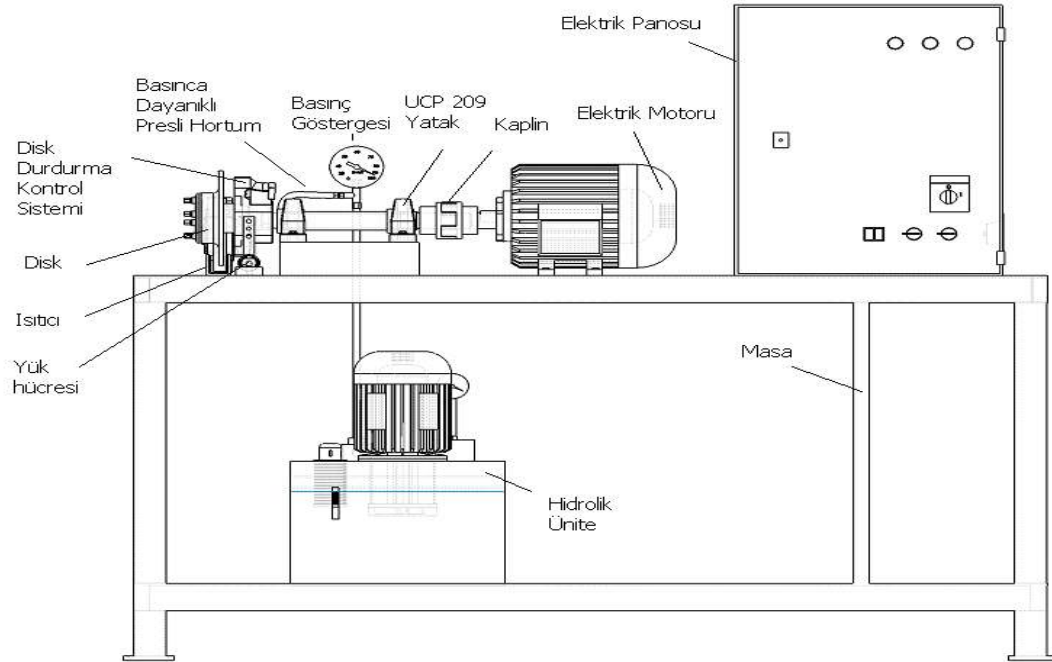
Test cihazının üzerinde taşıt fren sisteminin mekanik kısmı bulunmaktadır. Mekanik sistemde disk, diskin hareketini sağlamak için elektrik motoru, kaliper, kaliperde fren balatalarının yerleştirileceği balata sacı kullanılmıştır. Söz konusu test cihazının mekanik sistemi test cihazını oluşturan tezgâh üzerinde bulunmaktadır.

Sistemde frenleme sağlanabilmesi için balata üzerinde oluşacak olan pedal kuvvetini oluşturan basınç hidrolik sistemle sağlanmaktadır. Hidrolik sistem tezgâhın alt kısmına

yerleştirilmiştir. Resim 3.1’de görülmekte olan sürtünme katsayısı test cihazında disk döndürmek için 5,5 Kw gücünde 1400 1/d trifaze elektrik motoru bulunmaktadır. Elektrik motorundan elde edilen hareketin iletilmesi için transmisyon vardır.

Sistemde bulunan hidrolik ünite sayesinde fren diskine istenilen değerlerde basınç uygulanabilmektedir. Deneyler esnasında basınç düzensizliğini önlemek ve basıncı istenilen değerde sabit tutmak için piston ile hidrolik motor arasına basınç kontrol valfi yerleştirilmiştir. Kontrol paneli göstergesindeki girilen basınç değerleri ile hidrolik ünite kapalı sistem çalışarak balata takılı fren pabuçlarını diske doğru itmektedir.

Disk dönmeye başladığında disk ile pabuçlar 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. Pabuçlara takılı numune balatalar disk ile birlikte dairesel olarak dönmek isteyecektir.



Şekil 3.1 Fren Balatası Test Cihazının Şematik Görünüşü

Numune balata ile diskin bu dairesel dönme hareketi, yük kolunun ucuna yerleştirilmiş olan bir mil ile yük hücresinin yük algılama ucundan algılanan değerler fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneline aktarılmaktadır. Böylece dönme sırasında balata ile fren diski arasındaki sürtünme kuvveti F_s değeri elde edilmiş olmaktadır. Fren balatası test cihazının sematik görünüşü Şekil 3.1' de gösterilmiştir.

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. 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. Numune fren balatasını istenilen sıcaklığa ulaştırabilmek için diskin altına 0,5Kw'lık 2 adet rezistans diskin alt tarafına 0,5 cm kadar mesafe ile yerleştirilmiştir. Isıtılan diskin sıcaklığı infrared termometre ile saniyede bir değer ölçülerek RS232 veri aktarma yolu ile bilgisayara atılabilmektedir (Timur, 2007). Farklı yüzey basınçlarında yük hücresi ekranından okunan değer ve moment kolu dikkate alınarak program tarafından otomatik olarak belirlenen sürtünme katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{F_s \cdot 1,21}{F} \quad (3.1)$$

$$F = P \cdot A \quad (3.2)$$

Burada;

μ = Sürtünme katsayısı

F = Uygulanan kuvveti (kg)

F_s = Sürtünme kuvveti (Yük hücresinden okunan kuvvet (kg)

P = Basınç (kg/mm²)

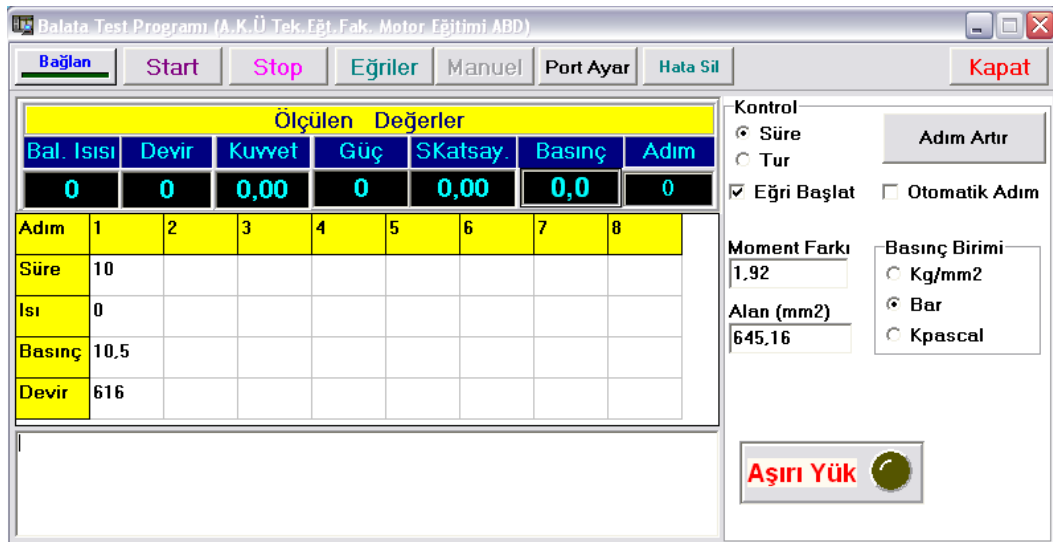
1,21= Cihaz sabiti

A = Balata alanı (mm²)

3.1.1. Bilgisayar Programı

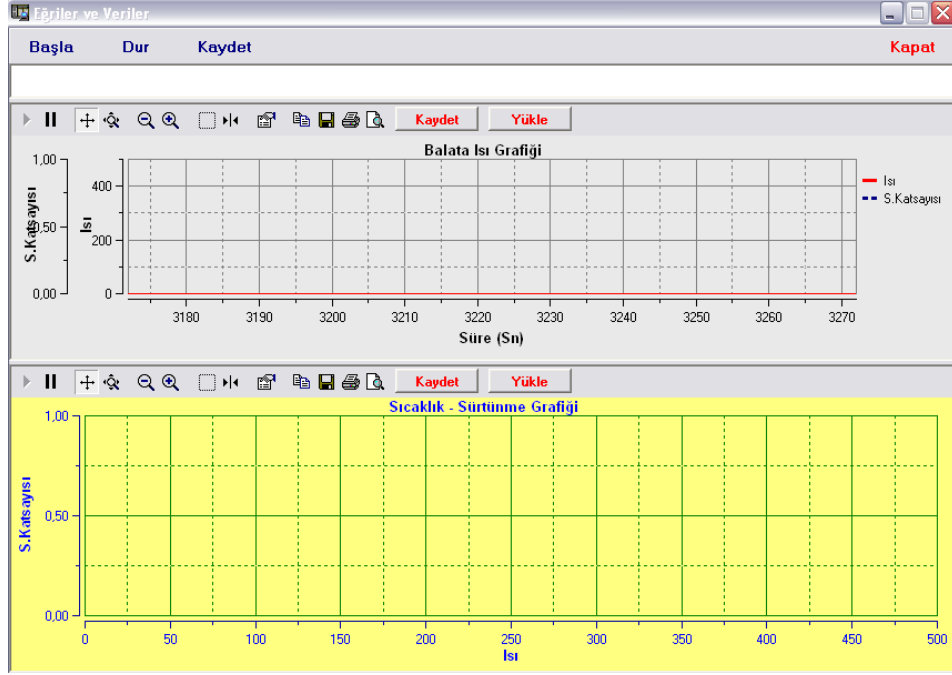
Fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneli üzerinde bulunan süre, kuvvet, devir, moment farkı ve alan değerleri girildikten sonra kontrol paneli üzerinde bulunan başlat düğmesine basılarak sistem çalışmaktadır. Süre değeri dakika olarak işlemektedir.

Deneyin süresi, süre kısmına girilerek istenilen zaman dilimi içerisinde cihazın otomatik olarak durması sağlanmaktadır. Devir göstergesi kısmına girilen devir değeri ile istenilen devirlerde deneyler yapılabilmektedir. Resim 3.2’de fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneli görülmektedir.



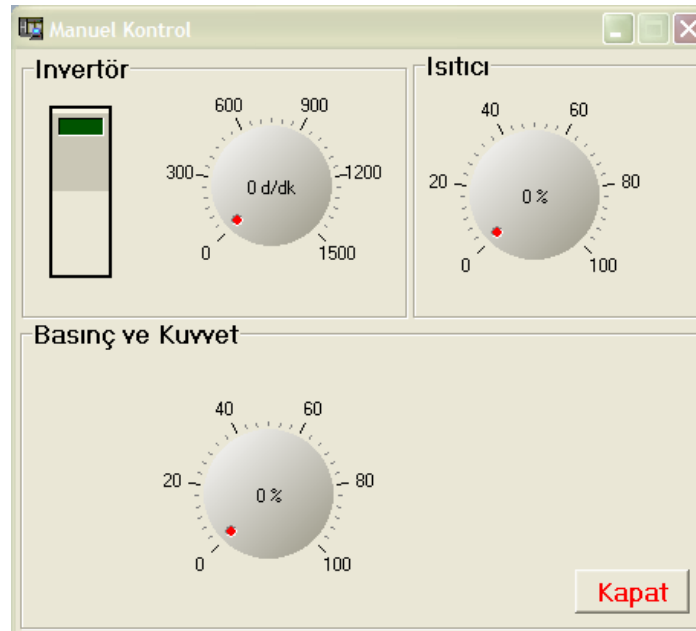
Resim 3.2 Fren Balatası Test Cihazı Otomatik Kontrol Paneli

Fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneli üzerinde bulunan eğri başlat ikonu işaretlenmişse deney sırasında bilgisayar ortamına aktarılan verilerin grafikleri otomatik olarak çizilmektedir. Otomatik olarak çizilen grafiklere kontrol paneli üzerindeki eğriler kısmından ulaşılmaktadır. Programın, grafikleri otomatik olarak çizmesi istenmiyorsa deneyler esnasında elde edilen veriler metin dosyası olarak kaydedilmekte ve Excel programına aktarılmaktadır. İstenildiği zaman deneylerden elde edilen grafiklere, kontrol paneli eğriler kısmından yükle ikonu tıklanarak bir önceki grafikler tekrar çizdirilmekte ve grafik üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Resim 3.3’de program tarafından çizilen grafik göstergesi görülmektedir.



Resim 3.3 Bilgisayar Kontrol Paneli Grafik Göstergesi

Deney seti tüm deney işlemlerini otomatik olarak yapmaktadır. Ayrıca fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneli üzerinde bulunan manuel kısmına girilip devir ve basınç el ile ayarlanarak deneyler manüel olarak yapılabilir.



