

**BAZI MİNERAL MALZEMELERİN
FREN BALATALARINDA SÜRTÜNME
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KOCA

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim MUTLU

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2011

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI MİNERAL MALZEMELERİN FREN BALATALARINDA
SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet KOCA

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim MUTLU

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2011

TEZ ONAY SAYFASI

Mehmet KOCA tarafından hazırlanan “Bazı Mineral Malzemelerin Fren Balatalarında Sürtünme Özelliklerinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : (Doç. Dr., İbrahim MUTLU)

Başkan	: Prof. Dr., Kubilay ASLANTAŞ AKÜ. Teknoloji Fakültesi,	İmza
Üye	: Doç. Dr., İbrahim MUTLU AKÜ. Teknik Eğitim Fakültesi,	İmza
Üye	: Doç. Dr., İsmail DEMİR AKÜ. Teknik Eğitim Fakültesi,	İmza

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

.....
Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

/ /

İmza
Mehmet KOCA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAZI MİNERAL MALZEMELERİN FREN BALATALARINDA SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet KOCA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi

Danışman: Doç. Dr. İbrahim MUTLU

Fren sistemi, otomobil ve diğer araçlar için çok önemlidir. Bu sistemler otomobillerin kontrolünü sağlamak için geliştirilmiştir. Fren balataları, fren sistemlerindeki en önemli parçalardır. Beklenen sürtünme performansını ve aşınma direncinin sağlanması için optimum şartların sağlanması gereklidir. Bir fren balatasından azami sürtünme ve asgari aşınma değerlerini sağlaması, insan sağlığı ve çevre için zararlı olmaması, aynı zamanda ekonomik olması beklenir. Frenleme sırasında balatanın performansı sürtünme nedeniyle değişebilir veya fren balatası aşırı sıcaklık nedeniyle mekanik deformasyona uğramaktadır.

Bu çalışmada; balata numuneleri diatomit, perlit ve uçucu kül katkılı hazırlanmıştır.

2011, xi+106 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Fren balatası, Diatomit, Perlit, Uçucu Kül, Sürtünme, Aşınma

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

INVESTIGATION OF FRICTION PROPERTIES OF SOME MINERAL MATERIALS IN BRAKE LININGS

Mehmet KOCA

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Sciences

Machine Education Department

Advisor: Doç. Dr. İbrahim MUTLU

Brake systems are very important for automobile and other vehicles. These systems provide to stay in control of the automobile. Brake linings are the most important parts in the brake systems. Optimum conditions are required to provide expected friction performance and wear resistance of brake lining materials. From a brake lining, it is proposed that it has maximum friction and minimum abrasion for expected a brake lining and it is not harmful for the human health and environment. Performance of braking lining in the during braking has been changeable due to friction or braking lining has been undergone to mechanical deformation due to excessive temperature.

In this study; brake livings samples were prepared with addition diatomite, perlite and fly ash.

2011, xi+106 Pages

Keywords: Brake Lining, Diatomite, Perlite, Fly Ask, Friction, Wear.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde yapmış olduğu katkı ve yönlendirmeler ile büyük destek veren ve elinden gelen yardımı esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. İbrahim MUTLU'ya ve bu çalışmanın yürütölmesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen A.K.Ü Teknik Eğitim Faköltesi personel ve araştırma görevlilerine teşekkürü bir borç bilirim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Mehmet KOCA
AFYONKARAHİSAR, 2011

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Otomobillerdeki Fren Sistemleri	8
2.1.1 Disk Fren Sistemleri	10
2.1.2 Kampanalı Fren Sistemleri	11
2.1.3 Kampana ve Disk Malzeme Özellikleri	12
2.2 Fren Balataları ve Özellikleri	13
2.3 Balata Bileşenleri ve Balata Özelliklerine Etkileri	17
2.3.1 Bağlayıcı Maddeler	18
2.3.2 Takviye Malzemeleri (Fiberler)	19
2.3.2.1 Asbest	19
2.3.2.2 Cam Elyafı	21
2.3.2.3 Kevlar (Aramid)	21
2.3.2.4 Çelik Elyaf (Çelik Yünü)	22
2.3.2.5 Taş Yünü	22
2.3.2.6 Basarit	22
2.3.2.7 Fiberfrax	23
2.3.2.8 Mika Grubu	23
2.3.3 Dolgu Malzemeleri	24
2.3.3.1 Barit	25
2.3.3.2 Alçı	25
2.3.3.3 Talk	26

2.3.3.4 Kıl	26
2.3.3.5 Kızılğur (Diatomit)	26
2.3.3.6 Perlit	29
2.3.3.7 Uçucu Kıl	32
2.3.4 Sürtünme Ayarlayıcı Maddeler	35
2.3.4.1 Grafit Tozu	36
2.3.4.2 Bronz Tozu	36
2.3.5 Temizleyiciler	37
2.3.6 Renklendiriciler	37
2.3.7 Madeni Dolgu Malzemeleri	37
2.4 Amaç ve Kapsam	37
3. MATERYAL METOT	39
3.1 Deney Düzeneklerinin Tanıtılması	39
3.1.1 Bilgisayar Programı	42
3.1.2 Yük Hücresi	44
3.1.3 İnvertör	44
3.1.4 Hidrolik Ünite	45
3.1.5 Sıcaklık Ölçme Cihazı	45
3.1.6 Elektrikli Isıtıcı	46
3.1.7 Hassas Terazî	46
3.1.8 Fren Diski ve Balata Tutucu Kaliper Pistonu	47
3.1.9 Sertlik Ölçüm Cihazı	48
3.1.10 Toz Karıştırma Cihazı	49
3.1.11 Yoğunluk Ölçüm Cihazı	50
3.1.12 Numune Parlatma Cihazı	51
3.1.13 Numune Kaplama Cihazı	51
3.1.14 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	52
3.2 Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi	53
3.2.1 Toz Karıştırma Süresinin Belirlenmesi	53
3.2.2 Üretim Basıncının Belirlenmesi	54
3.3 Deney Numunelerinin Üretilmesi	54
3.3.1 Komprime (Soğuk Presleme)	55

3.3.2 Pişirme (Sıcak Presleme)	56
3.4 Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması	59
3.5 Deney Numuneleri	61
3.6 Fren Balataları İçin Türk Standartlarında Belirlenen Deney Şartları	62
3.7 Deney Şartları	64
3.8 Aşınma Dayanımı, Sertlik ve Yoğunluk Testleri	65
4. BULGULAR	67
4.1 Uçucu Kül Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Performansı	67
4.2 Uçucu Kül Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Yüzey Karakteristiği	72
4.3 Diatomit Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Performansı	76
4.4 Diatomit Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Yüzey Karakteristiği	80
4.5 Perlit Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Performansı	83
4.6 Perlit Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Yüzey Karakteristiği	87
4.7 Aşınma Dayanımı, Sertlik ve Yoğunluk	91
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	93
5.1 Sonuçlar	93
5.2 Öneriler	95
6. KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	106

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

μ	Sürtünme Katsayısı
A	Balata alanı (mm ²)
D	Batıcı Bilye Çapı (mm)
d	Bilye İzi Ortalama Çapı (mm)
D _h	Numune yoğunluğu (gr/cm ³)
F	Deney Yüğü (N)
f _m	Deneydeki Ortalama Sürtünme Kuvveti (N)
F _s	Yük hücresinden alınan kol kuvveti
G _{dh}	48 saat su içerisinde bekletildikten sonra numune ağırlığı (gr)
G _{ds}	48 saat su içerisinde bekleme sonrası numunenin saf su doldurulmuş kaptaki ağırlığı (gr)
G _k	Numune kuru ağırlığı (gr)
L	Kuvvet kolu mesafesi (m)
m ₁	Deneyden Önce Ölçülen Balata Kütlesi (gr)
m ₂	Deneyden Sonra Ölçülen Balata Kütlesi (gr)
n	Toplam Devir Sayısı (devir)
P	Basınç(kg/mm ²)
R _d	Disk Yarıçapı (m)
V	Özgöl aşınma (mm)
ρ	Balata Yoğunluğu (gr/cm ³)

Kısaltmalar

BS	Brinell Sertlik Değeri
EDX	Energy Dispersive X-ray Spectroscopy
FAST	Fren Disk Dinamometre Testi
HB	Brinell Sertlik Deneyi
HRA	Rockwell-A Sertlik Ölçme Metodu
NAO	Nonasbeston Organic
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Bir otomobilin hidrolik fren sistemi 9
Şekil 2.2	Bir disk fren ve elemanları 10
Şekil 2.3	Kampanalı fren ve elemanları 11
Şekil 2.4	Kampanalı ve disk frenin şematik görünüşü 13
Şekil 2.5	Kuru balatada basınç ve hızın sürtünme katsayısına etkisi 16
Şekil 3.1	Fren balatası test cihazının şematik görünüşü 41
Şekil 3.2	Deney numunelerinin üretim şeması 59
Şekil 4.1	U5 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi 68
Şekil 4.2	U10 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi 69
Şekil 4.3	U15 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi 69
Şekil 4.4	U20 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi 70
Şekil 4.5	U25 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi 71
Şekil 4.6	Uçucu kül ve barit katkılı numunelerin 5400 sn süresince ortalama sürtünme katsayıları 72
Şekil 4.7	U5 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı 73
Şekil 4.8	U10 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı 73
Şekil 4.9	U15 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı 74
Şekil 4.10	U20 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı 75
Şekil 4.11	U25 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı 75
Şekil 4.12	D5 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi 76
Şekil 4.13	D10 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi 77
Şekil 4.14	D15 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi 78

Şekil 4.15	D20 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi	78
Şekil 4.16	D25 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi	79
Şekil 4.17	Diatomit ve barit katkılı numunelerin 5400 sn süresince ortalama sürtünme katsayıları	79
Şekil 4.18	D5 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı	80
Şekil 4.19	D10 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı	81
Şekil 4.20	D15 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı	81
Şekil 4.21	D20 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı	82
Şekil 4.22	D25 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı	82
Şekil 4.23	P5 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi	84
Şekil 4.24	P10 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi	84
Şekil 4.25	P15 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi	85
Şekil 4.26	P20 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi	85
Şekil 4.27	P25 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi	86
Şekil 4.28	Perlit ve barit katkılı numunelerin 5400 sn süresince ortalama sürtünme katsayıları	87
Şekil 4.29	P5 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı	88
Şekil 4.30	P10 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı	88
Şekil 4.31	P15 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı	89
Şekil 4.32	P20 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı	90
Şekil 4.33	P25 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Tipik ıslak ve kuru balata bileşimleri 14
Çizelge 2.2	TS 555'e göre balataların sınıflandırılması 15
Çizelge 2.3	Türk standartlarına göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri 35
Çizelge 3.1	Disk malzemesinin içeriği 47
Çizelge 3.2	Ortak içerik olarak belirlenen katkı maddelerinin kütleli oranları 54
Çizelge 3.3	Uçucu kül kullanılan numunelerin içerik oranları 61
Çizelge 3.4	Ditomit kullanılan numunelerin içerik oranları 62
Çizelge 3.5	Perlit kullanılan numunelerin içerik oranları 62
Çizelge 4.1	Üretilen numunelerin brinell sertlik, yoğunluk, ortalama sürtünme ve özgül aşınma değerleri 91

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1	Uçucu kül oluşumu, termik santral 34
Resim 2.2	Afşin-Elbistan termik santralinden alınan ve İşçimenler tuğla üretim fabrikasında kullanılan uçucu kül 34
Resim 3.1	Fren balatası test cihazı 39
Resim 3.2	Fren balatası test cihazı otomatik kontrol paneli 42
Resim 3.3	Bilgisayar kontrol paneli grafik göstergesi 43
Resim 3.4	Fren balatası test cihazı manuel kontrol paneli 43
Resim 3.5	Yük hücresi 44
Resim 3.6	Devir ayarlayıcı invertör 45
Resim 3.7	Sıcaklık ölçme cihazı 46
Resim 3.8	Elektrikli ısıtıcı 46
Resim 3.9	Hassas terazi 47
Resim 3.10	Fren diski görünüşü 48
Resim 3.11	Fren balatası test cihazında kullanılan özel olarak yapılmış kaliper pistonu 48
Resim 3.12	Matte test sertlik ölçme cihazı 49
Resim 3.13	Toz karıştırma mikseri 50
Resim 3.14	Arşimet terazisi 51
Resim 3.15	Numune parlatma cihazı 51
Resim 3.16	Numune kaplama cihazı 52
Resim 3.17	Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 53
Resim 3.18	Deney numunelerinin üretildiği soğuk presleme kalıbının görünüşü 55
Resim 3.19	Soğuk pres ile imal edilen balata resimleri 56
Resim 3.20	Deney numunelerinin üretildiği sıcak presleme kalıbı 57
Resim 3.21	Sıcak pres ile imal edilen balata resimleri 58
Resim 3.22	1” lik, ½” lik ve ¼” lik balata tutucu pistonlar 60
Resim 3.23	1” lik balata tutucu piston 60
Resim 4.1	Çalışır durumda deney düzeneği 67

1. GİRİŞ

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

Frenler; kinetik enerjiyi absorbe ederek taşıtın hareketini kontrol eden, yavaşlatan veya durduran elemanlardır (Çetinkaya 1999). Ayrıca hareketsiz duran taşıtın kendi kendine hareket etmesini ve yokuş aşağı inişlerde arzu edilmeyen ivmeleri engellemeye yarayan elemanlardır (Demirsoy 1991). Bunun için kinetik enerji, disk ve balata arasındaki sürtünme işi tarafından ısıya dönüştürülür.

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

Aynı zamanda balataların bir süre hava ve yol şartlarında su, nem, yağ gibi yolların olumsuz etkileri ile karşı karşıya kalmaları, sürtünme özelliklerinin kısmen bozulmasına sebep olur. Uzun süreli çalışmalarda balata sürtünme yüzeyi ısının etkisi

ile sertleşmekte ve parlaklaşmaktadır. Sert ve parlak yüzey (pürüzlülüğün azalması) sürtünen yüzeylerin birbiri üzerinde daha kolay kaymalarına sebep olmaktadır (Gemalmayan 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. 1989).

Bu çalışmada; otomotiv fren balatalarında diatomit, perlit ve uçucu külün fren balatasında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çeşitli katkı maddeleri kullanılarak yeni formülasyonlu fren balataları üretilmiştir. Bu balatalarda, bir balatadan beklenen asgari sürtünme ve aşınma değerlerini sağlaması, insan sağlığı ve çevre için zararlı olmaması, aynı zamanda ekonomik olması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Sürtünme malzemeleri son derece önemli malzemeler olduğu halde literatürde sürtünmeye dayanıklı malzemeler hakkında geniş bilgiye yer verilmekte ancak sürtünme malzemeleri konusunda çok az kaynak bulunmaktadır (Bijwe 1997). Bunun nedeni kısmen çok bileşenli malzemelerin tribolojik mekanizmalarının karmaşık olmasına bağlanabilir. Araştırmalar mekanizmanın anlaşılmasından çok kompozit formülasyonu ve değerlendirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. 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 1987, Jacko et al. 1989, Rhee et al. 1971).

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).

Ticari sürtünme malzemeleri hacimsel olarak %5-25 oranlarında fiber malzeme içermektedir ve fiberli fren balatalarındaki fiber miktarları fren başarısı ve aşınma ömrü gibi bir çok karakteristiği etkiler. Özellikle aramid pulp iyi fiber malzeme olarak çok dikkat çeker. Üretim aşamalarında ön şekillendirme için yeterli güç sağlamasına yardım eder (Kato and Magario 1994). Fiber yönlerinde bir kovalent bağlayıcıyla kristal bir yapı sayesinde anizotropik bir işleme sahiptir ve bağ çaprazlama yönlerde yapıştırırken lif yönünde zayıf bir hidrojen bağı ile rijid bir yapı meydana gelir (Chawla 1998). Seramik fiberler grubunda potasyum titanate whiskers son on yılda yoğun olarak kullanılan bir içeriktir. Onun termal stabilitesi ve bağlayıcı reçineyle iyi uyuşabilirlik özelliği mevcuttur. Potasyum titanate whiskers genellikle onların erime noktasını yükselttiği için daha yüksek sıcaklıklarda termal stabilite sağlar (Milevski and Ketz 1987).

Handa 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).

Boz ve Kurt tarafından yapılan çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada bronz kaplı fren balataları üretmişler ve onların sürtünme-aşınma özelliklerini araştırmışlardır. İkinci aşamada % 0,5, % 1, % 2 ve % 4 alümina (Al_2O_3) tozlarını bronz kaplı tozlara eklemişler ve bronz kaplı fren balatalarını güçlendiren Al_2O_3 üretmişlerdir. Aynı zamanda numuneleri güçlendiren alüminanın sürtünme-aşınma özellikleri araştırmışlar ve sade bronz kaplı ile karşılaştırmışlardır. Bu amaç için, sürtünme katsayısını ve numunelerin aşınma davranışını, gri dökme demir diskinde test etmişlerdir. Aynı zamanda numunelerin sertliğini ve yoğunluğunu belirlemişlerdir. Sinterlenmeden önce ve sonra numunelerin mikro yapıları ve aşınma örneklerinin aşınmış yüzeylerini, bir taramalı elektron mikroskop (SEM) kullanarak incelemişlerdir (Boz ve Kurt 1988).

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).

Washabaugh, Engelhard firmasının ürettiği Emcor 66 (tescilli ticari marka ismi) çok kısa elyafları diğer uzun elyaflarla birlikte kullanarak sürtünme malzemelerinin üretim ve sürtünme-aşınma özelliklerine olan etkilerini incelemiştir. Emcor 66'nın en önemli kısmını magnezyum silikat olan ($Mg_5Si_8O_{26}H_{10}.4H_2O$) attapulgit oluşturmaktadır. Bunun sağlığa zararlı olduğu tespit edilmemiştir. Fenolik reçine ile birlikte cam elyaf, aramid elyaf, Emcor 66 karışımı kompozitler üretilmiştir. Bütün bu kompozitlerin tribolojik değerlendirilmesi soğuk ve sıcak sürtünme katsayılarının 0,35-0,45 arasında olduğu denenen bu elyafların üretim kolaylığı ve yüksek sıcaklıklarda sürtünme kararlılığı sağladığı görülmüştür (Washabaugh 1987).

Kondoh ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, sürtünme malzemesi kalın ve sert partikül içeren geleneksel sürtünme malzemelerinden daha yüksek sürtünme katsayısı ve daha az aşınma özelliği göstermiştir. Bakır esaslı alaşıma mekanik ve aşınma özelliklerini iyileştirmek için Ni, Fe, Zn yağlayıcı olarak grafit ve MoS₂, aşınma direncini iyileştirmek için sert partikül olarak SiO₂, Al₂O₃ katılmıştır (Kondoh et al. 1997).

Loken, wollastonit, BaSO₄, 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).

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).

Yüksek performanslı sürtünme malzemesini güçlendirme işlemleri olarak Youssef ve arkadaşının yaptığı çalışmada, sürtünme malzemelerinin en önemli şartların başında teorik yoğunluğun olduğu ve poroziteyi yok etmek için çeşitli sıcak yoğunlaştırma (densifikasyon) işlemlerinden bahsedilmektedir. Bu işlemler şunlardır: Tek eksenli sıcak sıkıştırma, yalancı sıcak izostatik basınç, sıcak dövme ve sıcak izostatik basınçtır.