Resim 3.4 Fren Balatası Test Cihazı Manuel Kontrol Paneli

Resim 3.4’de fren balatası test cihazı manuel kontrol paneli görülmektedir. Basınç bilgisayar programı tarafından 0-40 MPa arasında değiştirilebilmektedir. Hız, devir sayısı kontrolü sağlandığından devir sayısı 0-1400 1/d arasında değiştirilebilmektedir. Bu değişken etkenlerin sürtünme performansına etkilerini belirleyebilmek için farklı deney şartlarının oluşturulması ve hassas sonuçlar alınması gerekmektedir. Bu nedenle verilerin kaydedilmesi, kullanılması ve istenildiğinde yeniden ulaşılabilmesi gerekmektedir. İstenilen deney şartlarının girilerek deneylerin güvenilir olarak yapılabilmesi amacıyla sürtünme katsayısı test cihazı için Delphi yazım dilinde program geliştirilmiştir.

3.1.2 Yük Hücresi

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



Resim 3.5 Yük Hücresi

3.1.3 İnvörtör

Telemecanique marka invertör 5.5 Kw 0-1400 dev/dak aralıklarında çalışmaktadır. Çalışma sistemi; elektrik panosundaki pako sartal 1 numaralı konuma getirilerek motora

elektrik verilir. Bilgisayar programında invertör ayarları otomatik veya manuel olarak yapılarak istenilen devire kolaylıkla ulaşılması sağlanır.



Resim 3.6 Devir Ayarlayıcı İnvörtör

3.1.4 Hidrolik Ünite

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

3.1.5 Sıcaklık Ölçme Cihazı

Deneyler sırasında balatanın fren diskine sürtünmesi sonucunda sürtünme yüzeyi sıcaklığı artmaktadır. Sıcaklık artışının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla balatanın diske sürtünme yüzeyinden 2 cm ilerisinden sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Sıcaklık ölçümünde her saniye veri alabilen, -50 - +500 °C aralıklarında çalışabilen, hafızasına 6000 saniye veri kaydedebilen Extech 42582 İnfrared termometre kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri RS232 veri aktarma yolu ile bilgisayara aktarılabilmektedir.



Resim 3.7 Sıcaklık Ölme Cihazı

3.1.6 Elektrikli Isıtıcı

Frenleme sırasında sürtünme enerjisi nedeniyle fren diskinin ve balatanın ısınacağı açıktır. Numune fren balatasını Türk standartlarında belirtilen sıcaklıklara ulaştırabilmek için diskin alt tarafına 0,5 Kw'lık 2 adet rezistans disk yüzeyine 0,5 cm kadar mesafe ile yerleştirilmiştir. Böylece sürtünme etkisiyle oluşan disk sürtünme yüzeyi sıcaklığı sabitleme sürecine girince rezistanslar devreye girerek disk sürtünme yüzeyinin Türk standartlarında belirtilen 400 °C'ye ulaşmasını sağlamaktadır.



Resim 3.8 Elektrikli Isıtıcı

3.1.7 Hassas Terazi

Aşınma deneyleri kütle kaybı esasına göre yapılmıştır. Kütle kaybını ölçmek için KERN PLS 360-3 marka 0,001gr hassasiyetinde terazi kullanılmıştır. Bu terazi ölçümler sırasında hava akımlarından etkilenmemesi için kefe kısmı sürgülü bir

camekân ile kapatılmıştır. Her ölçüm öncesinde terazinin kalibrasyonu yapılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Deney öncesi ve deney sonrası numuneler tartılarak kütle kaybı, fark değeri olarak belirlenmiştir.



Resim 3.9 Hassas Terazi

3.1.8 Fren Diski ve Balata Tutucu Pabuç

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



Resim 3.10 Fren Diski Görünüşü

Üretimi yapılmış farklı içerikteki fren balataları fren test cihazının pabuçlarına yerleştirilerek deneyler yapılmıştır.



Resim 3.11 Fren Balatası Test Cihazında Kullanılan Fren Pabuçları

3.1.9 Sertlik Ölçüm Cihazı

Deneylerde kullanılan fren diskinin ve üretilen balataların sertliğini belirlemek için Mettest marka sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Yukarıda verilen bilgiler dikkate alınarak batıcı uç olarak çapı 5mm olan çelik bilye uç kullanılmıştır. Uygulanan yük 62,5 kgf (612,9 N) olarak alınmıştır. Yükleme sırasında 8 s uygulama, 15 s sabit yükleme süresi olarak uygulanmıştır. Bu değerler çalışmış yüzeye sahip numuneler üzerinden alınmıştır. Bu numunelerin yüzey boyutları 12,7mm x 12,7mm olduğu için yüzey köşegenlerinin çakıştığı orta noktalarından değerler alınmıştır. Deney sırasında kullanılan diskte numune balataların sürtüldüğü yüzeyden üçer farklı noktadan sertlik ölçümleri yapılmıştır. Diskin karşılıklı bölgelerinden ölçümler alınarak ölçüm değerlerinin ortalaması alınmış ve diskin sertlik değeri 116 HB - 41.86 HRA olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Resim 3.12 Mattest Sertlik Ölçme Cihazı

3.1.10 Toz Karıştırma Cihazı

Komponenti oluşturan malzemeler özgül ağırlık bakımından çok fazla farklılıklar gösterdiklerinden mikser ile karışımında homojenlik sağlanmaktadır. Değiştirilebilir şekilde iki farklı devir aralığı mevcuttur. Ayrıca toz malzemenin iç cidara yapışmaması için karıştırma haznesinin içi vernik ile kaplanmıştır. Hazne paslanmaz malzemedен imal edilmiştir.



Resim 3.13 Toz Karıştırma Mikseri

3.1.11 Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Üretilen numunelerin yoğunlukları, Arşimet terazisi ile belirlenmiştir. Normal terazilerden farklı olarak terazinin alt kefesini saf su içine daldırılarak alt kefesinden de ölçüm alınmaktadır. Saf suyun hacmindeki değişim numunenin hacmini verdiği için dereceli silindirden fark miktar belirlenmiş ve cismin kütlesi cismin hacim farkına bölünmüş cismin yoğunluğu belirlenmiştir. Numune yoğunluk belirlemede aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$D_h = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \quad (3.3)$$

D_h = Numune yoğunluğu (gr/cm^3)

G_k = Numune kuru ağırlığı

G_{dh} = 48 saat su içerisinde bekletildikten sonra numune ağırlığı

G_{ds} = 48 saat su içerisinde bekleme sonrası numunenin saf su doldurulmuş kaptaki ağırlığı



Resim 3.14 Arşimet Terazisi

3.2 Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi

3.2.1 Toz Karıştırma Süresinin Belirlenmesi

Kompozit üretiminde karşılaşılan en büyük problem, komponenti oluşturan malzemelerin matris içerisindeki homojen dağılımını sağlamak ve takviye malzemesi ile matris ara yüzey bağını arttırmaktır (Şahin ve Ark., 2002). Karıştırma şekli ve süresi, bu malzemelerin matris içerisindeki dağılımını, tozların boyutunu ve diğer bazı özelliklerini belirlemede etkili olmaktadır (Yetgin ve Ark., 2005). Karıştırma işlemi segregasyonu önlemek açısından çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Segregasyonu önlemek için karışıma genellikle yağlayıcı (grafit gibi) eklenir (Kuhn, H. A. and Lawley, A., 1978). Düşük viskoziteye sahip olan toz veya sıvı (sıvı reçine gibi) komponentlerin homojen karışması için karıştırıcı kollar ile kesici bıçakların birlikte karıştırma işlemini gerçekleştirmesi gerekir (Oehl K. H. and Paul H. G., 1990). Karıştırma işleminin tipi çoğunlukla karışımı oluşturan malzemelerin türüne bağlıdır. Özellikle yoğunlukları, partikül boyutları ve bazen yüzey karakteristikleri ve sekileri önemli farklılıklar gösteren toz bileşenlerde karıştırma işlemi zor olabilmektedir (Mutlu, İ., 2002).

3.2.2 Üretim Basıncının Belirlenmesi

Kompozitlerin tribolojik özelliklerindeki iyileşme kompozit formulasyonu, üretim ve çalışma parametrelerine bağlıdır (Washabaugh, F. J., 1987). Yapılan çalışmalarda yüksek performanslı sürtünme malzemesini güçlendirme işlemleri olarak, teorik yoğunluğun artırılması ve poroziteyi yok etmek için çeşitli sıcak yoğunlaştırma (densifikasyon) işlemleri yapılmaktadır (Youssef, H., Comte, C., 1989). Balatanın bileşimindeki malzemelerin homojen dağılımı yapıldıktan sonra balatanın yoğunluğunu presleme basıncı belirleyeceği için sürtünme performansında önemli rol oynamaktadır. Sonuç olarak 15 MPa sıcak presleme (pişirme) basıncı uygulamanın yapılacak çalışmalarda uygun bir değer olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda pişirme basıncı 15 MPa alınmıştır.

3.3 Deney Numunelerinin Üretilmesi

Farklı içeriğe sahip deney numunelerinin üretimi esnasında malzeme oranlarını belirlemede kütleli oran esas alınmıştır. Her bir formüldeki balata içeriğini oluşturan bağlayıcı, sürtünme malzemesi ve diğer katkı malzemeleri 0,001g hassasiyetinde tartılmış, sonra bu karışımın homojenliğini sağlamak için numune içeriği mikserde uygun sürede karıştırılmıştır. Çizelge 3.1’de görülen ortak içerikler belirlenmiştir.

Çizelge 3.1 Ortak İçerik Olarak Belirlenen Katkı Maddelerinin Kütleli Oranları

Malzeme Cinsi	% Oranları
Reçine	20
Bakır	4
Al ₂ O ₃	3
Cashew	4
Grafit	10
Pirinç Tozu	2
TOPLAM	43

Ortak içerikler ifadesinden tüm balatalarda kütleli oran esas alınarak bağlayıcı olarak fenolik reçine, metalik katkı olarak bakır ve pirinç talaşı, seramik katkı olarak alümina (Al₂O₃), katı yağlayıcı olarak grafit kullanılmaktadır. Bu kısım kütleli olarak % 43’lük kısmı oluşturmaktadır. Ortak içerik olarak belirlenen miktardan geriye kalan % 57 lik oran ise Dolgu Malzemeleri (SAM) mermer tozu, barit ve granit tozundan oluşan malzemeler kullanılmaktadır.

Farklı içeriğe sahip deney numunelerinin üretimi esnasında malzeme oranları belirlemede hesaplama kolaylığı olması için kütleli oran esas alınmıştır. Her bir formüldeki balata içeriğini oluşturan bağlayıcı, sürtünme malzemesi ve diğer katkı malzemeleri 0,001g hassasiyetindeki terazi ile tartılmıştır. Daha sonra, hazırlanan bu karışımın homojenliğini sağlamak için numune içeriği Resim 3.13 de gösterilen özel olarak yapılmış karıştırıcıda 10 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karışımlar, daha önce

yapılmış olan komprime kalıplarına, balatanın üretimi tamamlanmış hacmi dikkate alınarak uygun miktarda doldurulmuştur.

3.3.1 Komprime (Soğuk Presleme)

Belirlenen miktarlarda tartılarak soğuk presleme için Resim 3.15’de gösterilen komprime kalıbına doldurulmuştur ve 9810 kPa (90 kg/cm²) basınç altında soğuk olarak preslenmiştir.



Resim 3.15 Deney Numunelerinin Üretildiği Soğuk Presleme Kalıbı

Bu presleme sonrası kalıplardaki soğuk sıkıştırılmış malzemelerin çıkarılabilmesi için dişi kalıbın alt tablası çıkarılmış erkek kalıp ile dişi kalıbın üzerine düşük yük uygulanmış ve dişi kalıbın altından numune malzeme taşımak için hazırlanmış olan sac levhaların üzerine alınmıştır. Bu çıkarılan malzeme Resim 3.16 da görüldüğü gibi tablet haldedir. Tablet haldeki malzeme soğuk presten çıkarılırken, taşınırken ve pişirme için sıcak pres kalıplarına konulması sırasında oldukça çabuk dağılma gösterir. Soğuk presleme kalıplarının kalıp derinliği 8-10 cm civarındadır.



Resim 3.16 Soğuk Pres ile İmal Edilen Balata Resimleri

Deney numunelerinin üretiminin soğuk presleme aşamasında, numuneler birer birer preslenmektedirler. Bu durumun sebebi soğuk pres kalıplarının derinliğinin yaklaşık 10 cm olmasından soğuk preslemesi yapılmış olan tablet balataların kalıplardan çıkarılma sırasında dağılma ve parçalanma gibi birçok problemlerle karşılaşılmasıdır. Üretimdeki bu tip hataları gidermek için soğuk pres kalıbı bir adet balata presleyecek şekilde hazırlanmıştır.

3.3.2 Pişirme (Sıcak Presleme)

Soğuk presleme işleminden sonra tablet haldeki numuneler pişirme işlemi için sıcak presleme kalıplarına yerleştirilmişlerdir. Numunelere sıcak presleme sırasında 14715kPa (150 kg/cm²) basınç uygulanmıştır. Pişirme presindeki kalıplar alt ve üst tablalardan elektrik enerjisi kullanılarak ısıtılmıştır. Pişirme presi 250 °C'ye kadar ısıtma kapasitesine sahip olup sıcaklık kontrolü ± 5 °C toleransla termostat ile yapılmaktadır.



Resim 3.17 Deney Numunelerinin Üretildiği Sıcak Presleme Kalıbı

Deney numuneleri ~180 °C sıcaklıkta 10 dakika pişirilmiştir. Her bir mm kalınlık için ~1 dakika pişirme süresi uygulanmıştır. Bu pişirme süresinin ilk % 60'lık kısmında her

30 saniyede bir, pres kalıplar açılarak havalandırma işlemi yapılmıştır. Bu sıcaklık neticesinde balata bileşenlerinin oluşturduğu reaksiyonlar sonucu meydana gelen buharların komponentten dışarı atılması sağlanmıştır. Böylece söz konusu buharların balatada oluşturabileceği kılcal çatlamlar ve bir takım olumsuz deformasyonlar önlenmiştir. Yine burada pişirme ve presleme sonrası balataların kalıptan parçalanmadan kolay bir şekilde çıkarılmasını sağlamak amacıyla sıcak kalıplara granül sabunlu sıcak su pülverize olarak basınçlı hava ile püskürtülmüştür.

Sıcak presleme kalıpları soğuk presleme kalıplarından oldukça farklıdır. Numunelerin üretildiği pres tabla yüzey boyutu 50x50 cm olduğu için üretilmesi düşünülen balata boyutuna göre birden çok balata pişirilebilmektedir. Ayrıca sıcak presleme kalıplarının derinliği, üretilecek olan numune balatanın kalınlığı dikkate alınarak belirlenmektedir.

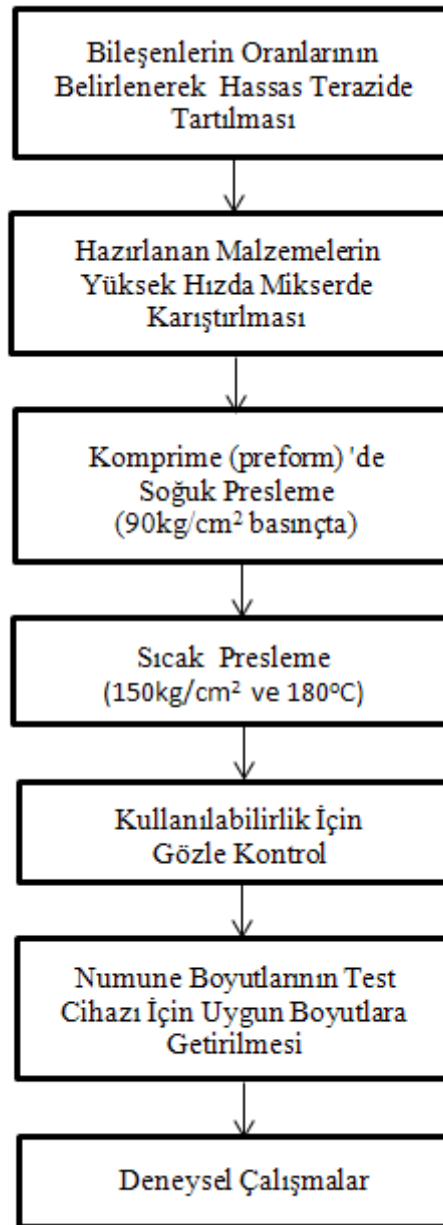


Resim 3.18 Sıcak Pres ile İmal Edilen Balata Resimleri

Numune Üretiminde; numuneler tartıldıktan ve mikserde homojen olarak karıştırıldıktan sonra preslenmek üzere kalıp içerisine doldurulur. Bu karışım, komprime (soğuk presleme-ön şekillendirme) kalıplarına balatanın üretimi tamamlandığındaki hacmi dikkate alınarak uygun miktarda doldurularak preslenir. Komprime aşamasında, numuneler kalıp tasarımından dolayı birer birer preslenmektedirler ve 9,810 MPa (100 kg/cm²) basınç uygulanmaktadır. Komprimesi yapılmış olan tablet balatalar pişirme (sıcak presleme) kalıplarına yerleştirilir. Numunelere pişirme sırasında 14,715 MPa (150 kg/cm²) basınç uygulanmıştır. Deney numuneleri 180°C sıcaklıkta numune kalınlığı dikkate alınarak belirlenecek sürede pişirilmiştir. Bu pişirme süresinin ilk %60'lık kısmında her 30 saniyede bir, pres kalıplar açılarak havalandırma işlemi yapılmıştır. Bu sayede malzeme bünyesinde

bulunan suyun ve sıcaklık neticesinde balata bileşenlerinin oluşturduğu reaksiyonlar sonucu meydana gelen buharların komponentten dışarı atılması sağlanmıştır. Böylece söz konusu buharların balatada oluşturabileceği kılcal çatlamlar ve bir takım olumsuz deformasyonlar önlenmiştir.

Bir balata numunesinin üretimi sırasındaki aşamalar Şekil 3.2’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Deney Numunelerinin Üretim Şeması

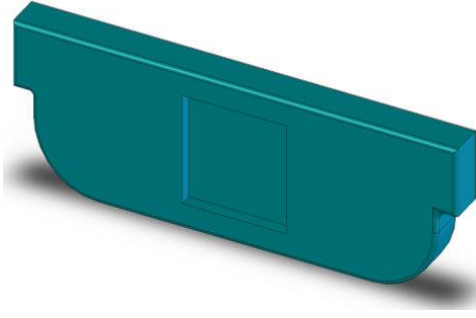
Tüm numuneler deney düzeneğindeki numune balata için açılmış olan balata yuvası ölçülerine getirilirken kesme ve taşlama yöntemleri kullanılmıştır. TS 9076’da deney numunelerinin boyutları en ve boy 25.4 mm x 25.4 mm, kalınlık 3 mm- 6 mm eşit kalınlıkta olacak şekilde hazırlanır ve sürtünen yüzeylerde hiçbir işaret bulunmamalıdır ifadesi bulunmaktadır. Numunelerin kalınlığı ise 3 mm’si numune yuvasına gireceği ve 6 mm’si dışarıda kalacağı dikkate alınarak toplam 9 mm olarak hazırlanmıştır. Daha sonra sıcaklık-sürtünme katsayısı değişimi ve aşınma değerlerini belirlemek deneysel çalışmalar yapılmıştır.

3.4 Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması

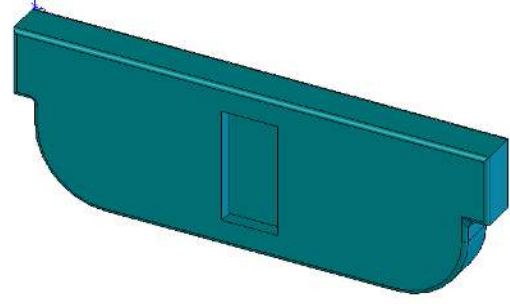
Sıcak presleme işlemi neticesinde pişirilmiş olan numuneler sıcak pres kalıplarından çıkarıldıktan sonra numunelerin gözle kontrolü yapılmıştır. Bu numunelerin pişme sırasında kalıplara yapışma ve benzeri durumlardan dolayı yüzeyleri pürüzlü olduğundan numuneler verilen paso miktarı kadar ince taneli zımpara taşı aralığından geçirilerek düzgün yüzey oluşturulmuştur.

Tüm numuneler deney düzeneğindeki numune balata için açılmış olan balata yuvası ölçülerine getirilirken kesme ve taşlama yöntemleri kullanılmıştır. TS 9076’da deney numunelerinin boyutları en ve boy 25.4x25.4 mm, kalınlık 5-8 mm eşit kalınlıkta olacak şekilde hazırlanır ve sürtünen yüzeylerde hiçbir işaret bulunmamalıdır ifadesi bulunmaktadır (TS 9076, 1991). Ancak üretimi yapılan test cihazının numune yuvası yukarıda belirtilen ölçülerde orantılı olarak küçültülerek boy ve en 25.4×12.7 mm olarak alınmıştır. Numunelerin kalınlığı ise 2 mm’si numune yuvasına gireceği ve 4 mm’si dışarıda kalacağı dikkate alınarak toplam 6 mm olarak hazırlanmıştır. Test cihazında balatanın takılabilmesi için 1” (25.4×25.4 mm) ve ½” (25.4×12.7 mm)’lik yüzey alanı 2mm derinlikte boşaltılmış olan balata tutucu sac kullanılmaktadır.

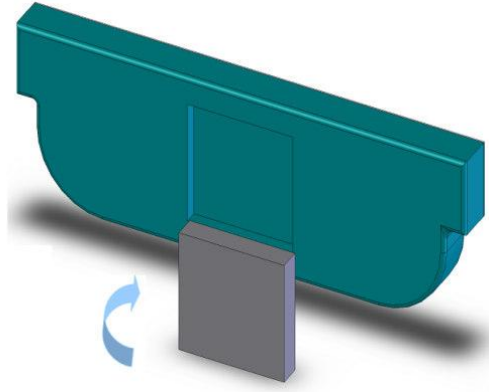
Balataların, balata tutucu saca takılabilmesi için ½” (25.4×12.7 mm) boyutlarında kesilmişlerdir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de balata tutucu sac çeşitleri, Şekil 3.5 de balatanın balata tutucu saca takılışı görülmektedir. Balata malzemesi şeklindeki parçanın orta kısmında bulunan 2 mm derinliğindeki alana sıkı geçme yapılarak tutunma sağlanır.



Şekil 3.3 1" lik Balata Tutucu



Şekil 3.4 ½" lik Balata Tutucu



Şekil 3.5 Balatanın Takılma İşlemi

3.5 Deney Numuneleri

Üretilen numune balatalar asbestsiz organik balatalar (NAO-nonasbestos organic) grubunda olup polimerik bağlayıcı ve üretim metoduna göre presleme yoluyla üretilmiştir. Numune balataların üretimi iki farklı grup olarak planlanmıştır. Birinci grupta modifiye edilmiş mermer ve granit tozu ile birlikte belirlenen diğer bileşenler seçilmiş. İkinci grupta ise barit ve granit tozu ile birlikte diğer bileşenler seçilmiş ve normal üretim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki grupta da balata bileşenleri içerisinde mermer tozu ve granit tozu ürünlerine yer verilmiştir.

Bu malzemelerin uygun değer oranlarını belirlenmesi için beş farklı oran kullanılmıştır. Bu yüzden iki grupta farklı içeriklere sahip 30 adet numune kullanılmıştır. Barit'in maliyete etkisi ve yurtdışına bağımlılık getirdiği dikkate alındığında alternatif olarak

mermer tozunun önemi artmaktadır. Balatanın özellikleri; balata içeriği, konsantrasyonu ve üretim şartlarına göre farklılıklar göstermektedir. Yapılan çalışmada balata formülasyonu değiştirilerek üretilen balataların aşınma davranışları incelenmiş ve sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Aşağıdaki çizelgelerde numunelerde kullanılan malzemelerin kütleli yüzde oranları verilmiştir.

Balata bünyesinde kullanılan bakır, ısı iletim katsayısının yüksek olması sayesinde frenleme sırasında balata sürtünme yüzeyinde oluşan ısının bölgeden uzaklaştırılması ve homojen dağılım ile sürtünme katsayısını artırması hedeflenmiştir

Çizelge 3.2 Mermer Tozu Kullanılan Numunelerin %'de Oranları (Kütleli)

MG	MG-2	MG-6	MG-10	MG-14	MG-18
Reçine	20	20	20	20	20
Bakır	4	4	4	4	4
Al ₂ O ₃	3	3	3	3	3
Cashew	4	4	4	4	4
Grafit	10	10	10	10	10
Pirinç Tozu	2	2	2	2	2
Granit	2	6	10	14	18
Mermer tozu	55	51	47	43	39
TOPLAM	100	100	100	100	100

Çizelge 3.3 Barit Kullanılan Numunelerin %'de Oranları (Kütleli)

BG	BG-5	BG-8	BG-11	BG-14	BG-17
Reçine	20	20	20	20	20
Bakır	4	4	4	4	4
Al ₂ O ₃	3	3	3	3	3
Cashew	4	4	4	4	4
Grafit	10	10	10	10	10
Pirinç Tozu	2	2	2	2	2
Granit	5	8	11	14	17
Barit	52	49	46	43	40
TOPLAM	100	100	100	100	100

3.6 Fren Balataları İçin Türk Standartlarında Belirlenen Deney Şartları

Mart 1992 tarihli Türk Standartları TS 555'te sürtünme katsayısı, "Disk veya kampana ile disk fren veya kampana fren arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranıdır" şeklinde ifade edilmiştir (TS 555,1992). Nisan 1991 tarihli TS 9076'da, fren balataları için sürtünme katsayısının belirlenmesinde uygulanacak deney şartları açıklanmıştır. Bunlar;

Sıcaklık Grubu A: 350 °C'ye kadar sınırlanmış sıcaklıkta ve 1050 kPa basınçta yapılan aşınma deneyi,

Sıcaklık Grubu B: 400 °C'ye kadar sınırlanmış sıcaklıkta ve 3000 kPa basınçta yapılan aşınma deneyi, deney programları belirtilmiştir.