Bu işlemler malzemede komple densifikasyon sağlama özelliğindedir. Yüksek enerji uygulanan uçak frenleri ve yüksek hızlı tren frenlerinde kompozisyonun kompleksliği ve yapının sertliğinden dolayı kesme kuvvetlerine maruz kaldıkları belirtilmiştir. Bu yüzden sıcak densifikasyon işlemlerindeki alternatifler kıyaslandığında sıcak dövme işleminin basit, ekonomik ve teknik olduğu görülmüştür (Youssef, Comte 1989).

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, Çevik, Öner 2002).

Hee ve arkadaşları otomotiv fren balatalarındaki sürtünme mekanizması üzerine yapılan araştırma çalışmalara rağmen, konunun tamamen anlaşılamamakta olduğunu ileri sürmektedirler. Onlara göre; kompozit bir sürtünme malzemenin sürtünme ara yüzeyinde meydana gelen kompleks mekanik kimyasal süreçler, sürtünme performans ile fren balata formülasyonu arasındaki korelasyonu anlamayı zorlaştırmaktadır. Yaptıkları çalışmada, yeni formüle edilen bir fren balata malzemesinin sürtünme ve aşınma karakteristikleri ile potasyum-titanın bunlar üzerindeki etkisi üzerine yoğunlaşmışlardır. İki farklı malzeme örneği formüle ederek, bunları test ve analiz etmişlerdir. Bir yarı ölçekli tek sonlu ataletsel tip fren disk dinamometre testi (FAST) kullanarak sürtünme ve aşınma karakteristiklerini incelemişlerdir. Her iki sürtünme malzemesinin performansını yorumlamak için, sürtünme katsayısını, aşınma oranını ve sürtünme yüzeylerini incelemişlerdir. Işık mikroskobunu, tarama ve transmisyon elektron mikroskobunu, enerji ayırıcı X-ray analizlerini ve X-ray difraksiyon analizlerini kullanarak örneklerin sürtünme yüzeylerini araştırmışlardır. Deneysel sonuçların analizine dayanarak, potasyum-titan içeren fren balata malzemesinin önemli ölçüde sürtünme katsayısına sahip olduğunu ve aşınma direncinin stabilitesini arttırdığını ifade etmişlerdir (Hee, Filip 2005).

Stocks ve arkadaşları, kevlar'la takviye edilmiş asbestsiz balata ve kavramalar konusunda bazı çalışmalar yapmışlardır. Kevlar pulpla takviye edilmiş balatalar çelik elyafla takviye edilmiş benzer balatalarla karşılaştırıldığında, soğuk sürtünmenin iyileştiği, gürültü ve titreşimin azaldığı ve hidrolik sıvısına daha az ısı geçişi olduğu görülmüştür (Stock, Giezendanner, Van-Der-Hurk 1985).

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 ısıtılardan 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 ısıtıl 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 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).

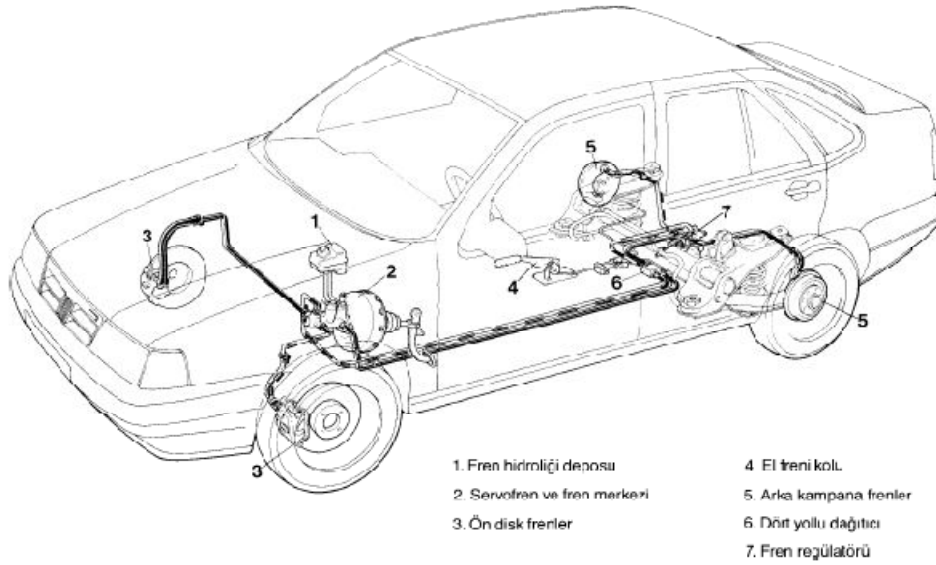
2.1 Otomobillerdeki Fren Sistemleri

Taşıtlarda kampanalı ve diskli olmak üzere iki tip fren kullanılmaktadır. Genel olarak doğrudan doğruya tekerleğe bağlı olan bu frenler iki ana fonksiyonu yerine getirirler.

1. Fren momentinin oluşturulması,

2. Enerji değişiminin gerçeklenmesi (kinetik veya potansiyel enerjinin ısı enerjisine dnştrlmesi ve bu ısınn atılması) (Göktan 1995).

Kampana frenlerinde çoğunlukla kampana sürtünme yüzeyinin büyük kısmından yükleyen (tipik olarak % 50–70 arası) dahili genişleme blokları ile balatalar kullanılır. Otomotiv fren disklerinin çoğunda disk sürtünme yüzeyinin küçük bir kısmına (% 7–25 arası) yükleyen balatalar kullanılır. Disk frenleri daha fazla açık yüzey alanları ve daha iyi soğuma geometrileri ile daha hızlı soğurlar. Fakat sıvı ve katı kirletici parçacıkların her ikisine de açık olması nedeniyle daha korumasızdırlar. Otomobillerde soğuma, kirlenme ve diğer temel tasarım özellikleri nedeniyle n disk fren ve arka kampana fren kullanımı yaygındır. Diski kampana malzemesi olarak genellikle gri dökme demir kullanılmakta ve bu malzeme özellikleri balata sürtünme-aşınma özelliklerini de etkilemektedir (Arslan 1997).



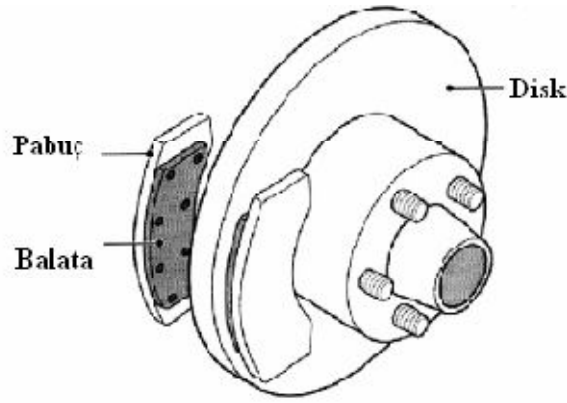
şekil 2.1 Bir otomobilin hidrolik fren sistemi (Göktan 1995).

Fren ana merkezi, n tarafta direksiyon hizasında kalır, direk olarak fren pedalına bağlantılıdır ve ayağınızın mekanik basıncını hidrolik basına dönüştürür. elik "fren boruları" ve "esnek fren hortumları" ana merkezi her bir tekerlekte bulunan "fren silindirlerine" bağlar. "Fren hidroliği" ise çok zor şartlarda alışmakzere tasarlanmış olup sistemi tmyle 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.

2.1.1 Disk Fren Sistemleri

Prencip olarak tekerlekle eş eksenli olarak monte edilmiş olan metal bir disk tekerlekle birlikte dönmektedir. Pabuç adı verilen ve tekerlek askı kollarına bağlı olan bir parça disk genel olarak bir köşesinden kavrar (Şekil 2.2). Ender olarak disk çepçevre kavrayan pabuçlar da mevcuttur. Pabucun iç kısımlarında diskin iki yüzeyine yaslanan balatalar frenleme sırasında hidrolik basınç ile disk her iki yönden eşit kuvvetle sıkıştırılır (Göktan 1995).



Şekil 2.2 Bir disk fren ve elemanları (Ertan 2005).

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

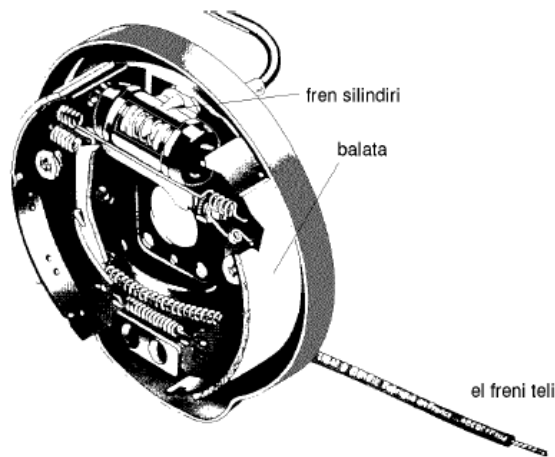
kampananın sürtünme yüzeylerinde zamanla cam gibi bir parlaklık oluşturur ve frenleme etkisinde zayıflama meydana gelir.

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

2.1.2 Kampanalı Fren Sistemleri

Kampanalı frenlerde fren yüzeyi silindiriktir. Çeşitli tipleri olmakla birlikte karayolu taştıtlarının tekerlek frenlerinde iten pabulu olanlar kullanılmaktadır.

Kampana, işletme şartlarının gerektirdiği mukavemet ve ısıl özellikleri sağlamak üzere tasarlanan bir elemandır. Dış yüzeyinde çepeçevre uzanan kanatçıklar mukavemeti arttırmak üzere kullanılırken, açık kenarda çepeçevre bir profil, istenmeyen ısıl genleşmeleri önlemektedir. Soğutma fonksiyonunu da gören bu kanatçıklar bazı kampanalarda radyal doğrultuda birbirine paralel çok sayıda yapılarak hava hareketleri artırılmakta ve dolayısıyla soğutma daha iyi sağlanabilmektedir (Göktan 1995).



şekil 2.3 Kampanalı fren ve elemanları (Göktan 1995).

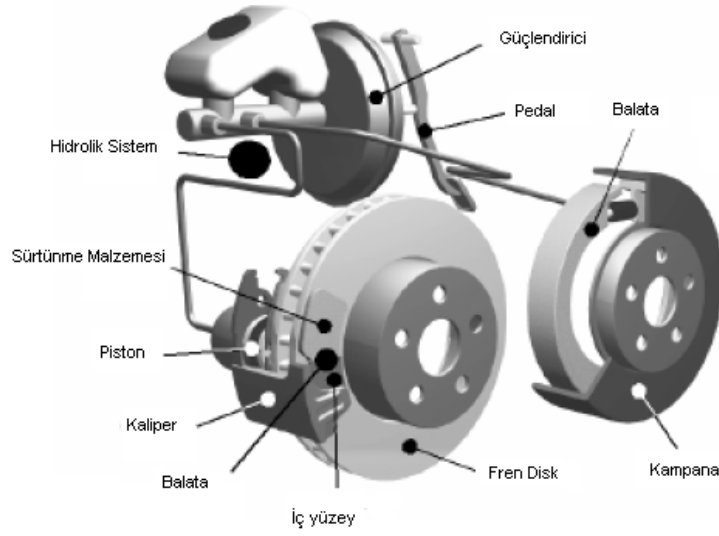
2.1.3 Kampana ve Disk Malzeme Özellikleri

Karşı malzemenin, sürtünme özellikleri ile verimli bir şekilde çalışabilmesi için, sistemin mekanik ve ısıl zorlamalarına karşı dayanıklı olması gerekir. Balata ve karşı malzemede (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 iletme kabiliyetine sahip olması istenir.

Disk ve kampana üretiminde perlitik yapıli dökme demir kullanılır. Bu dökme demirin sertliğı 170-255 HB (kg/mm²) arasında değışmektedir. Dökme demirde % 3,4 civarında karbon bulunmaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda diskli fren sistemlerinin daha yüksek frenleme kuvvetine sahip olduğı 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 2.4 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 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 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.

Metal esaslı balataların aşınma dayanımı ve yüksek ısı dayanımı, organik esaslı balatalara göre daha yüksektir. Hatta daha yüksek enerji absorbe edebilme kapasitesine sahiptir. Mesela; bazı boyutlardaki kavrama ve frenler için daha çok enerji absorbe edebilirler (Klar 1983).

Sinterlenmiş sürtünme malzemeleri uygulama alanlarına göre kuru ve ıslak olmak üzere ikiye ayrılabilirler (Topbaş 1993). Islak şartlarda, güç değişimleri ve otomatik iletimleri sağlayan kavramalar şeklindeki sürtünme elemanları yağ içine daldırılır. Kuru şartlar altındaki sürtünme elemanları ise, (uçak frenleri ve standart kavramalar şeklindeki sürtünme elemanları) yağsız olarak direk kontak halindedir (Klar 1983). Islak balatalarda Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi ana madde bakır, kuru balatalarda ise, daha az bakır ve daha fazla demir kullanılır (Uygur 1996).

Çizelge 2.1 Tipik ıslak ve kuru balata bileşimleri

	Cu	Fe	Pb	Sn	Zn	SiO ₂	Grafit
Islak	65–75	-	2–5	2–5	5–8	2–5	10–20
Kuru	10–15	50–60	2–4	2–4	-	8–10	10–15

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 2.2' de TS 555'te verilen sürtünme katsayısına göre balataların sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 2.2 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

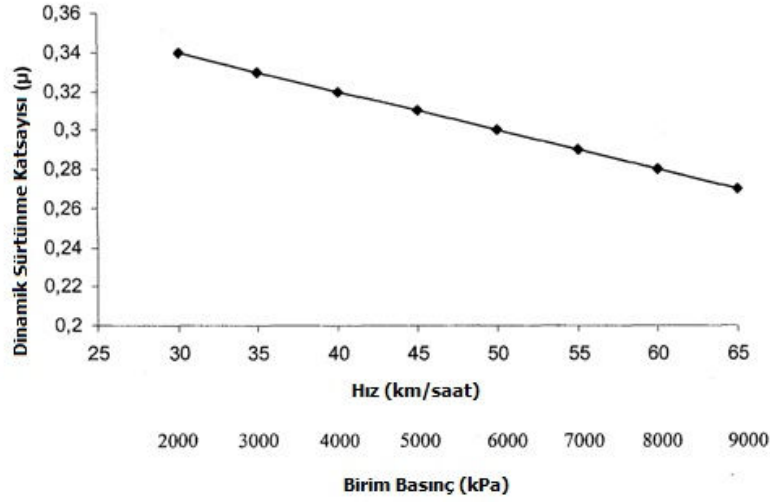
Çalışma şartları göz önüne alındığında balataların ağır şartlarda çalıştığı söylenebilir. Özellikle ağır tonajlı yüksek hızlı taşıtlarda çalışma şartları daha da zorlaşmaktadır. Yüksek hızlarda taşıtın ani olarak durdurulmasında veya uzun süreli frenleme durumunda balata yüzeylerinde 700 °C ye kadar sıcaklık yükselmeleri mümkün olabilmektedir. Çalışma şartlarının ağır olması, balatalardan istenen özellikleri artırmaktadır. Çalışma şartları dikkate alınarak değişik balata malzemeleri geliştirilmiştir (Ayar 1991)

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 artırılır (Gemalmayan 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).

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 1996, Fedorchesco, Kırýachek 1970).

Kuru balatalar, ıslak olanlara göre daha basit ve hafiftir. Şekil 2.1’ 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 2.5 Kuru balatada basınç ve hızın sürtünme katsayısına etkisi (Boz 2003)

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.

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.

2.3 Balata Bileşenleri ve Balata Özelliklerine Etkileri

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). Bunlar;

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

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.

2.3.1 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 kullanılırlar 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 (Gemalmayan 1984).

Reçinelerde polimerizasyonun tamamlanarak sertleşmesine kürleşme denir. Kürleşme termoset bir reçinenin özelliklerinin geri dönülmez bir şekilde kimyasal bir reaksiyonla değişmesidir (Othmer 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).

2.3.2 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.

2.3.2.1 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 gr/cm³ ve ergime noktası 1150-1550 °C dir (Sophie and Mason 2002).

Asbest ve sağlık riski noktasında konuya bakıldığında, asbestle günlük yaşamda adeta iç içe girmiş durumdayız. Asbest tekstilden ilaç sanayine, kimyadan gıda sanayine, uzay teknolojilerinden otomotiv sanayine kadar kullanılmaktadır. Lif yapıya sahip olan

asbest vücuda solunum, ağız ve sindirim yolu ile alınabilir. En tehlikeli sayılan solunum yolu ile alınmasıdır. Asbeste maruz kalmakla 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 asbeste alternatif malzeme araştırmaları hız kazanmıştır. Asbestin sıcaklığa dayanımına ilaveten balatalarda kullanımıyla ilgili faydalı özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

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

Belirli elyaf boyu aralığında makul fiyatlarla yeterince bulunabilir.

Asbestin en önemli özelliği ocaktan çıkarıldığında desteleri oluşturan elyafçıkların içi boştur ve bu özellik asbestte mükemmel işleme özellikleri kazandırır. Elyaf desteleri sürtünme malzemesi üretiminde bağlayıcı reçinenin kurluşmesi sırasında meydana gelen uçucu ürünleri havalandırabilir. Asbeste alternatif düşünülen malzemeler, kompozite iyi sürtünme aşınma özellikleri kazandırmalıdır. Bunun için genellikle tek bir alternatif yerine yeni malzemelerin bir harmanı da kullanılmaktadır. Malzemeler kullanılan üretim yöntemine, ürünün kullanım şartlarına ve müşteri tarafından kabul edilebilecek fiyat göz önüne alınarak seçilmelidir (Dönmez 2000, Anlaş 1988).

2.3.2.2 Cam Elyafı

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

Asbestsiz sürtünme malzemelerinde ana yapının mukavemetini arttırmak amacı ile %10–15 oranında cam elyafına yer verilmiştir. Ayrıca cam elyafın ısı iletiminin az olması asbest liflerine iyi bir alternatif olması ve fleksibl özelliğinden dolayı sürtünme malzemelerinde kullanılabilir yapıya sahiptir (Gemalmayan 1984, Katalog “ABEX” 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 1984).

2.3.2.3 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.

Kevlar fiberler ticari olarak kevlar 29 ve kevlar 49 olarak iki şekilde temin edilebilir. Kevlar 29 orta derecede elastisite modülüne ve yüksek mukavemete sahiptir. Kevlar 49

yüksek elastisite modülü ve yüksek mukavemete sahiptir. Kevlar 49 özellikle yüksek performans gerektiren uygulamalarda tavsiye edilmektedir (Hull 1987).

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

2.3.2.5 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.

2.3.2.6 Basarit

Basarit (tescilli ticari marka) Deutsche Basaltsteinwolle GmbH firması tarafından balata imali için üretildiği bildirilmektedir. Ergitilerek 1 m uzunluğa kadar elyaf yapılabilen bazalt, sıcaklığa dayanıklı, ısı ve ses izolasyonuna uygun, korozyona dayanıklı, sert ve

elastiktir. 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).

2.3.2.7 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 2000). Tipik kimyasal analizi: %52,8 SiO₂, %47,0 Al₂O₃, %1,15 Na₂O, %0,04 Fe₂O₃, kalıntı elementler %0,01'dir.

2.3.2.8 Mika Grubu

Mika, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip levhamsı, kompleks bileşimli hidroalüminyum silikat minerallerine verilen isimdir. Mineralojik olarak yer kabuğunun ağırlıkça %3.8'ini oluşturan mikalar özellikle asidik magmatik ve metamorfik kayalarda bol olarak bulunur. Mika grubu mineralleri arasında endüstriyel öneme sahip ana mineral muskovittir. Bazı alanlarda muskovit yerine kullanılan filogopit ise ikinci derece öneme sahip bir mika grubu mineralidir. Biyotit ise düşük izolasyon özelliği ve yapısındaki demirin kolayca oksitlenmesi nedeni ile endüstride özel kullanım yerlerinde önem taşımaktadır (DPT 1975).

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 1967).

2.3.3 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 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 ısıнын 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 1991).

2.3.3.1 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 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 baritin daha dengeli olmasından dolayı %50-55 arasında yer verilmektedir (Gemalmayan 1986).

2.3.3.2 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. $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ formülü ile gösterilmekte ve yarım sulu alçı olarak da bilinmektedir. 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 1989, Lavrence 1975).

Alçı $0-50^\circ\text{C}$ ısıtıldığında bir miktar genleşir, sıcaklık arttıkça bünyeden su kaybı baslar ve hacimde küçülme gösterir. Alçı, ısı iletkenlik değeri çok düşük bir malzemedir ve bu değer yoğunluk ile orantılıdır. Yeni geliştirilen sürtünme malzemelerinde %50'lere kadar varan oranlarda yer verilerek dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Alçı Teknolojisi 1978).

2.3.3.3 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 1983).

2.3.3.4 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, Örüng 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. Böylece kil minerallerinin esas bileşimini oluştururlar (Süme, V., Güner, M. S., 1999).

Kilde bulunan maddelerin birçoğu renk verici olduğundan; kil'in rengi sarı, kırmızımsı, yeşilimsi, mavimsi, gri, esmer veya siyah olur. Arı killerin rengi beyazdır. Böyle killere "kaolin" denir, porselen eşyalar kaolinden yapılır (Tekinel ve Ark. 1999).

2.3.3.5 Kizelgur (Diatomit)

Kieselguhr "Diatomit" diye de bilinen sedimanter kayalara Almanca ve Fransızca literatürde verilen isimdir. Diatomit minerali tatlı veya tuzlu göl sularında yaşayan diatome adı verilen mikroskobik canlıların fosilleşmiş silisli kabuklarından oluşmuştur. Yurdumuzda oldukça bol ve kaliteli rezervleri bulunmaktadır. Beyaz renkli, yoğunluk 2,1–2,2 gr/cm^3 , ergime noktası ~ 1590 $^{\circ}C$ 'dir. Sanayide dolgu malzemesi, izolasyon malzemesi, filtre malzemesi, olarak, ayrıca gübre ve tarım ilaçları sanayinde kullanılır (Akkurt 1991).

Diatomit, saf, kumlu, milli, killi, kireçle, marnlı, tüflü tiplerde gelişebilir. Masif olabilir veya lâminalı tabakalanma da gösterebilir. Tane boyu dağılımı diatomelerin cinsine ve iriliğine, kavkılarının tam veya kırık oluşuna, kil ve kum gibi katkıların varlığına ve oranına bağlı olarak değişir. Yüksek absorpsiyon özelliği vardır (Akkurt 1991).

Diatomitlerin yaklaşık 15000 türü olduğu saptanmıştır. Her türün kendine özgü geometrik şekli, gözenek yapısı (deseni) ve büyüklüğü vardır. Büyüklükleri 2 ila 500 mikron arasında değişir. Ülkemizde 5-150 mikron arasında değişen büyüklüklerde diatomit türlerine rastlanmaktadır (İnt. Kny. 1).

Bir diatomit rezervinin ticari önem taşıması ve rezervin aktif kizelgur eldesinde kullanılabilmesi için kimyasal özellikleri;

SiO ₂	en az	% 85
AlO ₃	en çok	% 5
Fe ₂ O ₃	en çok	% 1,5
CaO	en çok	% 1,0
MgO	en çok	% 0,5
Alkali oksitler	en çok	%1,0
Kızdırma kaybı	en çok	% 6,0
Gevşek ağırlığı	en çok	250 g/l olmalıdır.

Kayaç yumuşak, hafif, mümkün olduğunca beyaz, ele alındığında kolayca dağılabilen tipte olmalıdır. Mineral örneğinin diatomit olarak kesin tanısı mikroskopik görünüşüdür.

Diatomit rezervden alındığında pH'ı 5-9 arasında değişir. Kalsinasyon işleminden sonra, eğer flaks kalsinasyon yapılıyorsa, pH 10 civarında yükselir. Sadece kalsinasyonda ise pH ham diatomitin pH'ına bağımlı kalır (Mete 1985).

Diatomitin kayaç olarak sertliği Mohr ölçeğine göre 1,5 civarındadır. Fakat silisli kavkının kendi sertliği 4,5-5,0 arasındadır. Kalsinasyon işleminden sonra bu sertlik 5,5-6,0 civarına kadar yükselir. Kizelgurun en önemli özelliği olan gözenekli yapısı %80-

85'lik bir porozite sağlar. Su (sıvı) emme kapasitesi oldukça yüksektir. İşlenmemiş halde ağırlığının 3-4 katı, kalsinasyondan sonra ise ağırlığının 5-10 katı kadar su emebilir. Porozif yapısının bir sonucu olarak spesifik yüzey alanı oldukça yüksektir. Isı iletkenliği son derece düşüktür: 300°C de 0,08, 800°C ve yukarısında ise 0,11 (kcal/mVC.h) (Mete 1985). Bu düşük iletkenlik katsayısı diatomitin porozif yapısı ve düşük yoğunluğu ile izah edilebilir.

Kizelgurun erime noktası bileşimindeki safsızlıklarla ilgili olarak 1000-1590°C arasında değişir. Bu hali ile refrakter hammadde tanımını içine girer.

Kullanım alanları son derece çeşitlidir. Başlıca şu gruplarda toplanabilir:

- Her türlü filtrasyon işlemlerinde filtre yardımcı maddesi olarak; şeker fabrikasyonunda, bira, şarap, meyve suyu, meşrubat ve her türlü içecek üretiminde, hayvani, nebati, makina ve yağlama yağlarının süzülmesinde, atık suların, havuz sularının filtrasyonunda, kuru temizleme çözeltilerinin geri kazanılmasında, ilaç sanayindeki süzme işlemlerinde, asit ve kimyasal madde üretiminde ve daha pek çok hassas veya kaba süzme gerektiren işlemlerde,
- Katkı maddesi olarak; boya, diş macunu, lastik, plastik, ilaç, kozmatik, kağıt, kibrit, cila, sır, temizlik maddesi ve benzerlerinin imalatında,
- Katalizör taşıyıcısı olarak kimyasal reaksiyonlarda,
- Silis kaynağı olarak birçok kimyasal maddenin hazırlanmasında,
- Isı, ses ve elektrik iletkenliğinin son derece düşük olması nedeniyle izolasyon malzemesi imalinde, toz veya plakalar halinde,
- Hafif yapı malzemesi ve refrakter malzeme imalinde ve genelde seramik hammaddesi, olarak geniş uygulama alanları vardır.

Dünya diatomit pazarı yılda yaklaşık %6'lık bir artış göstermektedir. Toplam diatomit tüketiminin, %60'ım filtre yardımcısı, %20'sini boya ve bazı kimyasal maddelere gözenek kazandırıcı olarak katkı maddesi, %5-10'unu ise ısı izolasyonunda yalıtıcı ve refrakter malzemesi olarak, geri kalanını ise çok çeşitli amaçlarla kullanımı teşkil etmektedir.

Yıllık aktif diatomit tüketimi İngiltere'de 70 bin ton, Almanya'da 150 bin ton, Amerika'da 1,5 milyon ton iken, bu değer ülkemizde ancak 2 bin ton civarında kalmaktadır. Bu adı geçen ülkelerin sanayide oldukça ileri olmaları, ister istemez bu tüketim miktarlarının da sanayinin gelişmişliği için bir ölçü olabileceği fikrini hatıra getirmektedir.

Ülkemizde bulunan geniş diatomit rezervlerinin ortaya çıkarılıp işletilmesi ve bu rezervlerin teknolojik değerlerinin saptanması, kullanım alanlarının çoğaltılması ve en önemlisi bu madenin kullanıcıya tanıtılması, ilgili kuruluşların koordineli çalışmaları ile mümkün olacaktır.

2.3.3.6 Perlit

Perlit asidik bir volkanik camdır. Perlit ismi bazı perlit tiplerinin kırıldığı zaman inci parlaklığında küçük küreler elde edilmesi nedeni ile inci anlamına gelen “perle” kelimesinden türetilmiştir. Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genleştirildiğinde çok hafif ve gözenekli bir hale geçen bir kayadır. Perlit kelimesi hem ham perlit için hem de genleştirilmiş perlit için kullanılmaktadır. Çeşitli perlit kayalarının renkleri ve yapıları birbirinden çok farklı olabilir. Bu bakımdan perlit gözle tanımak oldukça zordur. Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişmekte olup, genleştğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlitte en önemli özellik % 2 ile 6 oranında değişen içeriğindeki sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır (İnt. Kny. 1).

Perlitlerin renkleri ve yapıları birbirinden çok farklı olabilir, bu bakımdan, perlit gözle teşhis etmek oldukça zordur. Perlitlerin yapısı genellikle, müşterek merkezli (konsantrik) çatlaklar ihtiva eden, soğan kabuğu şekilli ufak parçalara ayrılmış, inci parlaklığında bir cam halindedir. Bezelye iriliğinden, portakal büyüklüğüne kadar olan perlit nodüllerine rastlanmıştır. Perlitin fiziksel özellikleri aşağıda verilmektedir.

Renk : Beyaz ve gri tonları

Yumuşama noktası : 870-1100°C

Ergime noktası	: 1260-1343°C
OH	: 7,5-8,0
Özgöl ısı	: 0,2 Cal/g°C (837 J/Kg°C)
Özgöl ağırlık	: 2200-2400 Kg/m ³
Rekraftif indeks	: 1,5
Serbest nem (%)	: Max. 0,5
Ağırlık kaybı	: İstenildiği kadar
Gevşek yoğunluk	: 32-400 Kg/ m ³ gibi fiziksel özelliklere sahiptir.

Perlitin kimyasal bileşimi şu değerler arasındadır.

SiO ₂	: % 71.0- 75.0
Al ₂ O ₃	: % 12.5- 18.0
Fe ₂ O ₃	: % 0.1-1.5
CaO	: % 0.5-0.2
MgO	: % 0.02 -0.5
Na ₂ O ₃	: % 2.9-4.0
K ₂ O	: % 0.5-5.0
TiO ₂	: % 0.03 -0.2
MnO ₂	: % 0.0-0.1
SO ₃	: % 0.0-0.2
FeO	: % 0.0-0.1
Cr	: % 0.0-0.1
Ba	: % 0.0-0.05
PbO	: % 0.0-0.03

Bunlardan başka eser miktarda Ni, Cu, B ve Be bulunabilir (İnt. Kny. 1).

Perlit en çok yapı malzemesi olarak kullanılır. Hafifliği, ısı ve ses izolasyonu ve ucuzluğu bakımlarından, hafif inşaat malzemesi imali için bilinen en uygun maddedir. Soğuk hava depolarının soğutma cihazlarının izolasyonu için perlit tercihen kullanılmaktadır. Buhar borularının izolasyonunda, ya gevşek dolgu halinde veya sıva

halinde perlit kullanılmaktadır. 90° C ye dayanıklı fırın izolasyon tuğlaları imalinde de perlitten faydalanılmaktadır.

Süzme yardımcısı olarak önemli miktarda genişmiş perlit kullanılmaktadır. Bilhassa katı madde miktarı fazla olan süzme işlemlerinde ve hızın berraklıktan daha önemli olduğu süzmelerde, diatomit yerine veya yanında perlit tercih edilmektedir. Vakumlu döner filtrelerde perlit üstünlük sağlamaktadır. Şeker, antibiotikler, enzimler, polietilen v.b. perlit ile süzölmektedir.

Ziraatta, bahçecilikte, toprağa perlit karıştırılarak, bitkilere gerekli hava ve nem sağlanmakta, bitkilerin büyümesi için ideal bir ortam elde edilmektedir. Japonya'da mevcut 500 kadar golf sahasında, çimlerin gelişmesi için perlit kullanılmıştır. Ayrıca perlit, ziraî mücadele ilâçları ve sunî gübreler için taşıyıcı vazifesi görür.

Genleşmiş perlitin ince toz kısmı, lâstik, boya, emay, seramik, plastik, kağıt, tekstil, reçine, sabun gibi çeşitli maddelerin imalinde, ekseriya dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.

Dökümcölükte, döküm kumu yerine perlit kullanılarak, eriyiğın kalıpta anî soğumasına mani olunmaktadır. Demir - çelik fabrikalarında sıcak çelik ingotlar nakil esnasında perlitten bir yatak içine yerleştirilmektendir. Ayrıca, metal eriyiğı üzerindeki cürufların toplanması için potalara ham perlit atıldığı öğrenilmiştir.

Sondaj kuyularında, çimentolamada ve çamur katkı maddesi olarak perlitten faydalanılmaktadır. Perlitti çamurun hafifliğı dolayısıyla derin kuyularda pompa basıncının artırılmasına lüzum kalmamaktadır.

Seramik malzemenin sırlanmasında perlitten faydalanılabilir. Demir bileşığı nisbeti az olanlar ince seramik sırlarında, fazla olanlar kaba seramik sırlarında kullanılır.

Halen dünya perlit üretimine Türkiye'nin katkı oranı % 1,3, tüketim oranına ise % 0,025'dir. Ancak Türkiye'nin Batı Anadolu'da sahip olduğı ham perlit potansiyeli ile

dış ülkelerin ihtiyacına cevap vermesinden daha önemli olarak, çeşitli endüstri dallarında giderek, ihtiyacı daha çok hissedilen bu yeni hammaddeyi, ülke içinde de tanıtması gerekmektedir. Bu işlemin iyi yapılabilmesi ölçüsünde, perlitin Türkiye'deki kullanım ve üretim miktarı o ölçüde artacaktır.

Diğer taraftan; Türkiye coğrafik konumunun kendisine yarattığı avantaj ile değişik tane iriliklerinde tasnif edilen genleştirilmemiş perlit; bu hammaddeye sahip olmayan fakat inşaat, yiyecek, petrokimya ve tarım endüstrileri hızla ilerleyen ülkelere ihraç etmek olanağı vardır (Öncül 1975).

2.3.3.7 Uçucu Kül

Uçucu kül, kömürden elektrik üreten termik santrallerin bir yan ürünü olarak elde edilmektedir. Termik santrallerde yakıt olarak genellikle, endüstride kullanılmayan düşük kaliteli kömürler kullanılır. Kömürün yakılması sonucu oluşan külün, yaklaşık %20'si yakma sistemindeki ızgaraların altına düşerek su ile sistemden uzaklaştırılan kazan altı külüdür; %80'i ise, baca gazları ile birlikte sistemden sürüklenir. Uçucu kül olarak isimlendirilen bu kül, bacanın üst kısmında bulunan elektrofiltre veya siklonda tutularak, periyodik olarak santral dışına alınır. Genellikle küresel bir yapıya sahip olan uçucu külün tanecik çapı 1-100 µ arasında değişmektedir (Anderson 1983)

Uçucu kül, termik santralde yakılan yakıt cinsine göre taşkömürü uçucu külü ve linyit kömürü uçucu külü olarak ikiye ayrılır.

Kimyasal yapılarına bağlı olarak uçucu küller 4 gruba ayrılır.

- Silikat- alümina esaslı uçucu kül: Yapılarının büyük kısmı kuvars (SiO_2) ve bir miktar alüminadan (Al_2O_3) oluşmaktadır. Genellikle taş kömüründen kaynaklanan uçucu kül bu sınıfa girmektedir.
- Silikat-kalsit esaslı uçucu kül: Yapısındaki ana oksitler kuvars (SiO_2) ve kalsit'tir (CaCO_3). Bu küldeki kalsit miktarı oldukça yüksektir.

- Sulfür-kalsit esaslı uçucu kül: Yapılarını büyük bölümü kükürt trioksit (SO_3) ve kalsitten (CaCO_3) meydana gelmiştir. Linyit kömüründen kaynaklanan uçucu kül genellikle bu sınıfa girmektedir.
- Sınıflandırılmayan uçucu kül: Termik santrallerdeki yakma sisteminin homojen olmamasından dolayı belirli bir kimyasal yapıya sahip olmayan küldür. Bu sınıfa giren külün kimyasal yapısı sürekli değişebilmektedir (Ulusoy 2008).

Uçucu külün mineralojik ve kimyasal yapısına baktığımızda ise uçucu kül, gözenekli veya dolu camsı küresel taneler ile yanmamış mineralleri içeren süngerimsi ve köşeli aglomere tanelerden meydana gelmektedir. Uçucu külde genellikle, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O , K_2O ve TiO_2 gibi oksitlerin hemen hemen tamamına rastlanmaktadır. Ancak, bunların küldeki yüzdeleri değişmektedir. Örneğin silikat-alümina esaslı bir uçucu külde SiO_2 ve Al_2O_3 , sulfürkalsit esaslı bir uçucu külde ise SO_3 ve CaCO_3 ana bileşenlerdir. Genelde taşkömüründen kaynaklanan uçucu külün, toprak alkali element içeriği linyit kömüründen kaynaklanan uçucu külden daha fazladır (Tokyay ve Çetin 1991).

Uçucu külde en fazla bulunan oksitler; kuvars (SiO_2), mullit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), hematit (Fe_2O_3), manyetit (Fe_3O_4) ve kalsit (CaCO_3)' dir (White 1990).

Minerolojik analizlerde, genellikle uçucu kül içerisindeki silisyumun bir kısmının kuvars kristalleri halinde, diğer kısmının ise mullit ve camsı yapıda olduğu saptanmıştır. Demirin kısmen manyetit ve hematit bileşiminde, geri kalanının ise camsı fazda olduğu görülmüştür. İdeal şartlarda elde edilen uçucu küllerin %66-88'inin camsı yapıda olduğu, %70-88'inin SiO_2 ve Al_2O_3 , geri kalan kısmının ise demir, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum ve titanyum oksitlerinden meydana geldiği saptanmıştır (PFA Data Book 1974, 1967).

Termik santrallerde kullanılan yakıta ve yakma koşullarına bağlı olarak, oluşan uçucu küllerin kimyasal özellikleri değişiklikler göstermektedir. Resim 4.1 de termik santrale ait resim, Resim 4.2' de İşçimenler Tuğla Fabrikasında depo edilmiş kül gösterilmiştir.



Resim 2.1 Uçucu kül oluşumu, termik santral



Resim 2.2 Afşin-Elbistan termik santralinden alınan ve İşçimenler tuğla üretim fabrikasında kullanılan uçucu kül

Türk Standartları Enstitüsü'ne göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Türk standartlarına göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşik	% (Ağırlıkça)
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70 (en az)
MgO	5 (en çok)
SO_3	3 (en çok)
Nem	3 (en çok)
Kızdırma kaybı	10 (en çok)

2.3.4 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 katkılar 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.