Alıştırma aşamasında 700 kPa basınç altında, gerektiğinde soğutma yapılarak 200 °C'de yüzey teması en az % 95 oluncaya kadar sürekli olarak yapılmalıdır. Aralıklı olarak 100 °C'de 10 saniye yüklü, 20 saniye yüksüz olmak üzere 1050 kPa basınç altında yapılmalıdır veya 700 kPa basınç altında 100 °C sıcaklıkta sürtünme katsayısı sabitleşinceye ve yüzey teması en az %95 oluncaya kadar 310 1/d döndürülür (Pektaş, İ., 1995). Deney cihazında sürtünme yüzeyi gerekli taslama, zımparalama işlemleri yapıldıktan sonra tane büyüklüğü 320 olan zımpara ile zımparalanır ve tozlar kuru hava veya lif bırakmayan eşdeğeri malzeme ile temizlenir.

Soğuk sürtünme katsayısı: Aşınma deneyi esnasında sıcaklık grubu A şartlarında 100 °C, 150 °C, 200 °C'de ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Sıcak sürtünme katsayısı: Sıcaklık grubu A şartlarında 300–350 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyi esnasında, sıcaklık grubu B şartlarında 350–400 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyi esnasında ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Pektaş, İ., 1995).

Asbest ihtiva etmeyen kompozit malzemeli demir yolu taşıtları fren pabucuna yönelik olarak düzenlenmiş olan Nisan 1998 tarihli TS 12464'te kompozit malzemeli fren pabucu özellikleri olarak; "Pabuçların kullanımı esnasında çıkan tozlar, aşınma

parçacıkları veya gazlar sağlık açısından olumsuz etki yaptığından, pabuçlar asbest, kursun, çinko gibi sağlığa zararlı maddeler ihtiva etmemelidir’’ ifadesi yer almaktadır (TS 12464, 1998).

Balatalarda sertlik deneylerinin TS 139’da belirtilen şartlarda yapılması gerektiği TS 555’te belirtilmiştir. TS139’da Brinell sertlik; belirli çapta bir bilye ile malzemeye uygulanan yükün malzeme yüzeyinde meydana getirdiği iz alanına bölümüyle orantılı bir değerdir. Yükleme derecesi; deney yükü kuvveti ile bilye çapının karesi arasındaki oranın 0,102 sabiti ile çarpımıdır, seklinde ifade edilmektedir (TS 139, 1992).

$$BS = 0,102 \cdot \frac{2F}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.4)$$

BS=Balatanın Sertliği

F = Deney yükü (N)

D = Baticı bilye çapı (mm)

d = Bilye izi ortalama çapı (mm) olarak alınmıştır.

Ayrıca ölçümlerin sağlıklı olabilmesi için ‘‘d’’ iz çapı 0,2D ile 0,7D arasında bulunmalıdır. Genellikle çelik ve dökme demirler için $x = 30$, bakır ve alüminyum alaşımları için $x = 10$ veya 5, çok yumuşak metaller için 2,5 veya 1,25 alınır daha büyük veya küçük izler ve yükleme derecesi kullanılması halinde yanlış yada karşılaştırılabilir olmayan sertlik değerleri elde edilir (Güleç ve Aran, 1993).

Sertliği ölçülecek malzeme çelik ise, bilyeyi basan kuvvetin değeri bilye çapı karesinin 30 katı, eğer malzeme Al, Mg, Cu veya bu metallerin alaşımları ise o zaman bilye çapı karesinin 10 katı, malzeme daha yumuşak olursa 5 katı ve en yumuşak malzemeler için bu katsayı 2,5 katı olarak alınır (Akbiyık, H., 1966, Kayıran, E., 1999).

Brinell sertlik ölçme yönteminde sertleştirilmiş standart çelik bilye kullanılmaktadır. Bilye üzerine bir zaman dilimi içerisinde uygulanan ağırlık, malzemede bilyenin küresel

bir iz bırakmasına neden olur. Malzemenin sert veya yumuşak olmasına göre iz büyük veya küçük olur (Baydur, G., 1987).

TS 555'te aksi belirtilmedikçe özgül aşınma deneyi mecburi değildir ifadesi yer almaktadır. Söz konusu standardın ilgili maddelerinde bahsedilen test cihazının kampanalı olması, bu çalışmada numune balataların deneylerinin yapılabilmesi için üretimi yapılan deney düzeneğinde ise aşındırıcı yüzey olarak disk kullanılmış olmasından dolayı standartta istenilen tüm şartlar sağlanamadığından özgül aşınma miktarını belirlemede bu çalışmada yapılan aşınma deneyinin değerleri dikkate alınmıştır. TS 555'te belirtilmiş olan kütle metodu seçilmiş ve aşağıdaki hesaplama yöntemi kullanılarak özgül aşınma değerleri belirlenmiştir.

$$V = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_d} \cdot \frac{(m_1 - m_2)}{n \cdot f_m \cdot \rho} \quad (3.5)$$

V = Özgül aşınma

m_1 = Deneyden önce ölçülen balata kütlesi (gr)

m_2 = Deneyden sonra ölçülen balata kütlesi (gr)

ρ = Balata yoğunluğu (gr/cm^3)

R_d = Disk yarıçapı (m)

f_m = Deneydeki ortalama sürtünme kuvveti (N)

n = Toplam devir sayısı (devir)

3.7 Deney Şartları

Standartlarda belirlenen şartlara uygun şekilde alıştırma aşamasında 0,7 MPa basınç altında, gerektiğinde soğutma yapılarak 200 °C 'de yüzey teması en az %95 oluncaya kadar sürekli olarak yapılmıştır. Sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimini belirleyebilmek için 1,05 MPa basınçta orta hız değeri olarak kabul edilen 7 m/s'de 5400 sn süre ile deneyler yapılmıştır. Deneyler 3 kez tekrar edilmiş olup sıcaklık ve sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Üretilen numunelerin frenleme karakteristiği, aşınma direnci ve sürtünme katsayısının belirlenmesi için aşağıdaki işlem sırasına göre deneyler gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin deney şartları aşağıda verilmiştir,

1. Tüm deneylerde deney başlangıç sıcaklığı 40 °C olarak alınmıştır.
2. Bütün numuneler 700 kPa basınç altında sürekli sürtünmeye tabi tutularak balata yüzeyinin %95'i fren diskine temas edinceye kadar alıştırma işlemi yapılmıştır. Bu işlemler esnasında TS 9076'da belirtildiği gibi zımparalama, temizleme ve soğutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.
3. Sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi 1,05 MPa basınç altında ve 40 °C'den 400 °C sıcaklığa kadar 5400 saniye süresince her saniyedeki değerler bilgi kütüğüne kaydedilerek belirlenmiştir.
4. TS 555'te balataların aşınma dirençlerini belirlemek amacıyla özgül aşınma için aşınma deneyinde kütleli fark metodu seçilerek elde edilen değerler TS 555'te belirtilen hesaplama yolu ile hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge ile verilmiştir.
5. Balataların aşınma miktarının belirlenmesinde deneyler 1,05 MPa basınç altında 7 m/s hızda yapılmıştır. Bu deney sonunda her bir numune balata hassas terazide tartılarak kütle kaybı tespit edilmiştir.

Sertlik deneyleri; Balatalarda sertlik deneylerinin TS 139'da belirtilen şartlarda yapılmıştır. Yükleme derecesi; deney yükü kuvveti ile bilye çapının karesi arasındaki oranın 0,102 sabiti ile çarpımıdır, şeklinde ifade edilmektedir (TS 139,1992).

3.8 Aşınma Dayanımı, Sertlik ve Yoğunluk Testleri

Numune balataların sertliklerinin belirlenmesinde TS 139'da belirtilen işlemler uygulanmıştır. Bu aşamada yapılan çalışmalarda statik sertlik ölçme yöntemlerinden olan Brinell sertlik ölçme yönteminin söz konusu balataların sertliğini belirlemede uygun yöntem olduğu belirlenmiştir. Sertlik ölçme işlemlerinde "Mettes" marka universal sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Yukarıda verilen bilgiler dikkate alınarak batıcı uç olarak çapı 2,5mm olan çelik bilye uç kullanılmıştır. Uygulanan yük 62,5 kgf (612,9 N) olarak alınmıştır. Yükleme sırasında 8 saniye uygulama, 15 saniye sabit

yükleme süresi olarak uygulanmıştır. Daha sonra ‘‘Mikrovu’’ marka 117 volt’luk 3 ampulün kullanıldığı optik mikroskop ile bilye iz çapı belirlenmiştir. Alınan iz çapı değerleri sertlik cihazının değer kısmına yazılarak sertlik değeri elde edilmiştir. Ayrıca 3.4 numaralı formülde yerine konularak Brinell sertlik değeri hesaplanmıştır. Bu değerler çalışmış yüzeye sahip üçer numune üzerinden alınmıştır. Bu numunelerin yüzey boyutları 25.4×12.7mm olduğu için yüzey köşegenlerinin çakıştığı orta 130 noktalarından değerler alınmıştır. Deney sırasında kullanılan disk’te numune balataların sürtündüğü yüzeyden ve numune balataların sürtünmediği yüzeyden üçer farklı noktadan sertlik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerler Bölüm 4’de verilmiştir.

Ayrıca yukarıda bahsedilen ölçme yöntemi kullanılarak, deneysel çalışmalarda kullanılan diskin sertliği belirlenmiştir. 5 mm çapında bilye kullanılarak 1471 N (150 kg) yük uygulanmıştır. Bu değerler demir döküm malzemeler için ilgili kaynaklarda öngörülen değerlerdir.

Numunelerin yoğunluğu, aynı içerikli üç adet numune ‘‘Sartorius MC 1’’ marka 0,001 hassasiyetli Arşimet terazide belirlenmiştir. Bu numuneler saf su ile doldurulmuş dereceli silindir (mezür)’e daldırılmıştır. Saf suyun hacmindeki değişim numunenin hacmini verdiğinden dereceli silindirdeki fark miktar belirlenmiş ve cismin kütlesi cismin hacim farkına bölünmüş, üç numuneden çıkan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak cismin yoğunluğu belirlenmiştir. Bu deneylerden elde edilen değerler Bölüm 4’de verilmiştir.

Deneyler için farklı oranlarda toplam otuz çeşit mermer tozu, granit tozu ve barit takviyeli numune üretilmiştir. Bu numunelerin çizelge 3.2 ve çizelge 3.3 de görüldüğü gibi oranları aynı olup üretim bu oranlarda yapılmıştır. Dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla 5 farklı oranda Mermer tozu katkılı numune ve 5 adet Barit tozu katkılı numune üretilmiştir. Aynı içeriğe sahip her numuneden üçer defa deney yapılarak bu üç değer sonucunun aritmetik ortalama değerleri alınmıştır. Numuneler deneye başlamadan önce ve sonra hassas terazide ölçülmüş ve deney sırasında ne kadar kütle kaybettiği hesaplanarak aşınma miktarları bulunmuştur. Özgül aşınma miktarları Şekil 4.3 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.

Numune balataların sertliklerinin belirlenmesinde TS139’da belirtilen işlemler uygulanmıştır. Bu aşamada yapılan çalışmalarda statik sertlik ölçme yöntemlerinden olan Brinell sertlik ölçme yönteminin, söz konusu balataların sertliğini belirlemede uygun yöntem olduğu belirlenmiştir.