2.3.4.1 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 (Gemalmayan 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 $2,1 \text{ gr/cm}^3$, ısı iletkenliği 5.000 W/mK 'dir (Esin 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 and Tabor 1994). Sürtünme malzemelerinde önemli yer tutan grafitin, balatalarda yüzde miktarı uygun değerlerde tutularak, sürtünme katsayısı dağılımının istenilen düzeyde olması sağlanır.

2.3.4.2 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/cm^3 , ergime sıcaklığı 900°C , ısı iletim katsayısı $86,0\text{--}116,0 \text{ W/mK}$ olarak verilmektedir (Kaya 1983).

2.3.5 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).

2.3.6 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).

2.3.7 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).

2.4 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

uçucu kül, diatomit ve perlit katkılı fren balataları üretilmiştir. Yurtdışına bağımlılığın azaltılmasının hedeflenerek ülke ekonomisine katkı sağlanacağı uçucu kül, diatomit ve perlit tozlarının endüstriyel hammadde olan baritin yerine dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Burada uçucu kül, diatomit ve perlitin Türkiye’de temin edilebilirliğinden ve kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Balata özelliklerini iyileştirmek amacıyla uçucu kül, diatomit ve perlit eleme temizleme gibi gerekli fiziksel işlemlere tabii tutulduktan sonra komponent içerisine katılmıştır. En elverişli oranın belirlenmesi amacıyla farklı oranlarda kullanılmıştır. Balata komponentini oluşturan malzemelerden barit (dolgu malzemesi) yerine bu üç malzemenin (uçucu kül, diatomit, perlit) kütlesel % oranları değiştirilerek zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimleri incelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Deney Düzeneğinin Tanıtılması

TS 555 ve TS 9076’da belirtilen şartlara uygun olarak deneylerin yapılabilmesi için bir deney düzeneği üretilmiştir. Daha önce bu konuda yapılmış olan çalışmalar dikkate alınarak deney düzeneğine bir takım aparatlar ve ölçü aletleri konulmuştur. Balataların, farklı devir, sıcaklık, basınç vb. gibi faktörlerin etkisinde sürtünme katsayısı incelenebilmektedir. Fren balatası test cihazı ile sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı-zaman, sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturmak mümkündür (Sugözü 2009).



Resim 3.1 Fren balatası test cihazı

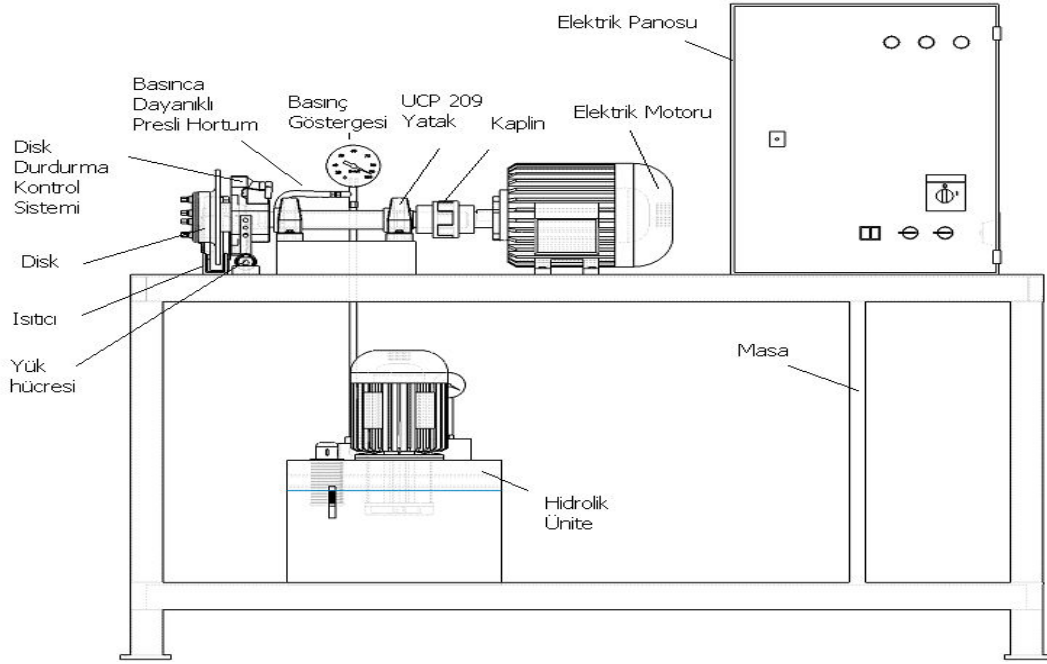
Resim 3.1’de görülmekte olan sürtünme katsayısı test cihazında diski döndürmek için 5.5 Kw gücünde 1400 dev/dak trifaze elektrik motoru seçilmiştir. Elektrik motorundan elde edilen hareketin iletilmesi için Ø 30 mm’lik transmisyon miline ihtiyaç duyulmuştur. Bu mil üzerine iki adet UCP 209 yatak yerleştirilerek milin salınımının engellenmesi amaçlanmıştır.

Elektrik motorundan çıkan dairesel hareketin mil üzerinden diske istenilen devirlerde aktarılması invertör sayesinde gerçekleşmektedir. Bu devirler 0–1400 dev/dak

arasındadır. Elektrik motorunun devir sayısı bilgisayar programından kolaylıkla kontrol edilebilmektedir.

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 kuvvet kısmına girilen değerler ile hidrolik ünite devreye girmekte üzerine üretimi yapılmış balata takılı fren pabuçlarını diske doğru itmektedir.

Disk dönmeye başladığında disk ile kaliper pistonunun uç kısmına takılan numune balata parçası 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. Kaliper pistonunun ucuna takılı numune balatalar disk ile birlikte dairesel olarak dönmek isteyecektir. 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 olunmaktadır. Fren balatası test cihazının şematik görünüşü Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Fren balatası test cihazının şematik görünüşü (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 (Timur 2007).

$$F = P \times A \quad (3.1)$$

$$P = \text{Basınç (kg/mm}^2\text{)}$$

$$A = \text{Balata alanı (mm}^2\text{)}$$

$$\mu = \frac{F_s \times L}{F} \quad (3.2)$$

$$\mu = \text{Sürtünme katsayısı}$$

$$F_s = \text{Yük hücresinden okunan kol kuvveti (kg)}$$

$$L = \text{Kuvvet kolu mesafesi}$$

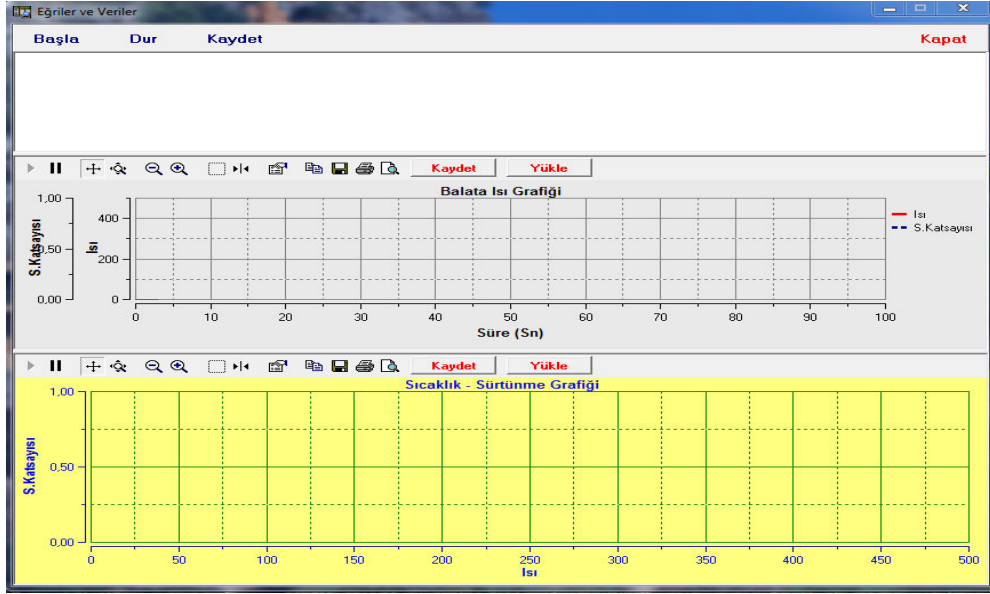
3.1.1. Bilgisayar Programı

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.



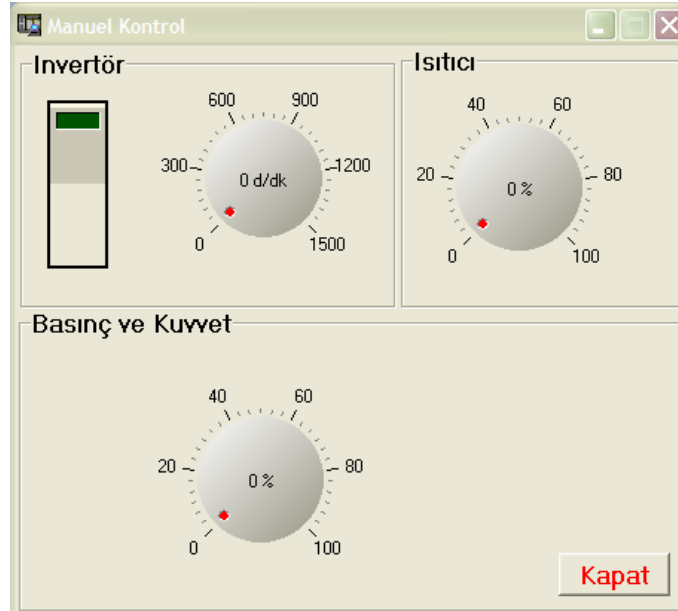
Resim 3.2 Fren balatası test cihazı otomatik kontrol paneli

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’de fren balatası test cihazı manuel kontrol paneli görülmektedir.



Resim 3.4 Fren balatası test cihazı manuel kontrol paneli

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 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 6.5 Yük hücresi

3.1.3 İnvvertör

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 invertör

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, 0 °C - +700 °C aralıklarına kadar çalışabilen ve her saniyede disk üzerindeki sıcaklığı USB bağlantısı ile bilgisayar ortamına aktarabilen Resim 3.7’de görülen İnfrared termometre kullanılmıştır.



Resim 3.7 Sıcaklık ölçme 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 ısıtıcı

3.1.7 Hassas Terazî

Aşınma deneyleri kütle kaybı esasına göre yapılmıştır. Kütle kaybını ölçmek için RADWAG WTB 200 marka Max 200gr ve 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 Kaliper Pistonu

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. Diğer alaşım yüzdeleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Disk malzemesinin içeriği

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

Perlitik dökme demir grafit yaprakçıkları bulundurduğundan iyi bir kayma özelliği gösterir. Yüksek işlenebilirlik, titreşimi soğurma, yüksek ısıl iletkenlik ve aşınma direnci en önemli özelliklerdendir. Bunun yanında kırılğan oluşu ve dinamik yüklere karşı hassas oluşu dikkati çeker. Dökme demirlere eklenen fosfor, % 0,118-% 2,01

(ağırlıkça) arasında bir değere yükseltirirse, bu malzemenin sürtünme katsayısı yükselir. İlave fosfor ile sürtünme katsayısının kararlılığı ve aşınma dirençleri de düzelir. Sürtünen dökme demirlerin en iyi fosfor bileşimi % 1,4–% 2 arasındadır (Mutlu 2002).



Resim 3.10 Fren diski görünüşü

Üretimi yapılmış farklı içerikteki fren balataları Şekil 3.11’de görülen fren test cihazındaki özel olarak yapılmış kaliper pistonuna yerleştirilerek deneyler yapılmıştır.



Resim 3.11 Fren balatası test cihazında kullanılan özel olarak yapılmış kaliper pistonu

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 sürtündüğü yüzeyden üçer farklı noktadan sertlik ölçümleri yapılmıştır. Diskin karşılıklı bölgelerinden ölçümler alınarak l değerlerinin ortalaması alınmış ve diskin sertlik değeri 116 HB - 41.86 HRA olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler izelge 4.1’de verilmiştir.



Resim 3.12 Mattest sertlik lme cihazı

3.1.10 Toz Karıştırma Cihazı

Komponenti oluşturan malzemeler zgl ağırlık bakımından çok fazla farklılıklar gösterdiklerinden mikser ile karışımda 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 farklı 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/cm³)

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

3.1.12 Numune Parlatma Cihazı

Üretilen balataların mikro yapı incelemelerinde görüntünün daha iyi alınabilmesi için numuneler karbon kaplama yapılmadan önce Metkon Gripo 2V marka metalografik numune hazırlama cihazında 600-800-1000 numara zımpara ile zımparalama işlemi yapıldıktan sonra keçe üzerinde temizlenerek parlatılmıştır.



Resim 3.15 Numune parlatma cihazı

3.1.13 Numune Kaplama Cihazı

Taramalı elektron mikroskobundan mikro yapı resimlerinin alınabilmesi için numunelerin iletken olması gerekmektedir. Numuneler yeterli iletkenliğe sahip

olmadıklarından, iletkenlik kazandırmak amacıyla parlatma işleminden sonra numunelerin yüzeyi “BAL-TEC SCD 005 Sputter-Coater” marka kaplama cihazı ile karbon kaplanarak iletkenliği sağlanmıştır.



Resim 3.16 Numune kaplama cihazı

3.1.14 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Sürtünme ve aşınma deneyleri sonrasında numune balataların mikro yapısını incelemek amacıyla LEO 1430 VP model taramalı elektron mikroskobunda (SEM) çalışması yapılmıştır. LEO 1430 VP model SEM cihazı W (Tungsten) filament ile çalışmaktadır. Cihaz üzerinde ikincil elektron (secondary electron), geri yansıyan elektron (backscattered electron) ve X ışınları (EDX- Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) detektörü bulunmaktadır. Cihaz görüntü üzerinde nokta, çizgi, alan ve haritalama yöntemleri ile kalitatif ve semi-kantitatif olarak elementer analizleri yapabilmektedir. Cihaz işletim yazılımında görüntü işleme imkânı sağlamaktadır. Cihaz “değişken basınç” prensibi ile çalışma yeteneğine sahiptir.



Resim 3.17 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

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 and Lawley 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 and Paul 1990). Karıştırma işleminin tipi çoğunlukla karışımı oluşturan malzemelerin türüne bağlıdır. Özellikle yoğunlukları, partikül boyutları ve bazen yüzey karakteristikleri ve sekilerli önemli farklılıklar gösteren toz bileşenlerde karıştırma işlemi zor olabilmektedir (Mutlu 2002).

3.2.2. Üretim Basıncının Belirlenmesi

Kompozitlerin tribolojik özelliklerindeki iyileşme kompozit formülasyonu, üretim ve çalışma parametrelerine bağlıdır (Washabaugh 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, Comte 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 kütle 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 3.2’de görülen ortak içerikler belirlenmiştir.

Çizelge 3.2 Ortak içerik olarak belirlenen katkı maddelerinin kütle oranları

Malzeme Cinsi	% Oranları
Çelik Fiber	10
Reçine	20
Bakır	5
Al ₂ O ₃	3
Cashew	7,5
Grafit	7
Pirinç Tozu	2,5
TOPLAM	55

Ortak içerikler ifadesinden tüm balatalarda kütleli oran esas alınarak bağlayıcı olarak fenolik reçine, metalik katkı olarak bakır, çelik fiber ve pirinç talaşı, seramik katkı olarak alümina (Al_2O_3), katı yağlayıcı olarak grafit kullanılmaktadır. Bu kısım kütleli olarak % 55'lik kısmını oluşturmaktadır. Ortak içerik olarak belirlenen miktardan geriye kalan % 45 lik oran ise dolgu malzemeleri uçucu kül, perlit, diatomit ve barit 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.

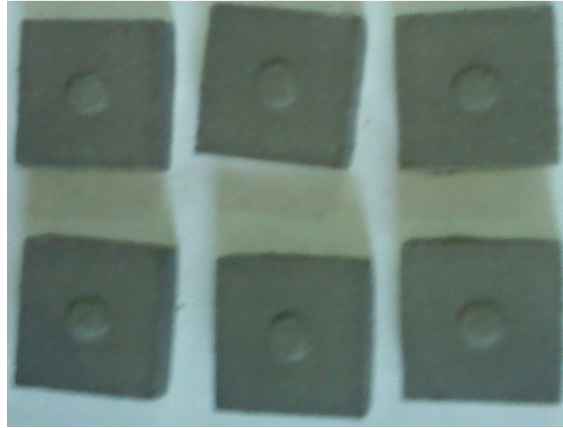
3.3.1 Komprime (Soğuk Presleme)

Belirlenen miktarlarda tartılarak soğuk presleme için Resim 3.18'de gösterilen komprime kalıbına doldurulmuştur ve 9810 KPa (90 kg/cm^2) basınç altında soğuk olarak preslenmiştir.



Resim 3.18 Deney numunelerinin üretildiği soğuk presleme kalıbının görünüşü

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 3.19 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 3.19 Soğuk pres ile imal 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)

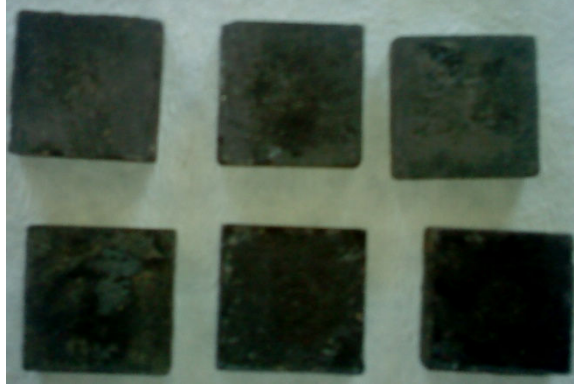
Soğuk presleme işleminden sonra tablet haldeki numuneler pişirme işlemi için sıcak presleme kalıplarına yerleştirilmişlerdir. Numunelere sıcak presleme sırasında 14715 KPa (150 kg/cm^2) basınç uygulanmıştır. Pişirme presindeki kalıplar alt ve üst tablalardan elektrik enerjisi kullanılarak ısıtılmıştır. Pişirme presi $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtma kapasitesine sahip olup sıcaklık kontrolü $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ toleransla termostat ile

yapılmaktadır. 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.



Resim 3.20 Deney numunelerinin üretildiği sıcak presleme kalıbı

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.

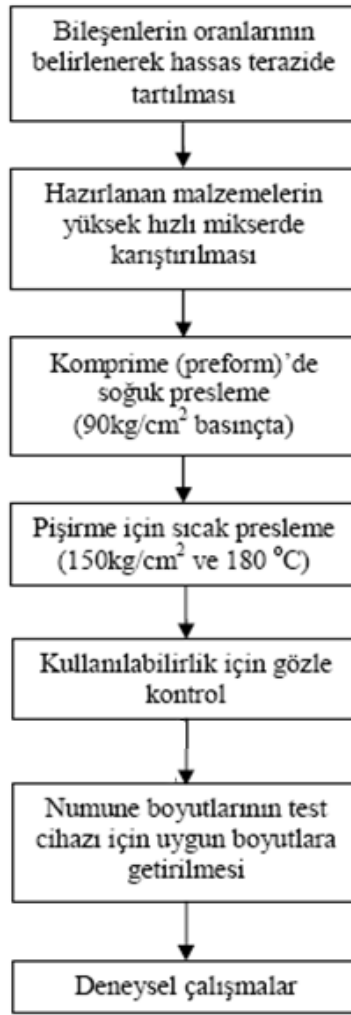


Resim 3.21 Sıcak pres ile imal edilen balata resimleri

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.