4. BULGULAR

Farklı formüllerde 30 adet numune üzerinde frenleme karakteristiği, aşınma direnci ve sürtünme katsayısı gibi özellikleri belirlemek amacıyla bir dizi testler yapılmıştır. Bu numuneleri kesin hatları ile birbirinden ayırmak oldukça zordur. Numuneler içerisine muhtelif oranlarda mermer tozu, granit tozu ve barit katmak suretiyle farklı karakteristik özelliklere sahip yeni formüllü fren balatası numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler benzer işletme şartlarından geçirilerek bu faktörlerin balata karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada her içerik için deneyler üç kez tekrarlanmıştır ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Mermer tozu ve granit katkılı numuneler “MG” harfleriyle, barit ve granit tozu katkılı numuneler ise “BG” harfleri ile simgelendirilmiştir. Simgelerde bulunan sayı ise katılan granitin % oranını ifade etmektedir. Mermer tozu ve granit ile barit ve granitin toplamaları % 57’ dir. Resim 4.1’de deney esnasında diskin görünüşü verilmiştir.



Resim 4.1 Deney Esnasındaki Sürtünmeden Dolayı Oluşan Isının Fren Diskinde Meydana Getirdiği Durum

4.1 Mermer ve Granit Tozu Kullanılan Fren Balataları

Deneyleerde toplam on adet farklı içeriğe sahip numune kullanılmıştır ve içerikten üçer adet deney numunesi kullanılarak aritmetik ortalama değerler alınmıştır. Numunelerin sıcaklık-sürtünme katsayısı değişimini belirlemek için 1050 kPa basınçta deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında disk hızı 7m/s de tutulmuş sıcaklık 50 °C’den 400 °C’ye yükselene kadar 1 saniye aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Tüm balatalarda kütleel oran esas alınmıştır. Dolgu malzemesi olarak barit yerine mermer tozu ve aşınma direncini arttırmak için granit kullanılmıştır.

4.1.1 Sürtünme Performansı

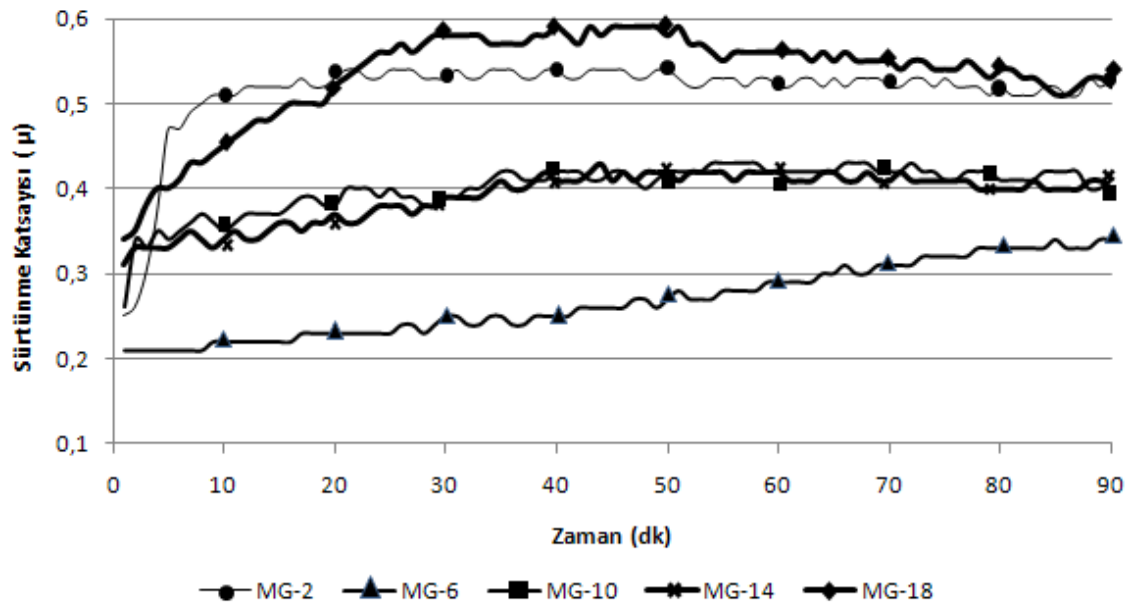
Deneysel çalışma sonucu oluşturulan grafikler aşağıda verilmiştir. Şekil 4.1’ de numunelerin sürtünme katsayısı-zaman grafiği görölmektedir. Zamana bağılı olarak sürtünme katsayısı değişiminde en yüksek sürtünme katsayısı 0,60’ a kadar yükselen MG-18 kodlu numunede görölmektedir. Sürtünme katsayısı yüksek olan numunenin sürtünme yüzeyi yüksek olduğundan sıcaklık değeri de yüksektir. Şekil 4.2 sürtünme deneyleri esnasında oluşan sıcaklığın zamana bağılı olarak değişimini göstermektedir. Şekil incelendiğinde en yüksek sıcaklık, sürtünme katsayısı en yüksek olan MG-18 kodlu numunede meydana gelmiştir. Sıcaklığın artışıyla birlikte sürtünme katsayısında bir düşüş gözlenmektedir. Anderson, sürtünme kuvveti değişiminin, disk kalınlık değişimi, diskin sıcaklığı ve sürtünme yüzeyinde meydana gelen bileşenlerden güçlü bir şekilde etkilendiğini belirtmiştir (Anderson, A.E., 1992).

Mermer tozu katkılı tüm örneklerde sürtünme tabakası gelişimi sürecinden sonra içeriklerin özelliğine göre sürtünme karakteristiği şekillenmiştir. Sürtünme katsayısı değişimi için bu grafikte incelendiğinde, MG-2, MG-18 kodlu numuneler MG-6, MG-10 ve MG-14 kodlu numunelere göre daha fazla dalgalanma göstermiştir. MG-2, MG-18 kodlu numuneler sürtünme tabakası oluşumunun tamamlanmasıyla birlikte yavaş yavaş düşme eğilimi göstermiştir (Şekil 4.1). Bu safhada henüz sıcaklık ~200 °C - 300 °C arasındadır. MG-6, MG-10 ve MG-14 kodlu numunelerin sürtünme katsayısı

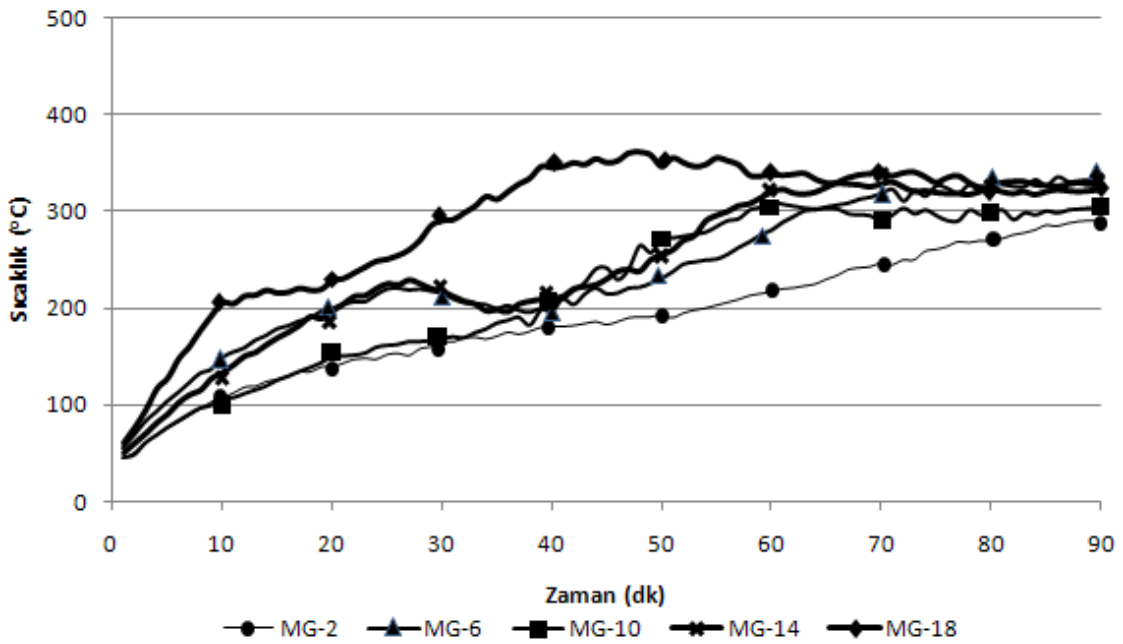
değişimi incelendiğinde, numunelerin sürtünme yüzey tabakası oluşumunda benzer karakteristik özellik gösterdiği incelenmiştir (Şekil 4.1).

Sürtünme katsayısındaki bu düşme, sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin sürtünme çiftinin karşı yüzeyini oluşturan disk'e tutunma özelliği gösteremediği, yani ya komponenti oluşturan malzemelerin birbirleri ile iyi uyum sağlamadığından dolayı sürtünme yüzeyine karşı bir direnç oluşturmamış ya da oluşan sürtünme yüzeyi sert malzemelerden oluşmadığı için sürtünme katsayısında beklenen artış veya kararlı kalamadığı şeklinde açıklanabilir.

MG-2 kodlu numunenin 1200. saniyeye kadar sürtünme katsayısında yükselme meydana gelirken 1200. saniyeden sonra sürtünme katsayısında sıcaklığın artışıyla birlikte bir düşme olmuştur (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). MG-2 kodlu numune sıcaklık artışıyla birlikte optimum ve kararlı bir sürtünme sergilemiştir. MG-18 kodlu numunenin sürtünme katsayısı deneyin başlarında dalgalı olarak düşüş göstermiştir. MG-18 kodlu numunede % 18 granit tozu ve % 39 mermer tozu olduğundan balatayı oluşturan komponentler içerisinde uyumsuzluk olabileceği düşünülmektedir. Fren balatalarından istenen en önemli özelliklerden birisi, frenleme sırasında sürtünmeden dolayı açığa çıkan sıcaklık artısına bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişimin minimum seviyede olmasıdır (Kato, K., 1990.).

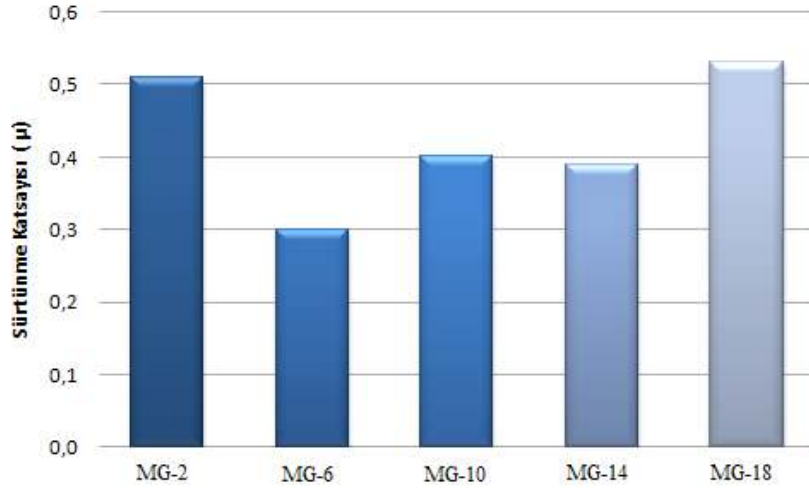


Şekil 4.1 Mermer ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta
Sürtünme Katsayısı-Zaman Değişimi



Şekil 4.2 Mermer ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta
Sıcaklık-Zaman Değişimi

En düşük sürtünme katsayısına sahip MG-6 kodlu numune Şekil 4.2’de görüldüğü gibi düşük sıcaklık sergilemiştir. En yüksek sürtünme katsayısı sergileyen MG-18 kodlu numunenin sıcaklık eğrisi diğerlerine göre yüksektir ve MG-14 kodlu numune ile benzer özellik göstermiştir. 1800. saniyeden sonra tüm numuneler kararlı bir sürtünme eğilimi sergilemiştir.



Şekil 4.3 Mermer ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basıncıta Ortalama Sürtünme Katsayısı

MG-6 kodlu numunede sürtünme katsayısı zamana bağlı olarak lineer bir artış gözlenmiştir ve sıcaklığı ise max 300°C ye ulaşmıştır. MG-10 ve MG-14 kodlu numuneler 1800. saniyeden sonra diğer numunelerde olduğu gibi sürtünme katsayısında fazla düşüş görülmemiştir.

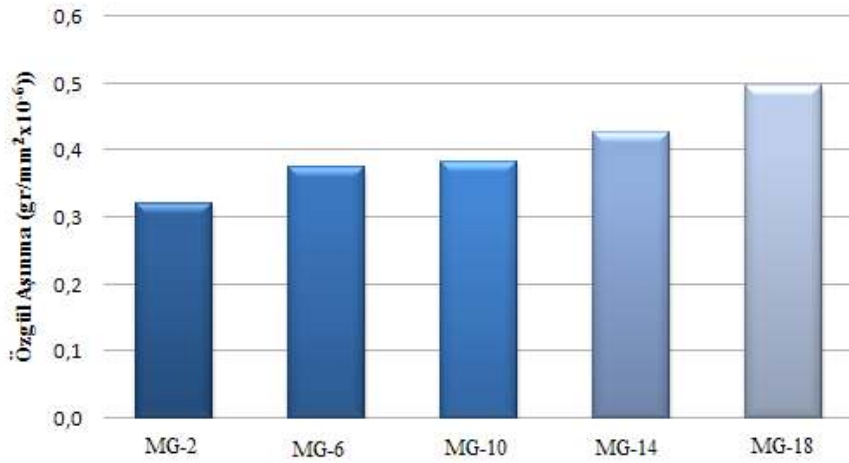
4.1.2 Aşınma, Yoğunluk ve Sertlik Testleri

Mermer tozu katkılı numunelerin yapılan deneysel çalışmalarında tespit edilen sertlik, yoğunluk ve özgül aşınma değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 MG Kodlu Numunelerin Özellikleri

Numune Kod Adı	Sertlik Değeri (HB)	Yoğunluk Değeri (g/cm ³)	Özgöl Aşınma Miktarı (g/mm ²)	Ortalama Sürtünme (μ)	Standart Sapma
MG-2	39,6	2,11	0,321	0,51	0,050396
MG-6	41,6	2,07	0,375	0,30	0,029852
MG-10	45,2	2,03	0,382	0,40	0,041305
MG-14	48,9	1,92	0,426	0,39	0,028578
MG-18	49,6	1,86	0,497	0,53	0,055866

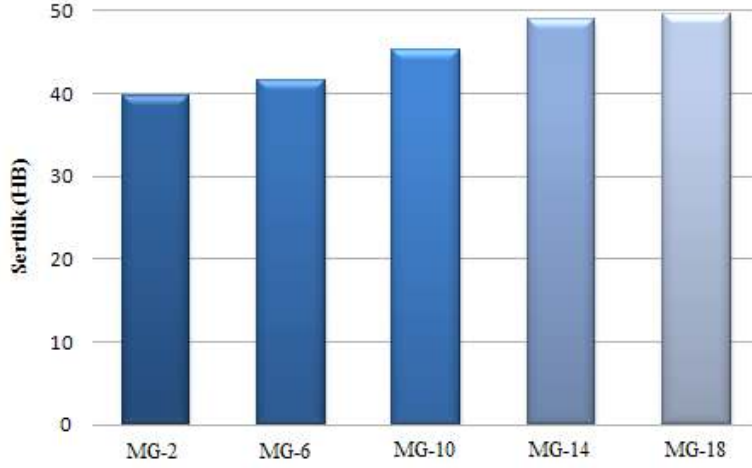
Değerler incelendiğinde aşınma direnci ile sertlik arasında doğrudan bir bağlantı kurmak mümkündür. Tablodan, sertliği yüksek olan balatanın aşınma direncinin düşük olduğu görülmektedir. Bu durum numuneleri oluşturan komponentin içeriği ile ilgilidir. Sertlik arttıkça numunelerin özgöl aşınma değerlerinin de yüksek çıkması, sürtünme sırasında zorlanmanın etkisiyle balata bünyesinden büyük parçacıkların kopmalarının da önemli bir etkisi vardır.



Şekil 4.4 Mermer ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Özgöl Aşınma Değişimi

Sürtünmeden dolayı balata bünyesindeki sıcaklık artışıyla sürtünme direnci düşer aşınma artar. Sürtünme elemanlarının cins ve oranının aşınma direnci üzerinde oldukça etkili olduğu bilinmektedir. Mermer tozu katkılı numunelerde mermer tozu oranı azalıp

granit tozu miktarı arttıkça sertliğin yükseldiği buna bağlı olarak aşınma miktarının da arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.5 Mermer ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basıncıta Sertlik Değişimi

Farklı içerikli balata bileşiklerinde komponenti oluşturan malzemeler sert yapıya sahip olabilir, bunun sonucu sertlik değeri yüksek çıkabilir. Ancak komponenti oluşturan malzemeleri tutan reçine miktarı yeterli değilse veya parçacık tutunma yüzeyi azalmışsa komponenti oluşturan parçacıklar sürtünme sırasında küçük zorlamalarda ana yapıdan çabucak ayrılması aşınma oranını beklenenden yüksek çıkarabilir.

Düşük ortalama sürtünme katsayısına sahip olan numunelerin standart sapma değerleri de düşüktür. Yüksek ortalama sürtünme katsayısına sahip numunelerin standart sapma değerleri de yüksektir. Burada sürtünme yüzeyinde sürtünme direnci oluşturacak malzemelerin etkisiyle hem sürtünme katsayısı yüksek hem de standart sapma yüksek çıkmıştır. Fakat yüksek ortalama sürtünme katsayısına sahip numunelerin dalgalı sürtünme katsayısı göstermesi bünyedeki sert parçacıkların sürtünme direnci oluşturmaları sonrasında da balata bünyesinden koparak özgül aşınma değerini artırdıkları şeklinde açıklanabilir.

4.2 Barit ve Granit Tozu Kullanılan Fren Balataları

4.2.1 Sürtünme Performansı

Deneyisel çalışma sonuçlarına dayanılarak bulunan sürtünme katsayıları ve sıcaklık ile ilgili grafikler Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’ de görülmektedir.

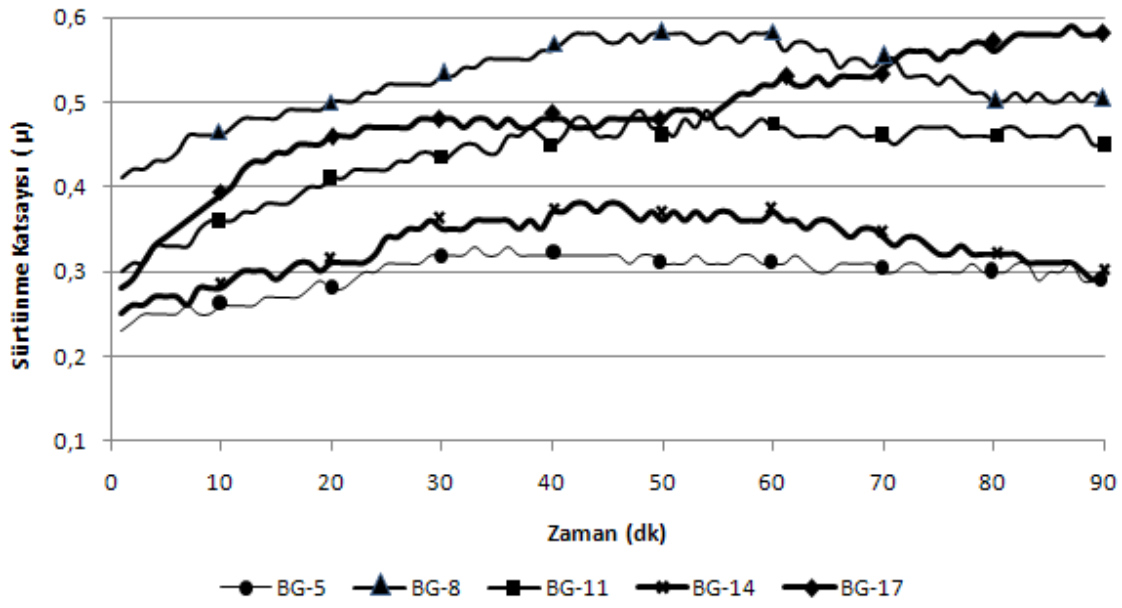
En yüksek sürtünme katsayısı BG-17 kodlu numunede meydana gelmiştir. Fakat kararlı bir sürtünme elde edilememiştir. En düşük sürtünme katsayısı ise BG-5 kodlu numunede olmuştur. BG-5, BG-11 ve BG-14 kodlu numunelerin sürtünme katsayısındaki dalgalanma birbirleri ile önemli derecede benzerlik göstermektedir. Yalnızca dalgalanmanın şiddeti çok az bir farklılık göstermiştir. Bu numunelerde dalgalanma sürtünme yüzey sıcaklığı ~ 120 °C’de başlamış ve ~ 200 °C’de son bulmuştur. Şekil 4.6’ daki numunelerin sürtünme katsayısı incelendiğinde granit miktarının artışıyla birlikte sürtünme katsayısında bir artış gözlemlenmiştir. BG-5 kodlu numune, BG-8, BG-11, BG-14 ve BG-17 kodlu numunelere göre daha az dalgalanmış ve en düşük ortalama sürtünme katsayısı değerine sahiptir (Şekil 4.6). BG-8, BG-11 ve BG-17 kodlu numunelerin sürtünme testinin başlangıcında sürtünme tabakası oluşum süreci ilk dakikalar içerisinde oldukça belirgindir. Özellikle BG-17 kodlu numune sürtünme tabakası oluşum sürecinde sürtünme katsayısında yaklaşık 0,15’ lik önemli bir artış göstermiştir. Deneyin devamında ise kısa süre sonra $\mu=0,45$ den $\mu=0,60$ ’a kadar dalgalanmalı olarak artış göstermiştir.

Barit ve granit tozu bulunan tüm örneklerde sürtünme tabakası gelişimi süreci yaklaşık 600 saniye sürmüş ve daha sonra sürtünme tabakasını oluşturan içeriklerin özelliğine göre sürtünme karakteristiği şekillenmiştir.

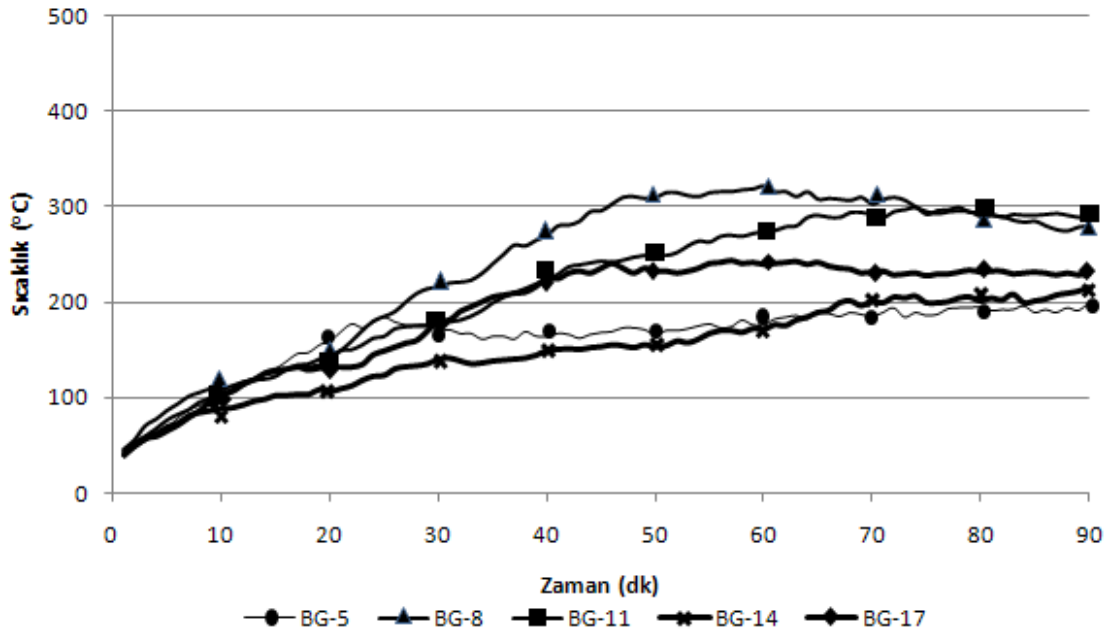
Sürtünme katsayısındaki artışın tekrar başladığı sırada sürtünme yüzey sıcaklığı ~ 220 °C ve artışın durması ~ 250 °C civarında olmuştur (Şekil 4.6). Buradan, sürtünme yüzey sıcaklığı, $\sim 100^{\circ}\text{C}$ - 250°C arasında sürtünme yüzeyinde nedeni henüz tam belirlenemeyen bir kısım termo-mekanik etkileşimlerin olduğu ve 230 °C’nin üzerinde söz konusu etkileşimlerin son bulduğu sonucu çıkarılabilir.

BG-5 ve BG-14 kodlu numunelerde sürtünme katsayısında yükselme meydana gelirken daha sonra sürtünme katsayısında sıcaklığın artışıyla birlikte bir düşme olmuştur (Şekil 4.6). BG-5 kodlu numune sıcaklık artışıyla birlikte düşük ama kararlı bir sürtünme sergilemiştir. BG-5 kodlu numune için yukarıda ifade edilen termomekanik gerekçeler BG-8 ve BG-14 kodlu numuneler için de geçerlidir.