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.

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



Şekil 3.2 Deney numunelerinin üretim şeması

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 taslama 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 boy ve en 25.4×25.4 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 Şekil 6.22'de görüldüğü gibi 1" (25.4×25.4 mm), ½" (25.4×12.7 mm) ve ¼" (12.7×12.7 mm)'lik yüzey alanı 2mm derinlikte boşaltılmış olan balata tutucu pistonlar yapılmıştır ve bunlardan 1"(25.4×25.4 mm)'lik piston kullanılmıştır.



Resim 3.22 1" lik, ½" lik ve ¼" lik balata tutucu pistonlar

Balataların, balata tutucu pistonla takılabilmesi için 1" (25.4×25.4 mm) boyutlarında balata kullanılmıştır. Resim 3.23'de balata tutucu piston görülmektedir. Balata malzemesi şekildeki parçanın orta kısmında bulunan 2 mm derinliğindeki alana sıkı geçme yapılarak tutunma sağlanır.



Resim 3.23 1" lik balata tutucu piston

3.5 Deney Numuneleri

Üretilen numune balatalar asbestsiz organik balatalar (NAO-nonasbestos organic) grubunda olup polimerik bağlayıcılı ve üretim metoduna göre presleme yoluyla üretilmiştir. Numune balataların üretimi üç farklı grup olarak planlanmıştır. Birinci grupta diatomit ve barit tozu ile birlikte belirlenen diğer bileşenler seçilmiştir. İkinci grupta uçucu kül ve barit tozu ile birlikte diğer bileşenler seçilmiştir. Üçüncü grupta ise perlit ve barit tozu ile birlikte diğer bileşenler seçilmiş ve normal üretim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her üç grupta da balata bileşenleri içerisinde barit tozu ürünlerine yer verilmiştir.

Bu malzemelerin uygun değer oranlarını belirlenmesi için beş farklı oran kullanılmıştır. Bu yüzden üç grupta farklı içeriklere sahip 45 adet numune kullanılmıştır. Barit'in maliyete etkisi ve yurtdışına bağımlılık getirdiği dikkate alındığında alternatif olarak diatomit, uçucu kül ve perlit kullanılmıştır. 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.

Çizelge 3.3 Uçucu kül kullanılan numunelerin içerik oranları (% Kütleli)

	U5	U10	U15	U20	U25
Uçucu Kül	5	10	15	20	25
Çelik Fiber	10	10	10	10	10
Cashew	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Reçine	20	20	20	20	20
Bakır	5	5	5	5	5
Al₂O₃	3	3	3	3	3
Grafit	7	7	7	7	7
Pirinç Tozu	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Barit	40	35	30	25	20
TOPLAM	100	100	100	100	100

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 3.4 Ditomit kullanılan numunelerin içerik oranları (% Kütlesel)

	D5	D10	D15	D20	D25
Ditomit	5	10	15	20	25
Çelik Fiber	10	10	10	10	10
Cashew	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Reçine	20	20	20	20	20
Bakır	5	5	5	5	5
Al₂O₃	3	3	3	3	3
Grafit	7	7	7	7	7
Pirinç Tozu	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Barit	40	35	30	25	20
TOPLAM	100	100	100	100	100

Çizelge 3.5 Perlit kullanılan numunelerin içerik oranları (% Kütlesel)

	P5	P10	P15	P20	P25
Perlit	5	10	15	20	25
Çelik Fiber	10	10	10	10	10
Cashew	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Reçine	20	20	20	20	20
Bakır	5	5	5	5	5
Al₂O₃	3	3	3	3	3
Grafit	7	7	7	7	7
Pirinç Tozu	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Barit	40	35	30	25	20
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;

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 l/d döndürülür (Pektaş 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.

Balatalarda sertlik deneylerinin TS 139’da belirtilen şartlarda yapılması gerektiği TS 555’te belirtilmiştir. TS 139’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).

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

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).

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 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.

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

V = Özgül aşınma

m_1 = Deneyden önce ölçülen balata kütlesi (gr)

m_2 = Deneyden sonra ölçülen balata kütlesi (gr)

ρ = Balata yoğunluğu (gr/cm³)

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 0,55 KPa 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 0,55 KPa basınç altında ve 40 °C'den 400 °C sıcaklığa kadar 5400 saniye süresince her saniyedeki değerler bilgi kütüğüne kaydedilerek belirlenmiştir (SAE J2430/B.E.E.P. 2002).
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 4.1'de verilmiştir.
5. Balataların aşınma miktarının belirlenmesinde deneyler 0,55 KPa 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 baticı 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 25.4×25.4 mm olduğu için yüzey köşegenlerinin çakıştığı orta noktalarından değerler alınmıştır. Deney sırasında kullanılan diskte 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 doksan çeşit uçucu kül, diatomit, perlit ve barit takviyeli numune üretilmiştir. Bu numunelerin Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5 de görüldüğü gibi oranları aynı olup üretim bu oranlarda yapılmıştır. Dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla barite alternatif 5 farklı oranda uçucu kül katkılı numune, 5 farklı oranda diatomit katkılı numune ve 5 farklı oranda perlit 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 deneyden sonra hassas terazide ölçülmüş ve deney sırasında ne kadar kütle kaybettiği hesaplanarak aşınma miktarları bulunmuştur.

4. BULGULAR

15 farklı formüllere sahip numuneler 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 uçucu kül, diatomit, perlit 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 en az üçer kez tekrarlanmıştır ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Uçucu kül ve barit katkılı numuneler “U” harfiyle, diatomit ve barit katkılı numuneler “D” harfiyle, perlit ve barit katkılı numuneler ise “P” harfi ile simgelendirilmiştir. Simgelerde bulunan sayı ise katılan uçucu kül, diatomit ve perlitin kütleli % oranlarını ifade etmektedir. Uçucu kül ve barit, diatomit ve barit ile perlit ve baritin toplamı % 45’dir. Resim 4.1’de çalışır durumda deney düzeneği görülmektedir.



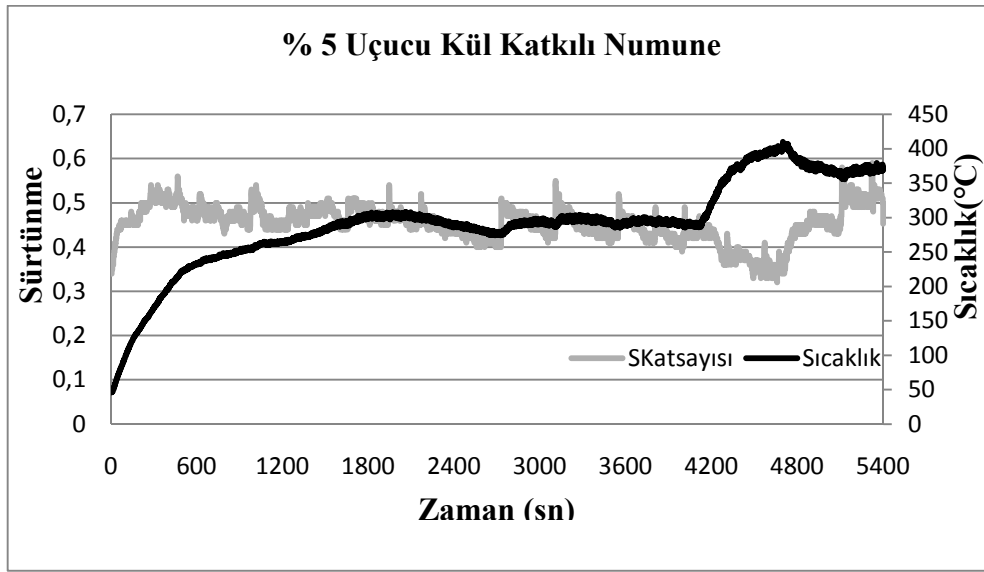
Resim 4.1 Çalışır durumda deney düzeneği

4.1 Uçucu Kül Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Performansı

Bu çalışmada asbestsiz fren balatası içeriğinde dolgu maddesi olarak kullanılan barite alternatif olarak uçucu külün kullanımının frenleme performansına etkisi araştırılmıştır.

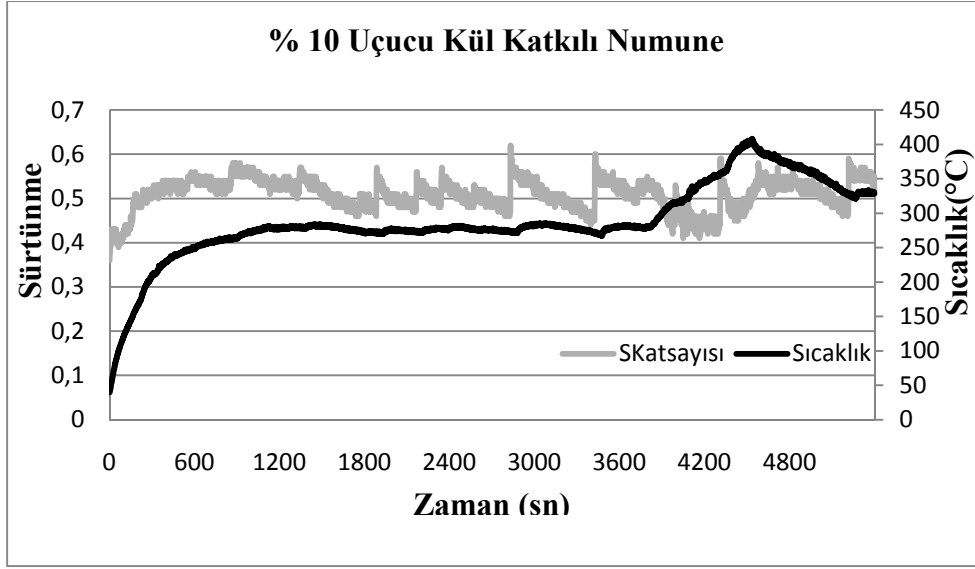
Uçucu külün ısı dirençleri, seramik yüzeylerindeki dayanıklılık ve termal genişlemeyi düşürme özellikleri onların fren balatasında kullanımlarını çekici hale getirmektedir.

Uçucu kül katkılı örneklerde sürtünme tabakası gelişimi içeriğe bağlı olarak 50 ila 150 saniye sürmüş ve daha sonra sürtünme tabakasını oluşturan içeriklerin özelliğine göre sürtünme karakteristiği şekillenmiştir (Şekil 4.1 – 4.5).



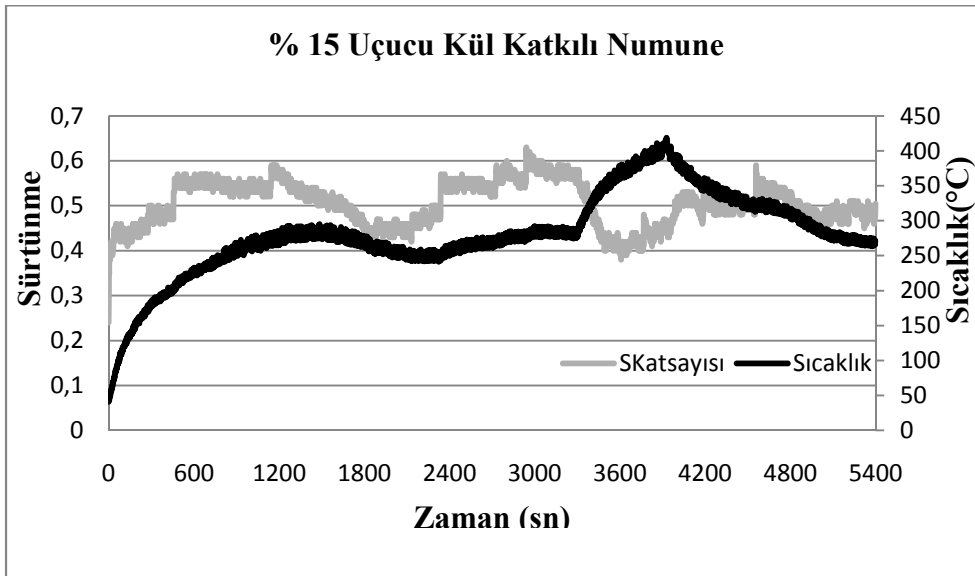
Şekil 4.1 U5 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

% 5 uçucu kül ve % 40 barit içeren ve 0,453 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen U5 kodlu numunenin Şekil 4.1’de sürtünme-sıcaklık değişimi görülmektedir. Sürtünme grafiğinde 4200 saniyeye kadar 0,50 civarında ortalama sürtünme değeri göstermektedir. Disk yüzey sıcaklığının 300 ila 400 °C’yi bulduğunda sürtünme katsayısı 0,35’lere kadar düşmüştür. 400 °C’de fenolik reçine sıcaklık nedeniyle gevşemeye başlamıştır. Sürtünme yüzeyinde mevcut bulunan ve karşı yüzeye direnç gösterecek sert malzemelerin reçinenin gevşemesi sebebiyle bünyeden kopmasıyla sürtünme katsayısında düşme oluşmuştur.



Şekil 4.2 U10 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

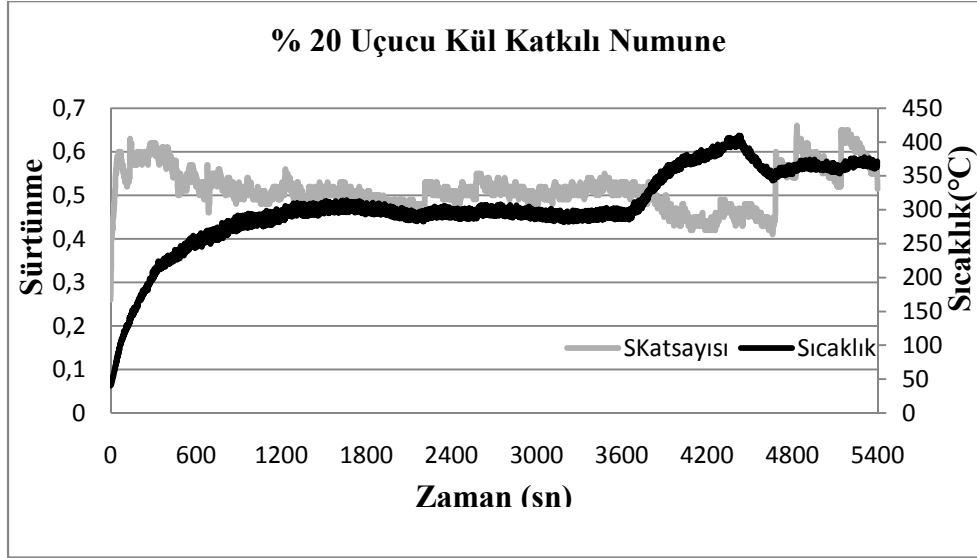
% 10 uçucu kül ve % 35 barit içeren ve 0,510 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen U10 kodlu numunenin Şekil 4.2’de sürtünme-sıcaklık değişimi görülmektedir. Sürtünme katsayısı grafiğinde ani iniş çıkışlar gözlenmektedir bunun sebebi olarak balata içeriğinde bulunan metal parçacıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.3 U15 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

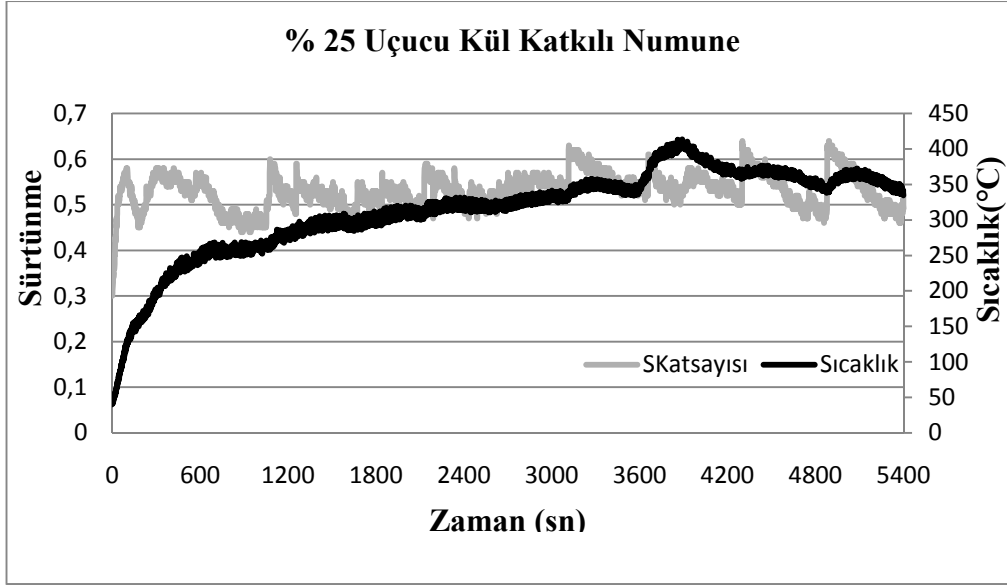
%15 uçucu kül, %20 barit içerikli numune 0,505 ortalama sürtünme katsayısı sergilemiştir. U15 kodlu bu numunenin sürtünme-sıcaklık değişimi Şekil 4.13’de

görülmektedir. Sürtünme grafiğinde yaklaşık 3000 saniyede sürtünme katsayısı 0,6'nın üzerine çıkarak en yüksek sürtünme katsayısı değerini göstermiştir. 3600 saniyeden sonra sıcaklığın artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısında düşüş görülmektedir ve bu saniyelerde en düşük sürtünme katsayısı değerini göstermiştir.



Şekil 4.4 U20 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

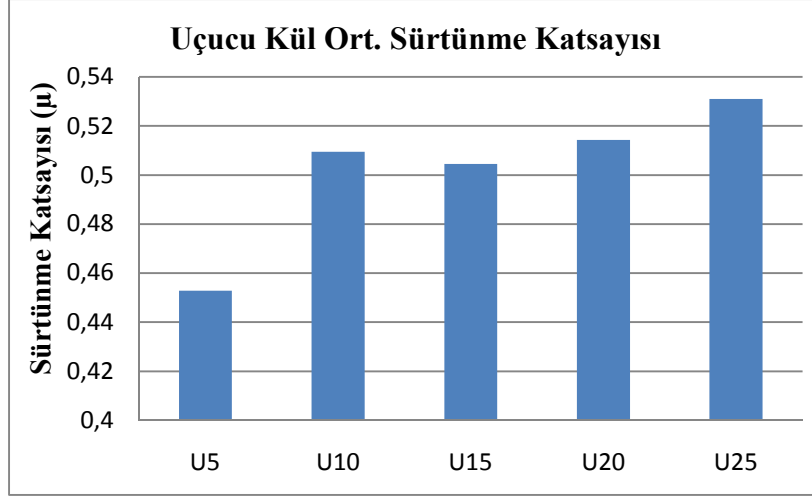
Uçucu kül katkılı bütün numunelerde sürtünme yüzey sıcaklığı 300 °C – 400 °C arasında iken sürtünme katsayısında 0,07 ile 0,05 arasında bir düşme olmuştur. Sürtünme katsayısındaki bu düşmenin sebebi tam olarak belirlenememekle birlikte sıcaklığın etkisiyle balata içyapısındaki karmaşık ısıl-mekanik etkiler sonucu olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.1, 4.3, 4.4).



Şekil 4.5 U25 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

% 25 uçucu kül ve % 20 barit içeren ve 0,531 sürtünme katsayısı ortalaması ile en yüksek değeri sergileyen U25 kodlu numunenin Şekil 4.5’de sürtünme-sıcaklık değişimi görülmektedir. U25 kodlu numunenin sürtünme-sıcaklık değişiminde de diğer grafiklere benzer şekilde ani iniş-çıkışlar gözlenmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı 0,65’leri bulmaktadır.

Sürtünme katsayısı değişimi için bu grafikler incelendiğinde, U5, U20, U25 kodlu numuneler U10 ve U15 kodlu numunelere göre daha az dalgalanma göstermiştir. Sürtünme katsayısındaki dalgalanmaların sürtünme tabakasını oluşturan malzeme özelliklerine bağlı olarak dalgalandığı düşünülmektedir. Sürtünme tabakasının sıcaklığı 300 °C civarında iken sürtünme katsayısında dalgalanma durmuş ve sabit kabul edilecek şekilde seyretmektedir (Şekil 4.4). Bu aşamada sürtünme katsayısı değeri 0,50 civarındadır. Bu durum uçucu kül katkılı diğer numunelerde de kısmen görülmektedir (Şekil 4.2, 4.3, 4.5). U5, U20 ve U25 kodlu numunelerin ilk 200 saniyelik kısmı U10 ve U15 kodlu numunelerle ortak özellik göstermektedir. Bütün grafiklere baktığımızda sürtünme grafiğinde ani inişler ve çıkışlar görülmektedir. U5 kodlu numunede ilk 600 üncü saniye ile 5000-5400 saniyeleri arasında en yüksek sürtünme katsayısı değerine ulaşmıştır.



Şekil 4.6 Uçucu kül ve barit katkılı numunelerin 5400 sn süresince ortalama sürtünme katsayıları

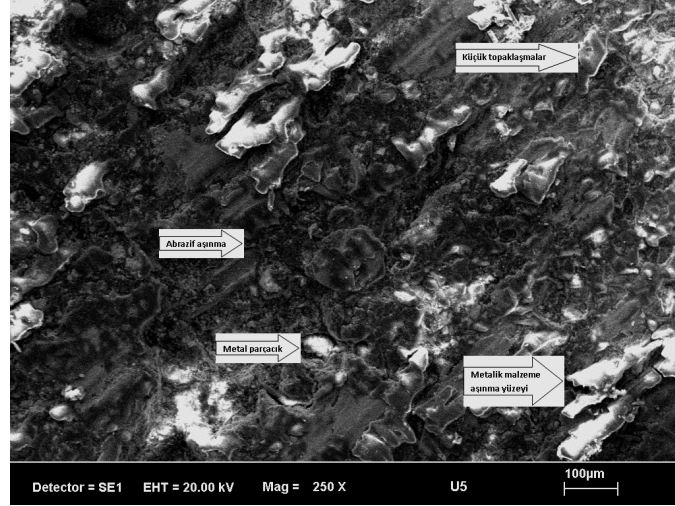
Uçucu kül ve baritin ortalama sürtünme katsayı değişimlerine baktığımızda ortalama sürtünme katsayısında genel bir artış gözlenmektedir. Uçucu kül oranı arttıkça ortalama sürtünme katsayısı değerinin de arttığını söyleyebiliriz. Burada % 25 uçucu kül ve % 20 barit içeren ve 0,531 sürtünme katsayısı ortalaması ile en yüksek değeri sergileyen U25 kodlu numune balata içeriğinde dolgu maddesi olarak kullandığımız baritin yerine alternatif olarak kullanabileceğimizi göstermektedir.

4.2 Uçucu Kül Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Yüzey Karakteristiği

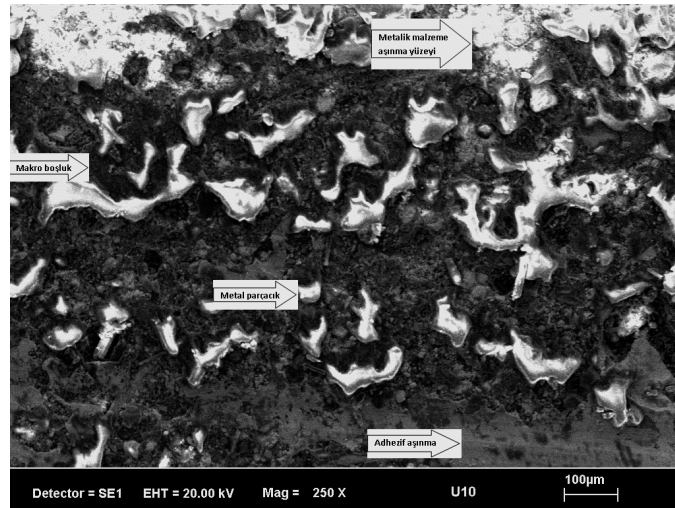
Uçucu kül katkılı fren balatalarının sürtünme yüzeyinin karakteristiğini belirlemek amacıyla çekilen SEM fotoğrafları Şekil 4.7–4.11’de görülmektedir. Söz konusu resimlerde genel olarak, sürtünme yüzeylerinde abrazif aşınmalar sonucu oluşan çizikler, mikro ve makro boşluklar ve adhezif aşınmalar sonucu oluşan üzeri kaplanmış sürtünme tabakaları olduğu görülmektedir. Ayrıca oluşan sürtünme yüzeylerinde komponenti oluşturan malzemelerin sürtünmeye aktif olarak katıldıkları da anlaşılmaktadır.

U5 kodlu numunenin SEM fotoğrafında sıkı bir yüzey yapısı ile birlikte komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı Şekil 4.7’de görülmektedir. Sürtünmenin etkisiyle parçacıkların bünyeden kopması sonucu oluşan mikro ve makro boşluklar

görülmektedir. U5 kodlu numunede % 5 uçucu kül ve % 40 barit mevcuttur. SEM fotoğrafından anlaşıldığı kadarıyla kısmen abrazif aşınma görülmekte ve kısmen adhezif aşınma belirtileri mevcuttur. Dolayısıyla sergilediği sürtünme performansı sürtünme yüzey karakteristiğinde de görülmektedir.



Şekil 4.7 U5 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

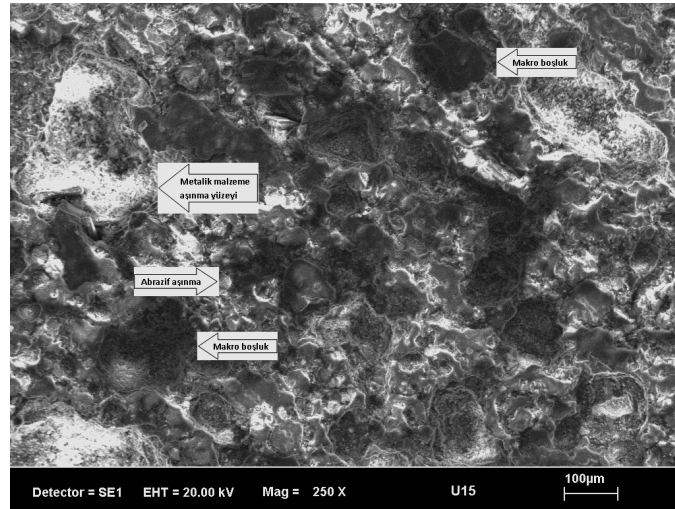


Şekil 4.8 U10 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

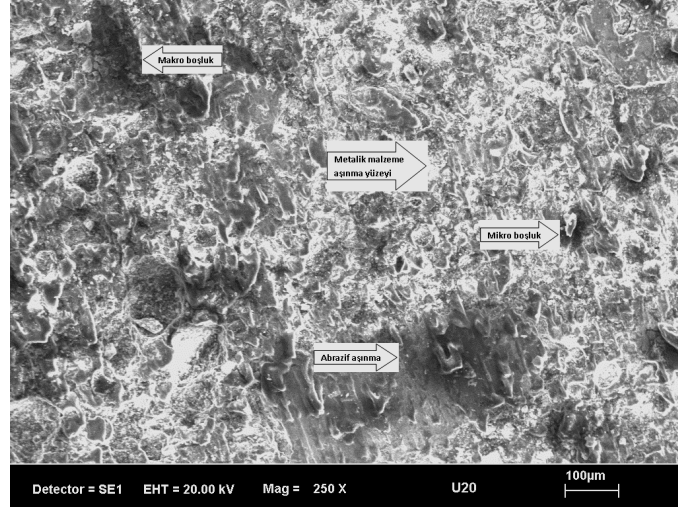
U10 kodlu numunenin SEM fotoğrafında sıkı bir yüzey yapısı ile birlikte komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı görülmektedir (Şekil 4.8). Sürtünmenin etkisiyle parçacıkların bünyeden kopması sonucu oluşan mikro ve makro boşluklar görülmektedir. U10 kodlu numunede % 10 uçucu kül, % 35 barit mevcuttur ve 0,510

sürtünme katsayısı ortalaması göstermiştir. SEM fotoğrafından anlaşıldığı kadarıyla yer yer abrazif aşınma görülmekte ve kısmen adhezif aşınma belirtileri mevcuttur. Dolayısıyla sürtünme yüzey karakteristiği sergilediği sürtünme performansını da etkilemiştir.

Şekil 4.9’da U15 kodlu numunenin SEM fotoğrafı görülmektedir. Uçucu kül katkılı diğer numunelerin sürtünme yüzey karakteristiğine benzer özellikler göstermektedir. Sürtünme yüzeylerinde oluşan çiziklerin abrazif aşınmadan kaynaklandığı ve balata bünyesinden kopan bazı parçacıkların makro ve mikro boşluklar oluşturduğu görülmektedir. 0,505 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen U15 kodlu numune % 30 barit, % 15 uçucu kül içermektedir.

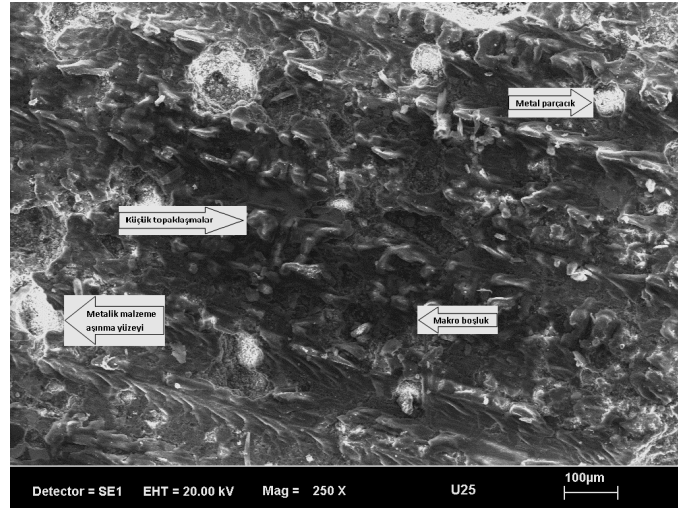


Şekil 4.9 U15 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı



Şekil 4.10 U20 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

Şekil 4.10’da SEM fotoğrafı görülen U20 kodlu numune % 20 uçucu kül, % 25 barit içermektedir ve 0,514 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen bu numunenin sürtünme oluşan yüzeyinde mikro ve makro boşluklar mevcuttur. Yüzeyinde oluşan çukurlukların adhezif aşınmadan kaynaklandığını söylenebilir.



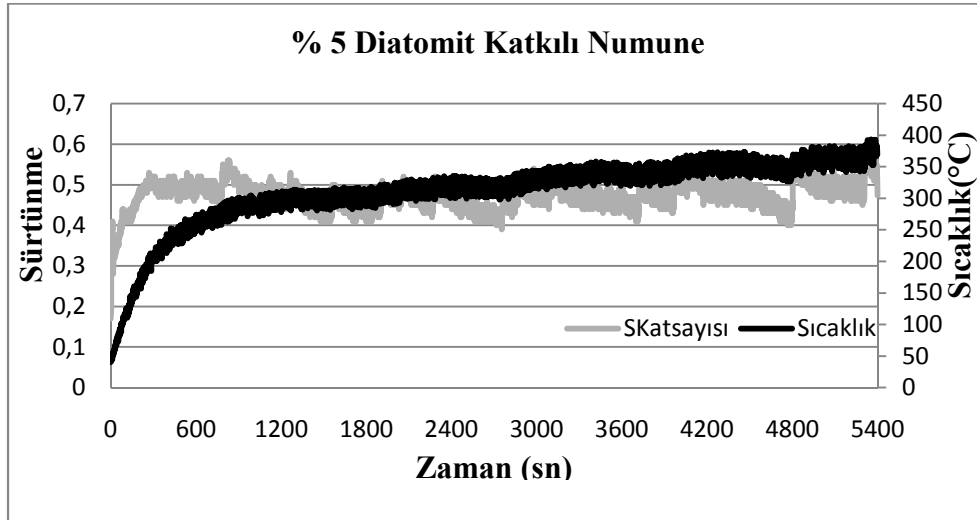
Şekil 4.11 U25 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

% 20 barit, % 25 uçucu kül içeren ve 0,531 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen U25 kodlu numunenin SEM fotoğrafı Şekil 4.11’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi abrazif aşınmaya maruz kalmış sürtünme yüzeyleri görülmektedir. Yine diğer numunelerde de görülen sürtünmeye bağlı mikro ve makro boşluklar mevcuttur.

Fakat abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği küçük beyaz renkli bölgeler görülmektedir.

4.3 Diatomit Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Performansı

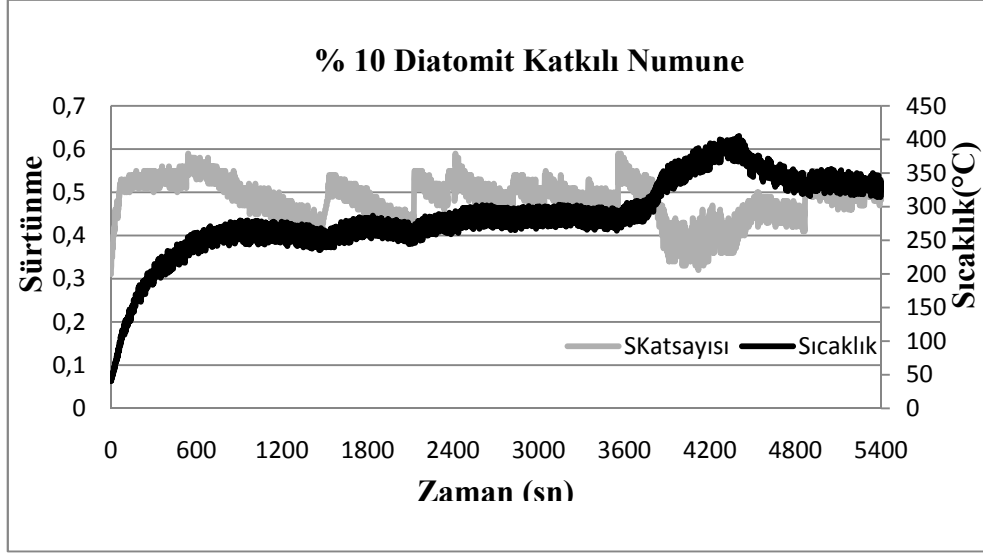
Diatomit katkılı numunelerin sürtünme performansları Şekil 4.12–4.16’da görülmektedir. Bu grafiklere genel olarak bakıldığında, D15 kodlu numune, D5, D10, D20 ve D25 kodlu numunelere göre daha az dalgalanmış ve 0,510 ortalama sürtünme katsayısı değerine sahiptir (Şekil 4.14). D kodlu numunelerin hepsinde sürtünme testinin başlangıcında sürtünme tabakası oluşum süreci ilk 300 saniye içerisinde oldukça belirgindir.



Şekil 4.12 D5 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

D5 kodlu numune sürtünme tabakası oluşum sürecinde sürtünme katsayısında yaklaşık 0,15'lik önemli bir artış göstermiştir (Şekil 4.12). Fakat deneyin devamında $\mu=0,50$ den $\mu=0,40$ 'a kadar dalgalanmalı olarak düşme göstermiştir. Sürtünme yüzey sıcaklığı 200 °C-300 °C arasında sürtünme yüzeyinde nedeni henüz tam belirlenemeyen bir kısım ısı-mekanik etkileşimlerin olduğu ve 300 °C'nin üzerinde söz konusu etkileşimlerin son bulduğu sonucu çıkarılabilir. % 5 diatomit ve % 40 barit içeren ve 0,474 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen D5 kodlu numunenin sıcaklık grafiğinde düzenli bir artış görülmektedir. Bu artışın sürtünme grafiğindeki iniş-çıkışlar ortalama sürtünme

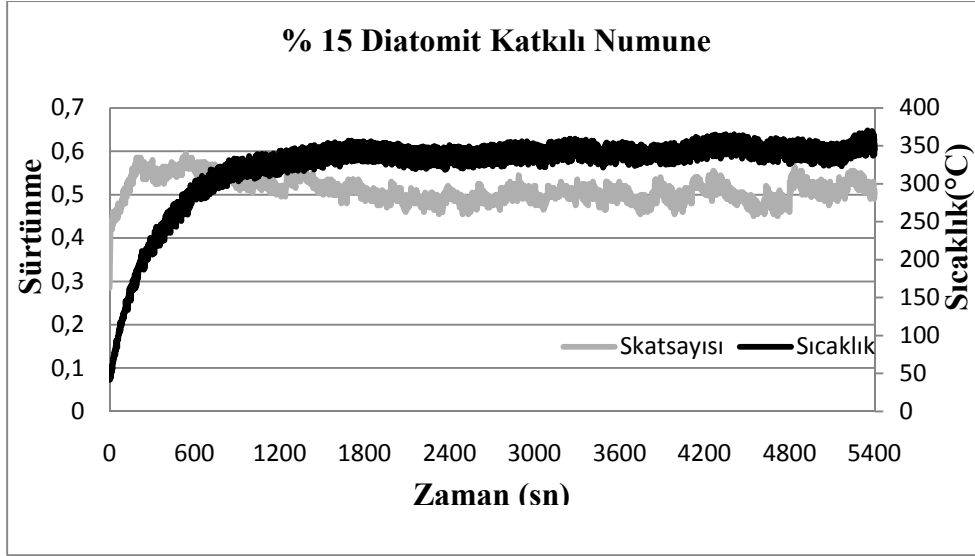
katsayısı üzerinde seyrettiğinden düzenli olarak bir sürtünme sağlandığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.13 D10 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

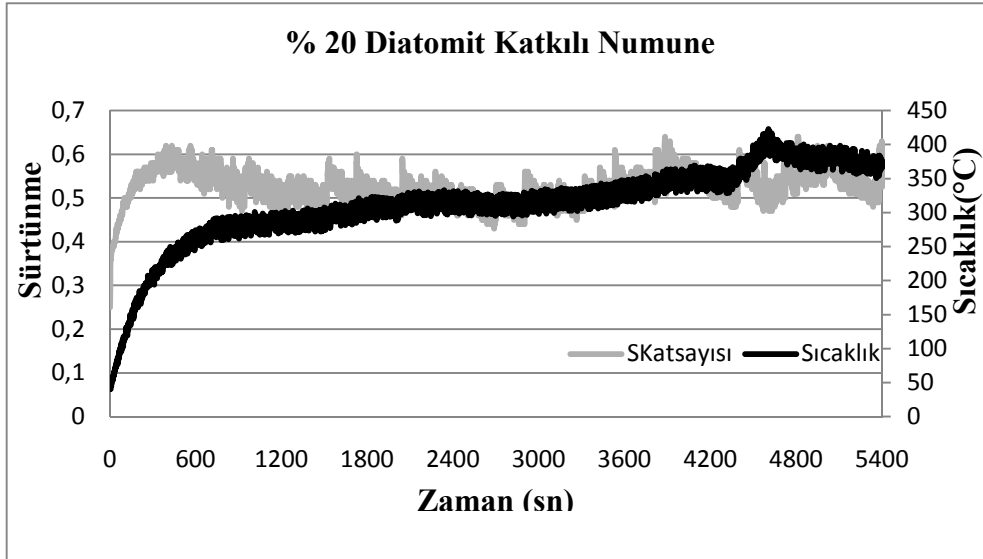
%10 diatomit, %35 barit içeren P10 kodlu numune 0,482 ortalama sürtünme katsayısı değerini sergilemiştir. Bu numunenin sürtünme-sıcaklık değişimine baktığımızda (Şekil 4.13) en yüksek sürtünme katsayısı değerini ilk 600 saniyede ulaşmıştır. 4200'cü saniyelerde sıcaklık 400 °C' ye çıkarak en yüksek değeri göstermiştir. Sıcaklığın artmasıyla sürtünme katsayısı 0,3'lere kadar düşerek en düşük sürtünme katsayısı değerini göstermiştir.