Sürtünme katsayısı değişimi için bu grafikler incelendiğinde, BG kodlu numuneler MG kodlu numunelere göre daha fazla dalgalanma göstermiştir. BG-5, BG-8 ve BG-14 kodlu numuneler sürtünme tabakası oluşumunun tamamlanmasıyla birlikte yavaş yavaş düşme eğilimi göstermiştir (Şekil 4.6). Bu safhada henüz sıcaklık $\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C} - 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Sürtünme katsayısındaki bu düşme, sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin sürtünme çiftinin karşı yüzeyini oluşturan diske tutunma özelliği gösteremediği, yani ya komponenti oluşturan malzemelerin birbirleri ile iyi uyum sağlamadığından dolayı sürtünme yüzeyine karşı bir direnç oluşturamadığı ya da oluşan sürtünme yüzeyi sert malzemelerden oluşmadığı için sürtünme katsayısında beklenen artış veya kararlı kalamadığı şeklinde açıklanabilir.

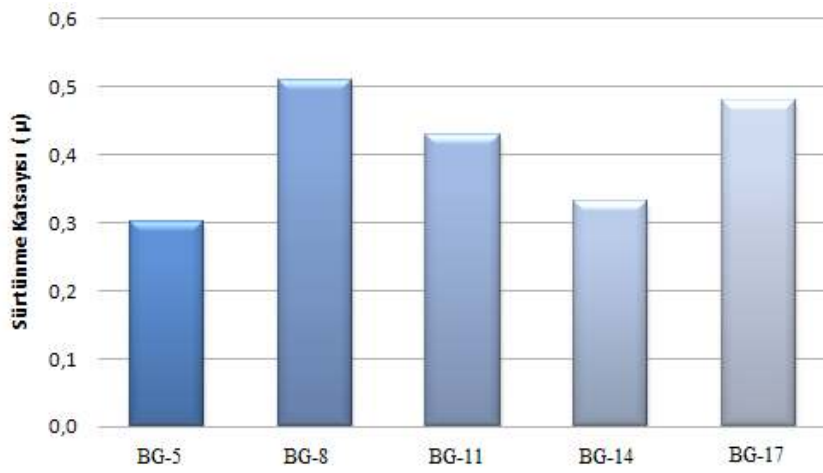


Şekil 4.6 Barit ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basıncıta Sürtünme Katsayısı-Zaman Değişimi



Şekil 4.7 Barit ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basıncıta Sıcaklık-Zaman Değişimi

BG-5 ve BG-14 kodlu numunelerin sürtünme katsayısındaki dalgalanma birbirleri ile önemli derecede benzerlik göstermektedir. Yalnızca dalgalanmanın şiddeti çok az bir farklılık göstermiştir. Bu numunelerde dalgalanma sürtünme yüzey sıcaklığı ~ 150 °C’de başlamış ve ~ 220 °C’de son bulmuş denilebilir (Şekil 4.7). BG-17 kodlu numune sürtünme katsayısındaki dalgalanmaya rağmen 0,59 ile en yüksek sürtünme katsayısını vermiştir. BG kodlu numunelerin sürtünme yüzey sıcaklıkları MG kodlu numunelere göre daha düşük seviyelerde seyretmiştir. Yukarıda bahsedildiği gibi sürtünme yüzey sıcaklığına bağlı termo-mekanik etkileşimleri olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.8 Barit ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Ortalama Sürtünme Katsayısı

Söz konusu sıcaklıklar sürtünme katsayısının düşmesinde etkili olacak kadar yüksek değerde değildir. Sürtünme katsayısında inişli çıkışlı sürekli bir değişimin sebebini, Anderson balata temas yüzeyinde ısı yükünün homojensizliğinden olduğu şeklinde yorumlamıştır (Arnold, et. al., 1983). Burada deney süresince disk yüzeyindeki temas bölgelerinin içine doğru ısıdaki değişim periyodik olarak değişir. Bu etkiden dolayı sürtünme katsayısında sürekli bir değişim meydana gelir. Ayrıca bu durum Batchelor sürtünme çiftlerinin yüzeyindeki pürüzlerde birleşme olması ve büyümesi ile açıklar (Stachowiak, G. W., Batchelor, A. W., 2001). Bu durumda bir yapışma ve bir bırakma hali sürekli tekrarlanır, bu da sürtünme katsayısında sürekli artma ve azalma olmasına sebep olur.

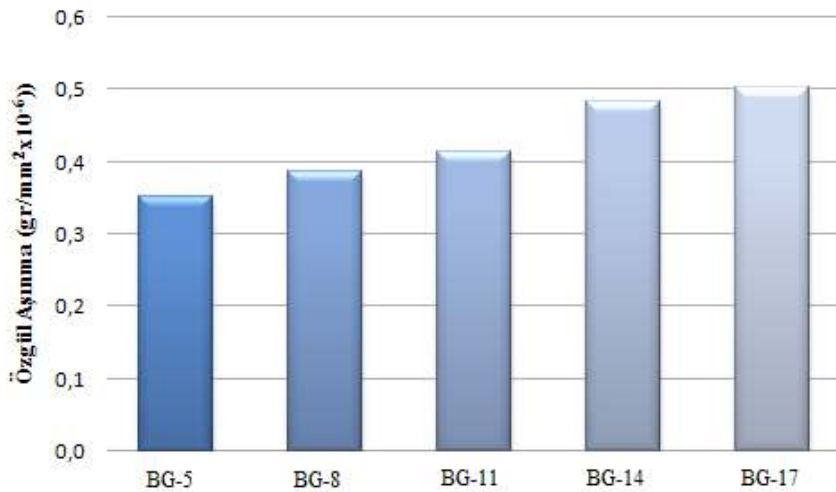
4.2.2 Aşınma, Yoğunluk ve Sertlik Testleri

Barit katkılı numunelerin yapılan deneysel çalışmalarında tespit edilen sertlik, yoğunluk ve özgül aşınma değerleri Çizelge 4.2’de görülmektedir. Özgül aşınmada komponenti oluşturan malzemelerin birbirleriyle uyumları ve sergiledikleri sürtünme katsayısı etkili olmaktadır.

Çizelge 4.2 BG Kodlu Numunelerin Özellikleri

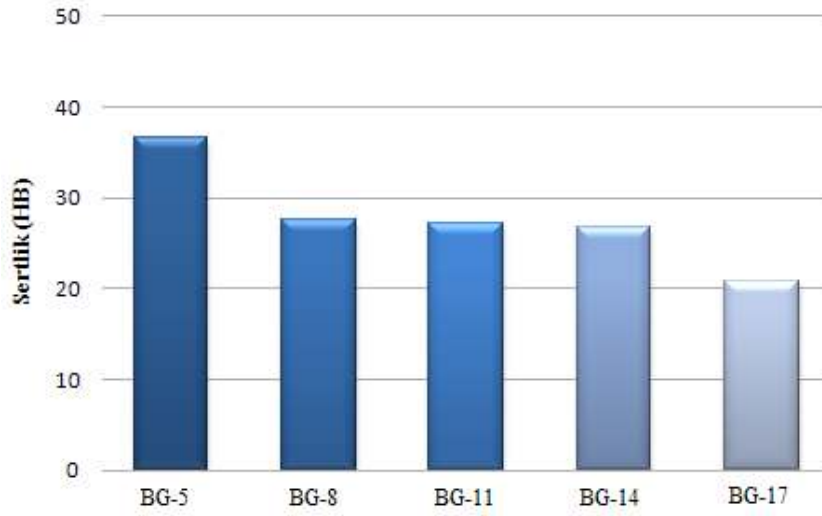
Numune Kod Adı	Sertlik Değeri (HB)	Yoğunluk Değeri (g/cm ³)	Özgül Aşınma Miktarı (g/mm ²)	Ortalama Sürtünme (μ)	Standart Sapma
BG-5	36,5	2,25	0,352	0,30	0,023647
BG-8	27,5	2,20	0,387	0,51	0,043966
BG-11	27,1	2,18	0,413	0,43	0,047210
BG-14	26,7	2,09	0,483	0,33	0,038817
BG-17	20,7	2,01	0,503	0,48	0,689430

En yüksek ortalama sürtünme katsayısı değerini gösteren numunelerin özgül aşınma miktarı da diğer numunelere göre yüksek çıkmıştır. Balata bünyesindeki büyük parçacıkların sürtünme sırasında zorlanmanın etkisiyle kopmaları sonucu özgül aşınma değerinin daha yüksek çıktığı anlaşılmaktadır. Yoğunluk değerlerinde, içerikte kullanılan malzemelerin yoğunlukları ve oranları oldukça etkili olmaktadır.



Şekil 4.9 Barit ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basıncıta Özgül Aşınma Değişimi

Numunelerin sertlik değerlerinde barit ve granit tozu oranlarına bağlı olarak değişimler görülmüştür. BG-5 kodlu numune, % 52 barit, % 5 granit içermektedir, sertlik değeri 36,5 HB değeri ile birinci iken % 40 barit, % 17 granit içeren BG-17 kodlu numunesi de 20,7 HB değeri ile sertlikte dördüncü sıradadır. % 43 barit ve %14 granit içeren BG-14 kodlu numune 26,7 HB ile orta sertlik değeri sergilemiştir. BG-17 kodlu numune yüksek sürtünme katsayısı gösterirken, en yüksek özgül aşınma ve 20,7 HB ile en düşük sertlik değerini göstermiştir (Çizelge 4.2).



Şekil 4.10 Barit ve Granit Tozu Katkılı Numunelerin 1,05 MPa Basınçta Sertlik Değişimi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada mermer tozu ve granit tozlarının fren balatalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Farklı 10 formülde üretilen numunelerin frenleme karakteristiğini belirlemek için yapılan deneylerde, sürtünme katsayısının sıcaklık ve zaman grafikleri oluşturulmuş, aşınma direnci, sertlik, yoğunluk özelliklerini belirlemek amacıyla bir dizi testler yapılmıştır.

Mermer tozu ve granit kullanılan numunelerde granit oranının artışıyla sertlik ve özgül aşınma artmış, yoğunluk düşmüştür. Numunelerin sertliğinin artması granit oranının artışıyla açıklanabilir. Beraberinde sert granit partiküllerinin sürtünme sırasında disk yüzeyine direnç göstererek bünyeden kopmasına da sebep olmuştur. Bu yüzden granit oranının artışıyla özgül aşınma artmıştır.

Barit ve granit kullanılan numuneler granit oranının artışıyla sertlik ve yoğunluk düşmüş, özgül aşınma artmıştır. Granit oranının artışı, barit ve granit kullanılan numunelerde olumsuz etki göstermiştir. Yine mermer tozu ve granit kullanılan numunelerdeki gibi sert granit partiküllerinin sürtünme sırasında disk yüzeyine direnç göstererek bünyeden kopmasına sebep olmuş ve özgül aşınma oranı artmıştır.

Mermer tozu ve granit katkılı numunelerin ortalama sürtünme katsayısı 0,30–0,53 arasında, barit ve granit katkılı numunelerin ortalama sürtünme katsayısı 0,30–0,51 arasında gerçekleşmiştir. Bu değerler Türk Standartlarına göre kabul edilebilir değerlerdir. Sürtünme katsayısında görülen farklılıklar kompozit içerisindeki karmaşık etkileşimler neticesinde ortaya çıkmakta olup mermer tozu-granit veya barit-granit oranına bağlı olarak açıklanamamaktadır.

Bu değerler Türk Standartlarına göre kabul edilebilir değerler olmakla birlikte sürtünme katsayısında görülen farklılıklar kompozit içerisindeki karmaşık etkileşimler neticesinde ortaya çıkmakta olup mermer tozu ve granit oranına bağlı olarak açıklanamamaktadır.

Sonuç olarak mermer tozu ve granit katkısıyla üretilen balataların sürtünme performansları dikkate alındığında baritin yerine mermer tozu ve granit tozunun dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği mümkündür.

Bu alışmada 400°C'ye kadar olan testlerde mermer tozunun kullanılabilir olduğu görülmüştür. Ancak mermer tozunun 900°C civarında kalsinasyona uğradığından yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirliği mümkün görülmemektedir. Bununla ilgili ileride çalışmalar yapılmalıdır.