%15 diatomit, %30 barit içeren ve 0,510 ortalama sürtünme katsayısı sergileyen P15 kodlu numunenin sürtünme-sıcaklık değişimi görülmektedir (Şekil 4.14). Bu numunenin sürtünme-sıcaklık değişimine baktığımızda sürtünme grafiğindeki dalgalanmaların daha az olduğunu görülmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı değerine ilk 600'cü saniyelerde ulaşmıştır. Sürtünme katsayısı deney süresince 0,5'lerde seyretmiştir. Buna bağlı olarak sıcaklık 350 °C'nin üzerine çıkmıştır.

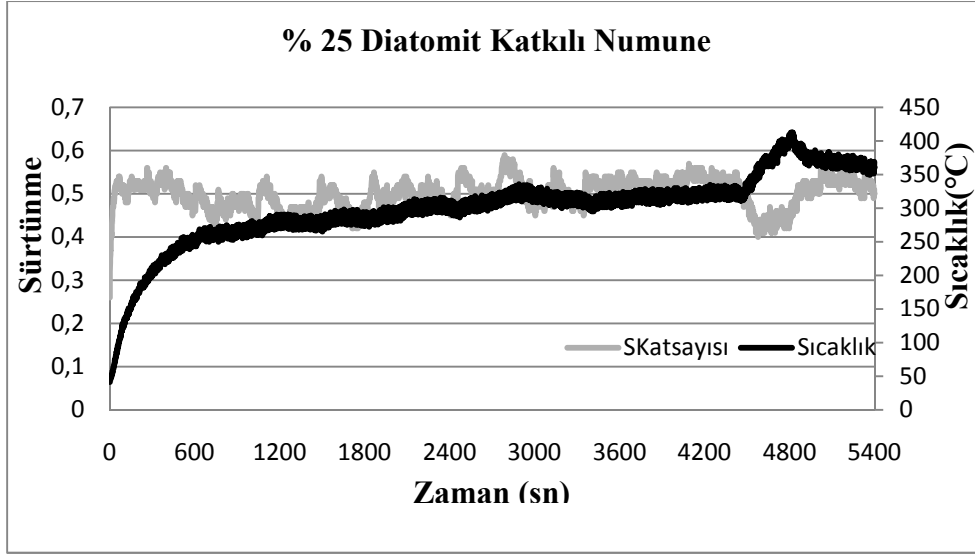


Şekil 4.14 D15 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

D20 kodlu numune sürtünme katsayısındaki dalgalanmaya rağmen 0,525 ile en yüksek sürtünme katsayısını vermiştir (Şekil 4.15). Söz konusu sıcaklıklar sürtünme katsayısının aşırı derecede düşmesinde etkili olacak kadar yüksek değerde değildir.

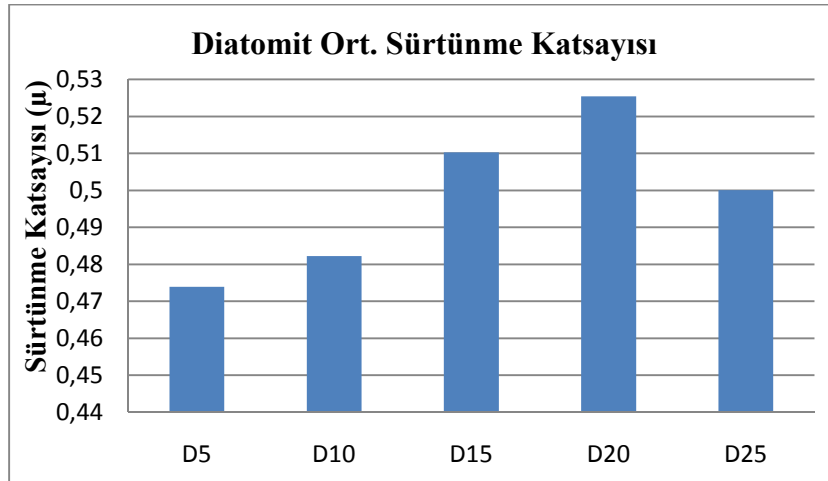


Şekil 4.15 D20 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi



Şekil 4.16 D25 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

D kodlu numunelerin sürtünme-sıcaklık değişimlerine genel olarak baktığımızda en fazla dalgalanma D10, D20 ve D25 kodlu numunelerde olduğu görülmektedir. Bu numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerlerine baktığımızda birbirine yakın değerler sergilemiştir. En yüksek ortalama sürtünme katsayısını D20 kodlu numunelerde 0,525 ortalama sürtünme katsayısı değeri ile sergilemiştir.



Şekil 4.17 Diatomit ve barit katkılı numunelerin 5400 sn süresince ortalama sürtünme katsayıları

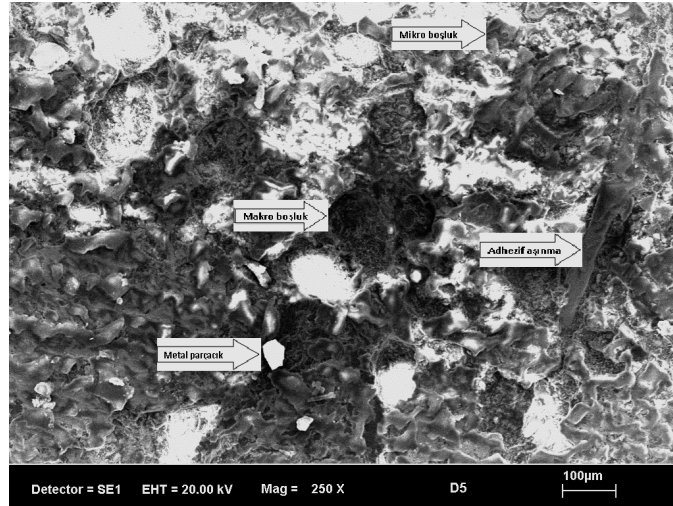
D kodlu numunelerde barite alternatif olarak kullanılan diatomitin balata içeriğinde %'lik oranı arttıkça ortalama sürtünme katsayısı değerleri D20 kodlu numuneye kadar

artmaktadır. Fakat % 20 barit, % 25 diatomit içeren ve 0,500 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen D25 kodlu numunede yaklaşık 0,025 gibi bir düşüş gözlenmektedir (Şekil 4.17). Bu yüzden balata içeriğinde dolgu maddesinin yaklaşık %50'sini barit ve %50'sini diatomit olarak kullandığımızda diatomit baritle birlikte kullanılabilir bir malzemedir.

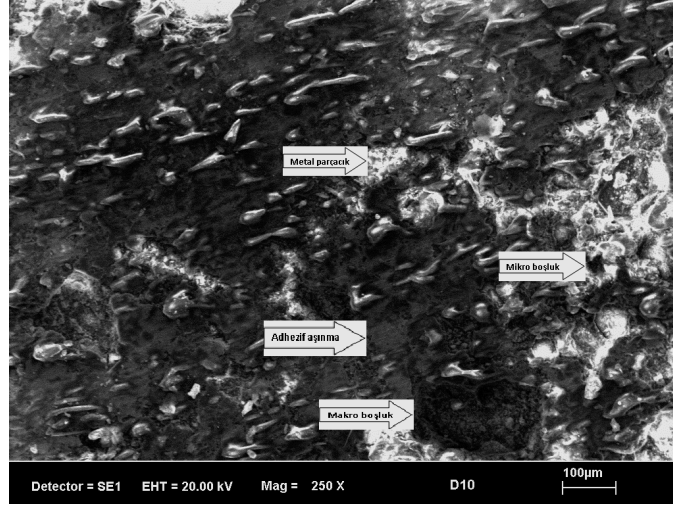
4.4 Diatomit Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Yüzey Karakteristiği

Diatomit katkılı fren balatalarının sürtünme performansının belirlendiği deneylerden sonra sürtünme yüzey karakteristiğinin belirlenmesi için çekilen SEM fotoğrafları Şekil 4.18–4.22'de görülmektedir.

Şekil 4.18'de D5 kodlu numunenin SEM fotoğrafı görülmektedir. % 5 diatomit ve % 40 barit içeren ve 0,474 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen bu numunenin oluşan sürtünme yüzeyinde mikro boşluklara ilaveten, beyaz renkli bölgeler sürtünmeye aktif olarak katılıp aşınmış metal parçacıklarıdır. Ayrıca sürtünme yüzeyinde oluşan renk farklılıkları hem adhezif hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir.

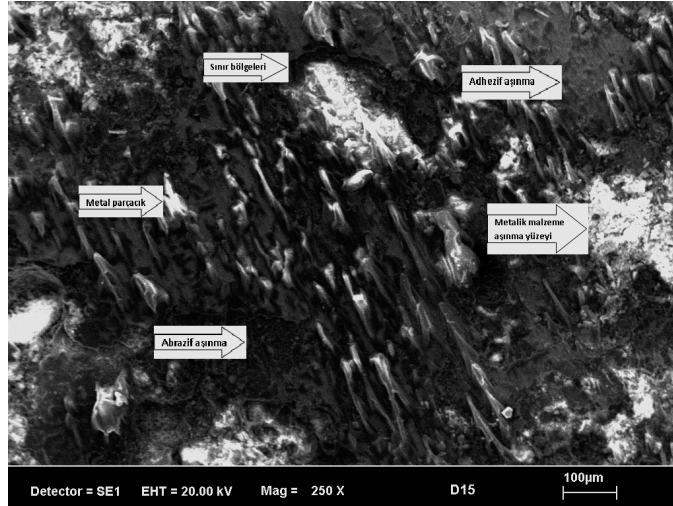


Şekil 4.18 D5 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı



Şekil 4.19 D10 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

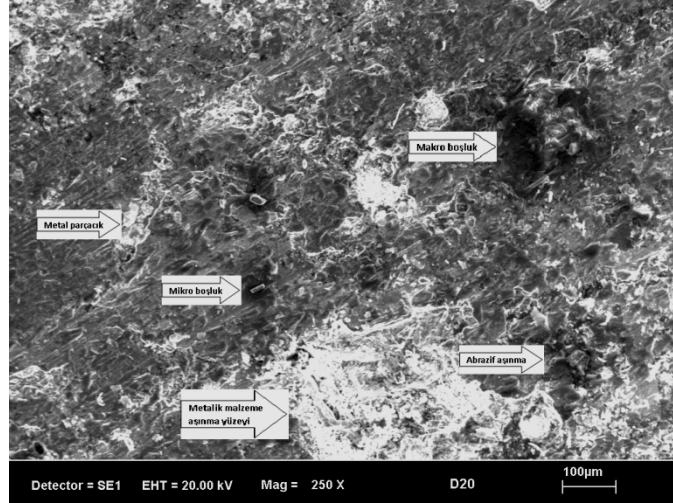
D10 kodlu numunenin SEM fotoğrafı Şekil 4.19’da görülmektedir. D10 kodlu numunenin SEM fotoğrafında komponenti oluşturan malzemelerden büyük taneli olan veya küçük topaklanmalar şeklinde bir araya gelen malzemelerin sınır bölgeleri görülmektedir. D10 kodlu numunede % 35 barit, % 10 diatomit mevcuttur. Sürtünmeye aktif olarak katılmış ve bir kısmı aşınmış olan metal parçacıklar, beyaz parlak renkli bölgeler olarak görülmektedir.



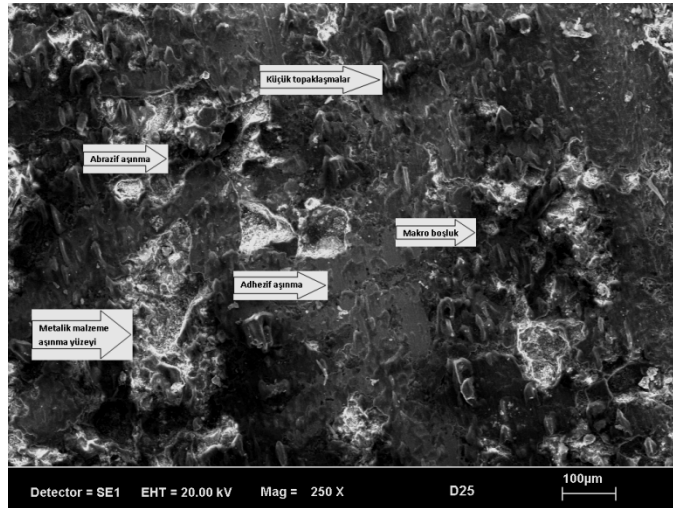
Şekil 4.20 D15 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

Şekil 4.20’de D15 kodlu numunenin SEM fotoğrafı görülmektedir. 0,510 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen bu numunenin oluşan sürtünme yüzeyinde mikro ve

makro boşluklar mevcuttur. Sürtünme yüzeyinde oluşan kısa çizikler ve renk farklılıkları hem adhezif hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiği göstermektedir. Ayrıca sürtünme yüzeyinde oluşan büyük çukurlukların sürtünme sırasında balata içerisindeki metal parçaların kopmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.21 D20 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı



Şekil 4.22 D25 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

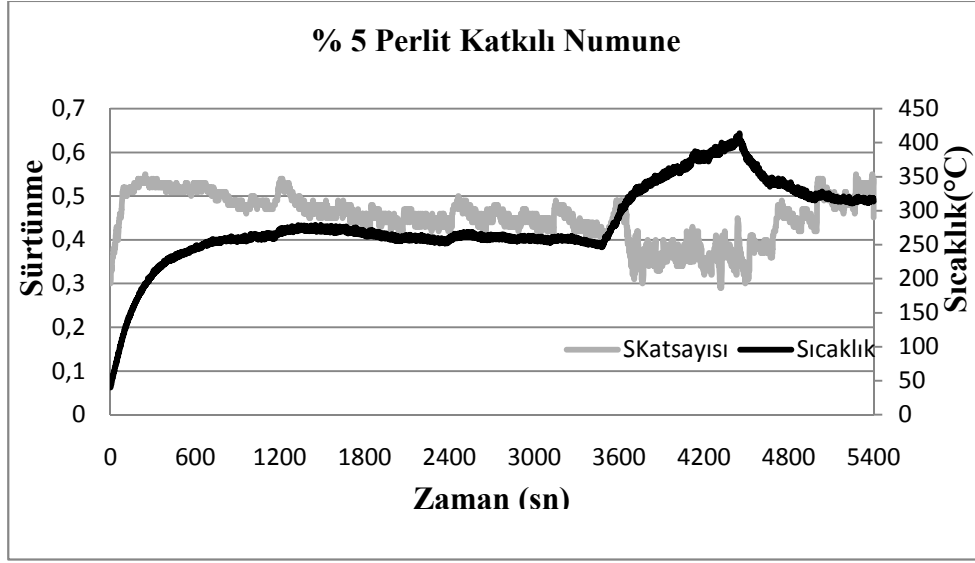
D20 ve D25 (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22) kodlu numunelerin mikro yapısında her iki numunenin birbirlerine benzer mikro yapıya sahip oldukları görülmektedir. Ancak Şekil 4.22'ye baktığımızda adhezif aşınmanın Şekil 4.21'e göre daha fazla olduğu görülmektedir. D25 kodlu numunede adhezif aşınmadan kaynaklanan büyük

çukurluklar oluşmuştur. D25 kodlu numune % 20 barit, %25 diatomit içeriğiyle 0,500 sürtünme katsayısı gösterirken D20 kodlu numune % 25 barit, % 20 diatomit içeriğiyle 0,525 sürtünme katsayısı ortalaması göstermiştir.

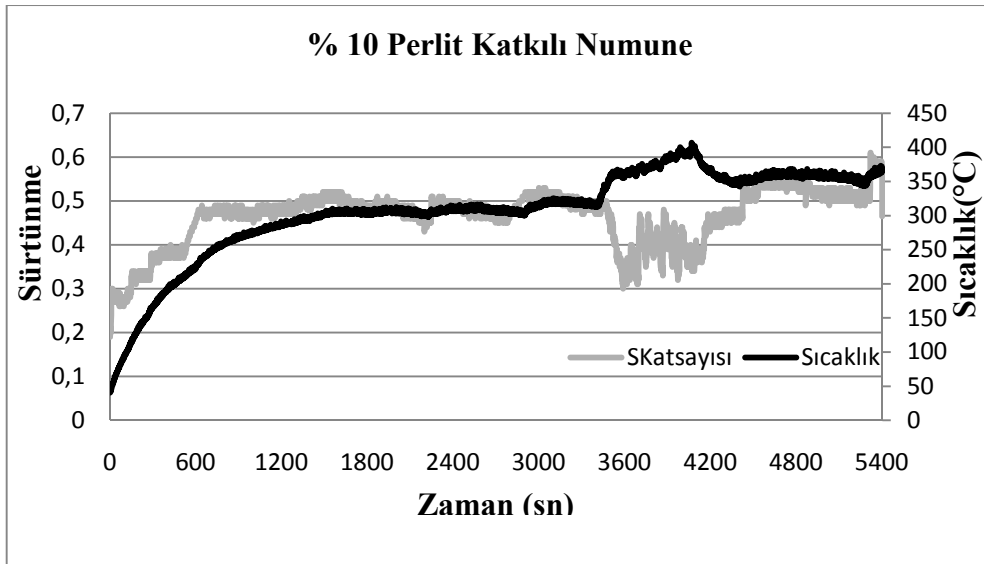
4.5 Perlit Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Performansı

Sürtünme katsayısı ve sürtünme yüzey sıcaklığı, sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin özelliklerine ve bu malzemelerin birbirleriyle etkileşimlerine bağlı olarak çok farklı özellikler gösterir. Testin başlangıç safhası, sürtünme katsayısının değişiminde önemli rol oynar. Test başladığı andan itibaren temas alanındaki artışla birlikte hem sürtünme katsayısı artar hem de yüzeyde sürtünme tabakası gelişir. Bu yüzden testin başlangıç safhasında, başlama anına göre sürtünme katsayısında hızlı bir artış görülür. Bu durum, sürtünme katsayısı-zaman-sıcaklık grafiklerinde sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin özelliğine göre testin ilk 50 ile 200 üncü saniyelerinde görülmüştür (Şekil 4.23- 4.27) (Filip vd. 2001).