Özellikle silisce zengin içerikli mineral atıkların dolgu malzemesi olarak kullanılacağı yeni çalışmaların yürütülmesi uygun olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Akbıyık, H., 1966, Malzeme Bilgisi, Ogun Matbaası, s.101, Ankara.
- Akpınar G., 2008 ” Modifiye Edilmiş Karaçam Kozalaklarının Otomotiv Fren Balatalarında Kullanımının Araştırılması”, Y. Lisans Tezi.
- Akkurt, S., 1991, Plastik Malzeme Bilgisi, 1. Baskı, Birsan Yayınevi, İstanbul
- Alçı Teknolojisi, 1978, M. T. A. Teknoloji Servisi Başkanlığı Endüstriyel Hammaddeler ve Seramik Bölümü Yayınları, Ankara.
- Anderson, A.E., 1987, “ Proceeding of the symposium on fibers in friction materials”, SAE, Atlantic City, NJ.
- Anderson, A.E., 1992, ASM handbook, “Friction, Lubrication, and Wear Technology vol.”18 ASM International, pp.569-577.
- Anderson, A.E., Peterson, M., Winer, W.O. (Eds.), 1997, “Wear of brake material”, Wear Control Handbook, pp. 843–858, New York.
- Anlaş, İ., 1988, Şasi temel ders kitabı, M. E. B. yayınları, İstanbul.
- Ayar, H. H., 1991, “Disk Fren Balatalarında Bileşimin Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baker R., 1992 “Changes Caused By Legislation Against Asbestos”, Powder Metallurgy, 35, 4, 255-256.
- Baydur, G., 1987, Malzeme, MEB, s. 55, İstanbul.

- Berry, G., 1994 “Mortality and Cancer Incidence of Workers Exposed To Chrysotile Asbestos In The Friction Product Industry”, Ann. Occup. Hyg., 38, 4, 539-546.
- Bijwe, J., 1997, “Composites As A Friction Material: Recent Developments In Non-Asbestos Fiber Reinforced Friction Materials-A Review”, Polymer Composites, 18, 3, 378-396.
- Boz, M., 1999, “Toz metalürjisi ile üretilmiş bronz esaslı fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bowden, F. P., and Tabor, D., 1994, The friction and lubrication of solids, pp. 12-16, 29-31, 52-55, 78-79, 187-191.
- Ceylan H, Saraç, S.2001, Özkahraman T., Mermer toz atıklarının dolgu maddesi üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, Türkiye 3. mermer sempozyumu. Bildiriler kitabı, s.297- 307.
- Crolla, D.A., A.M. Long, 1991, “Brake noise and vibrations – the state of the art”, Proceedings of the Leeds-Lyon Symposium on Tribology 17.
- Çavusoglu, E., N., 1989, Döküm Teknolojisi I, İTÜ, İstanbul.
- Demirsoy, M., 1973 , “Balatalar”, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 17, 194.157-170, Ankara.
- Dong, F., Blum, F. D., Drahani, L. R., 1996, “Polimer-Polimer Composites”, 4, pp. 155-159.
- Dönmez, A.G., 2000, “Asbest Dışı Elyafarla Üretilen Balata Malzemelerinin Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Eckert, A., Bethke, H., 1987, "Neue Erkenntnisse zur Asbestsubstitution in Reibbelagen" (Recent Development and Results in the Substitution of Asbestos in Friction Materials), *Automobiltechnische Zeitschrift*, 89:145-147, 150-152.
- Ekmekyapar, T., Örüñg, İ., 1997, İnşaat Malzeme Bilgisi, 3. Baskı, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum.
- Erikson, M., Bergman, F., Jacobson, S., 2002, "On The Nature of Tribological Contact in Automotive Brakes", *Wear* 252, pp. 26-36.
- Erşan, K., 1998, "Mevcut eski, yeni ve farklı balataların frenleme kuvvetine etkisinin pedal kuvvetinin fonksiyonu olarak tanımlanması", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. cilt13, sayı 1, sayfa 75*.
- Esin, A., 1981, *Properties of Materials for Mechanical Design*, 1. Baskı, ODTÜ Mühendislik Fakültesi.
- Fedorchesco, I. M., Kırıyachek, V. M., 1970, New sintered friction materials, *Fiction and Antifriction Materials*, 4:139-142.
- Gemalmayan, N., 1984, "Sürtünme malzemelerinin özelliklerinin deneysel incelenmesi", *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Müh. Mimar. Fak., Ankara*.
- Gemalmayan, N., 1986 , "Asbestsiz Sürtünme Malzemelerinin (Balataların) Yapımı ve Uygulanması", 2. Ulusal Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara.
- Genel Ürün Kataloğu, 1998, İzocam Ticaret ve Sanayi A.Ş., Dilovası Mevkii, 41810 Gebze/Kocaeli.
- Gopal P., L. R. Dharani, F. D. Blum, 1996, "Hybrid phenolic friction composites containing Kevlar pulp. Part I. Enhancement of friction and wear performance", *Wear* 193 199-206.

- Güleç, Ş., Aran, A, 1993, “Malzeme Bilgisi”, İTÜ Makine Fakültesi, s.153, İstanbul.
- Hao Ko, T., Sheng Ma, T, 1998, “Effect of Post Curing on The Mechanical Properties of Carbonized Phenolic Resins”, Polimer Composites, 19, 4, pp. 456-462.
- Handa Y., Kato T., 1996, Trib.Trans. 39 346-353.
- Jacko M.G., Tsang P.H.S., Rhee S.K., 1989, Wear 133 23-38.
- Katalog, 1983 “ABEX”, Friction Products Division, Michigan USA
- Katalog, , 1993, “Basarit Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri”, Deutsche Basaltsteinwolle Gmbh, Rodetal 40 D-3406 Bovenden, I, Germany.
- Katalog 1, 1998 “Basarit fiziksel ve kimyasal özellikleri”, Deutsche Basaltsteinwolle Gmbh, Rodetal 40 D-3406 Boveden, 1, Germany.
- Katalog 2, 1998, “Carborundum Resistant Materials” Gmbh, Postfach 160260, Deutschland.
- Kaya. F., 1983, Plastikler Katkı Maddeleri ve İşleme Metotları, 1. Baskı, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul.
- Kayıran, E., 1999, Malzeme Teori ve Pratik, Nurol Matbaacılık, s. 43, İskenderun.
- Kuhn, H. A., Lawley, A. 1978, Powder Metallurgy Processing New Techniques and Analyses, Academic Press, New York, San Francisco.
- Kun, N.,2000, “Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi”, Mermerciler Odası, İzmir, 149
- McLellan R.G., 1988, IMechE C451 (88) 9-13.

- Mete, Z., 1985, Kütahya Alayunt Yöresi Diatomit Yataklarının İzole Tuğla Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, s.253-260, Ankara.
- Milevski J.V., Ketz H.S., , 1987, Handbook of Reinforcements for Plastics, Van Nostrend Reinhold, NY.
- Morshed M. M., Haseeb A. S. M. A., 2004, “Physical and chemical characteristics of commercially available brake shoe lining materials: a comparative study”, Journal of Materials Processing Technology, 155-156, 1422-1427.
- Mutlu, İ., 2002, “Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Mutlu, İ, Çevik, İ., Öner, C., 2002, Borik Asit Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, 3rd International Powder Metallurgy Conference September 4-8, Turkish Powder Metallurgy Association, pp.1307-1314, Gazi Üniversitesi, Ankara,
- Mutlu İ., Oner C., Fındık F., 2005, “Boric Acid Effect İn Phenolic Composites On Tribological Properties in Brake Linings”, Materials & Design, 39, 317-325.
- Neiman, M. B., 1965, “Aging And Stabilization of Polimers”, 1st Ed., Consultant Bureau, New York.
- Nicholson,G. 1995. Facts About Friction, P&W Price Enterprises,IncCroydon, PA.
- Othmer, K., 1966, “Phenolic Resin, Encyclopaedia of Chemical Technology”, Vol. 15, 2nd Ed., John Wiley And Sons Inc., New York.

Oehl K. H. and Paul H. G., 1990, Brake Linings for Road Vehicles. Verlag Moderne Industry AG&Co, D- 8910, Box 1751, Germany.p. 4-44.

Önenç, D., İ., 1998, “Sedimanter Kaya mermerciliginde Bloklarda Ürün Alınmasını Engelleyen Jeolojik Olusumlar”, Maden Tetkik ve Arama Dogal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, No:1-2, Ankara, 61- 63.

Parr, E. A., 1997, Endüstriyel Kontrol El Kitabı, MEB, İstanbul.

Pektaş, İ., 1995, 21. Yüzyıl Malzemeleri, Karbon-karbon Kompozit Malzemeler, Teknik Gelişim, Sayı11-12-13.

Reinsch, E. W., 1970, Sintered metal brake linings for automotive applications, Delco-Moraine division, General motors corp. Dayton, Chapter 2, 9-21, Ohio.

Rhee, S. K., 1971, “Wear of Metal Reinforced Phenolic Resin”, Wear, 18, pp. 471-477.

Robinson J.W., Mogensen G.E.,Pakard K.D, Herman J., 1992, SAE Paper 901700.

Stocks, A. I., Gezendanner, H., Van-Der-Hurk, H., , 1985, “Asbestost-Free Clutches and Brakes Reinforced with Kevlar-Aramid Fibres”, Int. J. of Vehicle Design, 6, 4/5, 483-487.

Stringham, W., 2001, “Bosch braking systems, 401 IN. bendix drive, south bend”, IN 46634- 4001, pp. 34-36.

Sugözü İ., 2009 “Bor Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi Ve Frenleme Karakteristiğinin İncelenmesi” Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Süme, V., Güner, M. S., 1999, Yapı Malzemesi ve Beton 2, Aktif Yayınevi, Rize.

- Şahin S., Özdemir İ., Ünlü B. S., 2002, T/M Yöntemi ile Üretilmiş Al-SiCp Kompozitlerde Üretim Parametrelerinin Aşınma Davranışına Etkisi, 3rd International Powder Metallurgy Conference, pp. 951-957, Ankara, Türkiye.
- Tanaka, K., Ueda, S., Noguchi, N., 1973, “Fundamental Studies On The Brake Friction of Resin-Based Friction Materials”, Wear, 23, 349-365.
- Tekinel, O. ve Ark., 1999, İnşaat Malzeme Bilgisi, K.S.Ü. Rektörlüğü Yayın no 58, Kahramanmaraş.
- Türk Sağlık Ajansı Yayınları, 1991 “Toplum ve Çevre Sağlığı Açısından Soru Cevaplarla Asbest”, 1, Ankara.
- Timur M., 2007 “Otomotivde Kullanılan Sürtünme Malzemelerinin Sürtünme Katsayısını Tespit Eden Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı”, Y. Lisans Tezi.
- TS 139, 1992, “Metalik Malzemelerin Brinell Sertlik Deneyi”, T.S.E., 1. Baskı, Ankara.
- TS 555, 1992, “Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler” İçin, T.S.E., 1. Baskı, Ankara.
- TS 12464, 1998, Demiryolu Taşıtları-Fren Pabucu-Kompozit Malzemeli-Asbest ihtiva Etmeyen, T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Nisan.
- TS 9076, 1991, “Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları İle Değerlendirilmesi”, T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Nisan.
- Uygur, M, E., 1996, “Balata Üretim Teknolojisi”, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Kongresi, Bildiriler Kitapçığı, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Yetgin S. H., Aydın M., Aksoy A., Ünal R., 2005, The Effect of the Mixer Type and Ratio of Reinforcement Particle on the Mechanical Properties of Nbc Reinforced Al Composite Material Produced Via Powder Metallurgy, EURO PM2005 Congress And Exhibition, Prague, Czech Republic, p:721-725.

Youssef, H., Comte, C., 1989, Consolidation of High Performance Friction Materials, Alliage Frittes Metafram, Beauchamp, France, MPR, March.

Washabaugh, F.J., 1987 ‘‘EMCOR 66 Ultra-Short Fibers for Asbestos-Free Friction Materials’’, SAE 860630.

Welch, P.A. and A.F., 1953, ‘‘The Development of Mineral Wool From Florida Minerals’’, Greaves-Walker, Fla. Eng. and Ind. Exp. Sta. Bull. 59.

Wirth A., Stone K., Whitaker R., 1990, SAE Paper 92254.

Witaker R., Wirth A., 1987, J.Appl.Phys D 38-43.

Yamashita, Y., Hiroshi, A., Kawase, M., Iwata, K., 1993 , ‘‘High Performance Asbestos Free Friction Material for Disk Brake Pads with The Controlled Grain Structure’’, Sumitomo Electric Industries, Ltd., SAE 890861.

Yamaguchi, Y., 1990, ‘‘Tribology of plastic materials’’, Tribology Series, Vol.16, 1st Ed., Elsevier, Netherland.

İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

- | | |
|---|------------|
| 1. http://www.igeme.org.tr . | 29.02.2010 |
| 2. http://www.tuik.gov.tr | 04.03.2010 |
| 3. http:// tas-market.com.tr | 15.06.2010 |

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Halil KILIÇ

Doğum Yeri : Balıkesir

Doğuma Tarihi : 14.09.1986

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gönen Lisesi (2000-2003)

Lisans : Afyon Kocatepe Üniv. Teknik Eğitim Fak. Otomotiv
Öğretmenliği (2004-2008)

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniv. Makine Eğitimi (2008-2010)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Tübitak Projesi, Proje Asistanı, 106M006 Nolu Proje 2008-2009