Perlit katkılı tüm örneklerde sürtünme tabakası gelişimi sürecinden sonra sürtünme tabakasını oluşturan içeriklerin özelliğine göre sürtünme karakteristiği şekillenmiştir (Şekil 4.23- 4.27). Sürtünme katsayısı değişimi için bu grafikler incelendiğinde, P20 kodlu numune P5, P10, P15 ve P25 kodlu numunelere göre daha az dalgalanma göstermiştir. P5 kodlu numune 50 inci saniyelerden hemen sonra yani sürtünme tabakası oluşumunun tamamlanmasıyla birlikte yavaş yavaş düşme eğilimi göstermiştir (Şekil 4.23). Bu safhada henüz sıcaklık 150 °C - 200 °C arasındadır. Söz konusu sıcaklıklar sürtünme katsayısının düşmesinde etkili olacak kadar yüksek değerde değildir. Sürtünme katsayısındaki bu düşme, balatanın disk'e tutunma özelliği gösteremediği anlamına gelmektedir. Bu olay iki şekilde açıklanabilir. Birinci olarak bileşeni oluşturan malzemelerin birbirleri ile iyi uyum sağlamaması sebebiyle sürtünme yüzeyine karşı bir direnç oluşturmamakta, ikinci sebep olarak da sürtünme yüzeyi sert malzemelerden oluşmadığı için sürtünme katsayısında artış gösteremediği ve stabil kalamadığı şeklinde açıklanabilir.

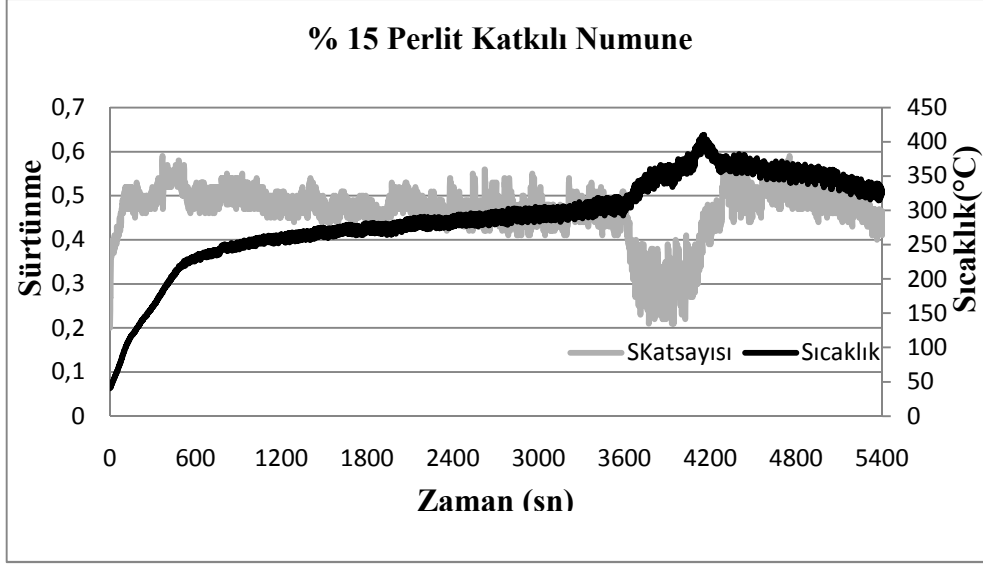


Şekil 4.23 P5 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi



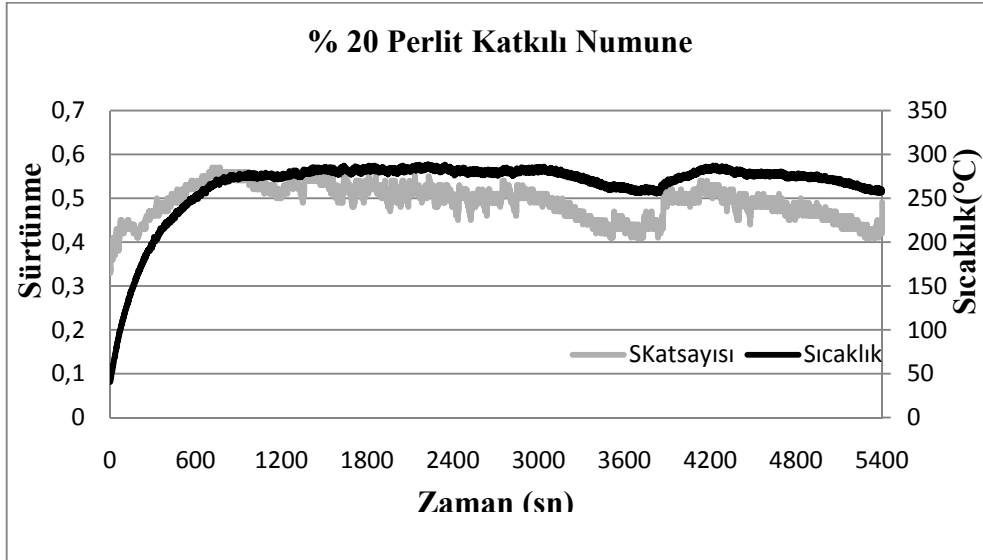
Şekil 4.24 P10 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

Perlit katkılı balatalardan P10 kodlu numunenin sürtünme katsayısı grafiği incelendiğinde sürtünme tabakası oluştuktan sonra 600 üncü saniyeye yavaş yavaş artış göstermiştir. Testin bu aşamasında sürtünme yüzey sıcaklığı 300 °C'ye yükselmiştir. Sıcaklığın 300 ila 400 °C'ye yükseldiği 3600 ila 4200 saniyeleri arasında sıcaklık artışına bağlı olarak sürtünme katsayısında önemli bir düşüş gözlenmektedir. Bu noktadan sonra testin son 200 saniyesinde sürtünme yüzey sıcaklığı 350-400 °C'yi bulurken sürtünme katsayısı 0,52'lerden 0,61'lere yükselmiştir (Şekil 4.24).



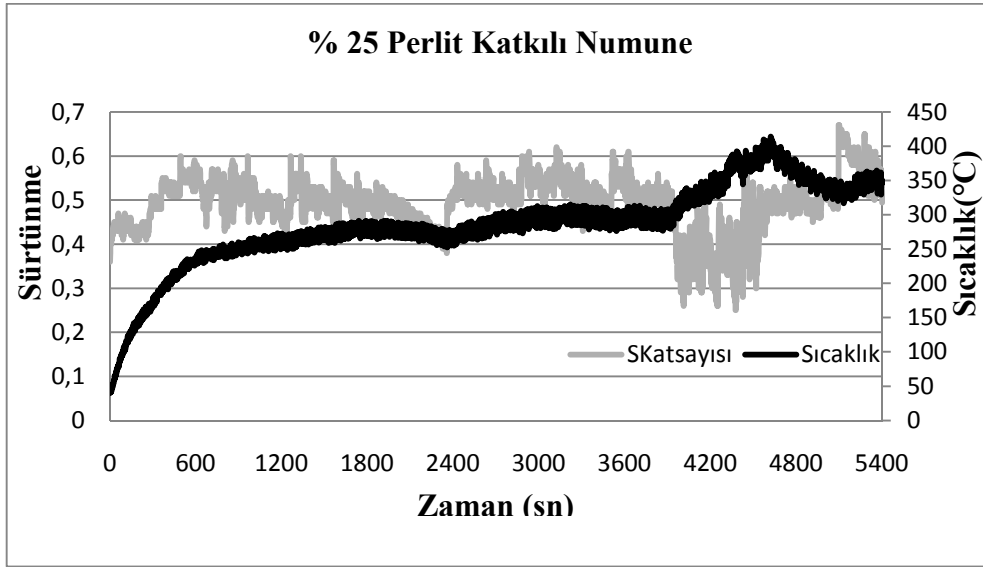
Şekil 4.25 P15 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

%15 perlit, %30 barit içeren ve 0,465 ortalama sürtünme katsayısı sergileyen P15 kodlu numunenin sürtünme-sıcaklık grafiğinin zamana bağlı değişimi görülmektedir (Şekil 4.25). Sürtünme katsayısı 3600'cü saniyeye kadar 0,5'lerde seyrederken 3600'cü saniyeden sonra sıcaklığın artmasıyla 0,3'lerin altına inerek en düşük sürtünme katsayısını sergilemiştir. P15 kodlu numune 4600'cü saniyelerde 0,6 sürtünme katsayısı ile en yüksek değeri göstermiştir.



Şekil 4.26 P20 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

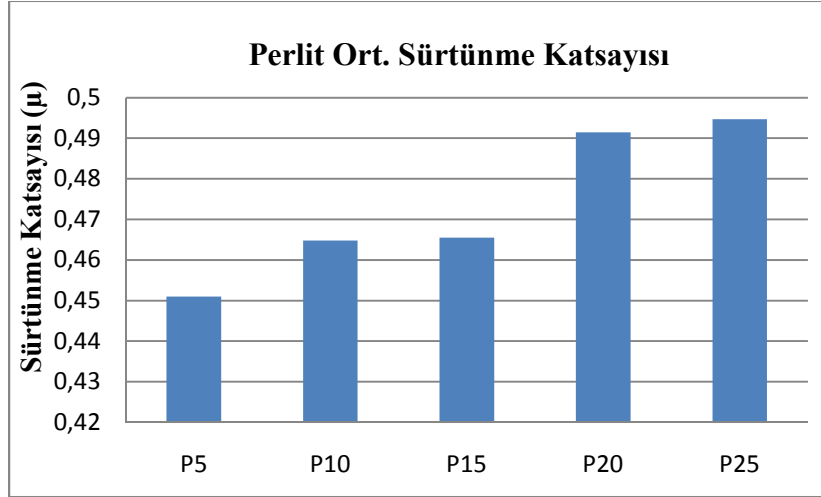
%20 perlit, %25 barit içeren ve 0,491 ortalama sürtünme katsayısı sergileyen P20 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi görülmektedir(Şekil 4.26). Bu numune ilk 1200 saniyede 0,57 sürtünme katsayısı sergileyerek en yüksek değere ulaşmıştır. Sürtünme katsayısındaki bu artışa bağlı olarak sıcaklık ilk 1200 saniyede 250 °C'nin üzerine çıkmıştır. En düşük sürtünme katsayısı değerine 3600'cü saniyelerde 0,4 civarındadır.



Şekil 4.27 P25 kodlu numunenin 0,55 KPa basınçta zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimi

% 25 perlit ve % 20 barit içeren ve 0,495 sürtünme katsayısı ortalaması en yüksek değeri sergileyen P25 kodlu numunenin Şekil 4.27'de sürtünme-sıcaklık değişimi görülmektedir

P kodlu numunelerin sürtünme sıcaklık değişimlerine genel olarak baktığımızda en fazla dalgalanma P15 ve P25 kodlu numunelerinde görülmektedir. P10 ve P15 kodlu numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerlerine baktığımızda birbirine yakın değerler sergilemiştir.

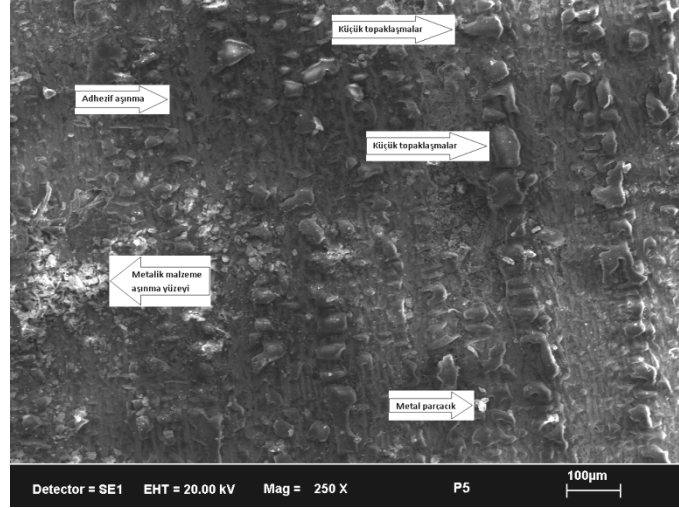


Şekil 4.28 Perlit ve barit katkılı numunelerin 5400 sn süresince ortalama sürtünme katsayıları

P kodlu numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerlerine baktığımızda genel bir artış gözlenmektedir. Burada dolgu maddesi olarak kullanılan baritin yerine alternatif olarak kullanılan perlitin balata içeriğindeki % oranını artırdığımızda ortalama sürtünme katsayısı da artmaktadır. P kodlu numunelerde en yüksek ortalama sürtünme katsayısı P25 kodlu numunede sağlanmıştır. Bu yüzden balata içeriğinde dolgu maddesi olarak kullandığımız barite alternatif olarak perlit kullanılabilir.

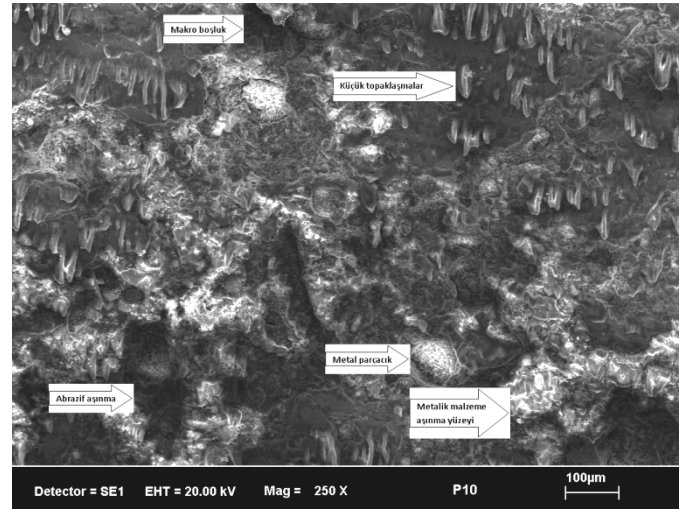
4.6 Perlit Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme Yüzey Karakteristiği

Perlit katkılı fren balatalarının sürtünme performansının belirlendiği deneylerden sonra sürtünme yüzey karakteristiğinin belirlenmesi için çekilen SEM fotoğrafları Şekil 4.29–4.33’de görülmektedir.



Şekil 4.29 P5 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

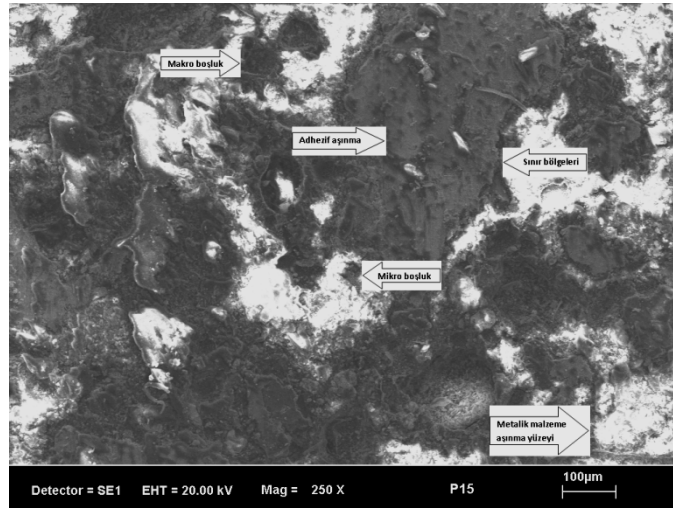
% 5 perlit ve % 40 barit içeren P5 kodlu numunenin SEM fotoğrafında makro boşluklar ve bu makro boşlukların yakın çevresinde de mikro boşluklar dikkat çekmektedir (Şekil 4.29). Kısa boyutlu sürtünme yüzeyleri abrazyif aşınmaların olduğunu göstermektedir. Görülen küçük topaklanmalar içerikteki baritten kaynaklanmaktadır ve bir araya gelen malzemelerin sınır bölgeleri görülmektedir.



Şekil 4.30 P10 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

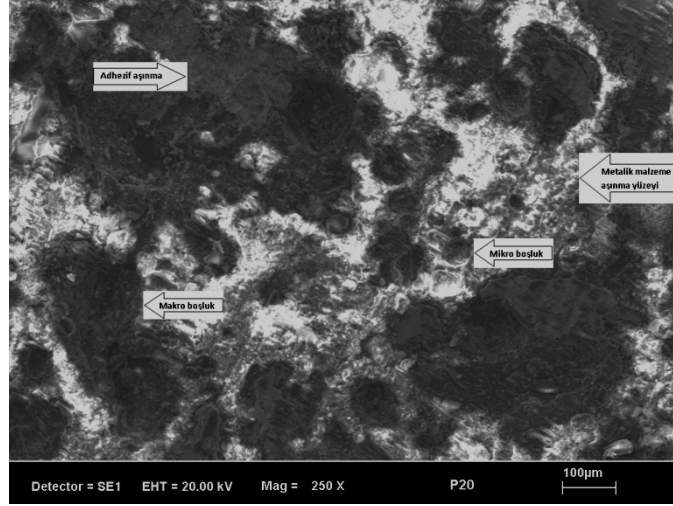
% 10 perlit ve % 35 barit içeren ve 0,465 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen P10 kodlu numunenin SEM fotoğrafı Şekil 4.30'da görülmektedir. Şekil 4.30'dan anlaşıldığı gibi sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adhezif hem de abrazyif

aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Yine diğer numunelerde görülen sürtünmeye bağlı mikro ve makro boşlukları vardır. Abrasif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir. Aşırı miktarda beyaz bölge görülen kısımlar SEM cihazının filament ışığının etkisinden oluşmaktadır.



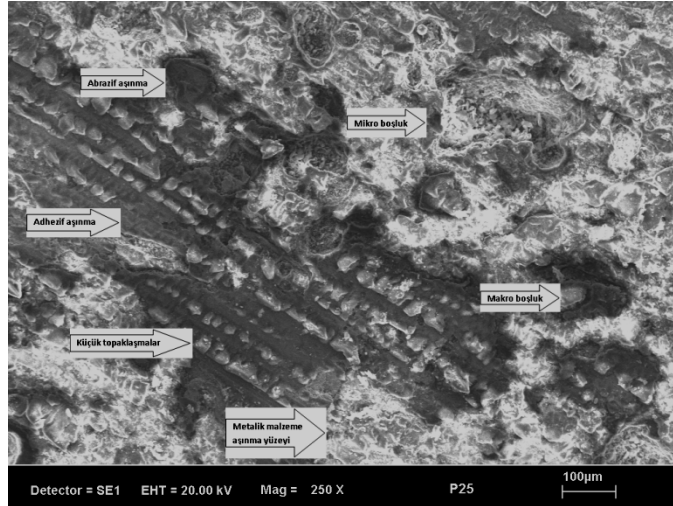
Şekil 4.31 P15 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

Şekil 4.31’de P15 kodlu numunenin SEM fotoğrafında komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı görülmektedir. Resimde mikro ve makro boşluklar görülmektedir. Bu makro boşluklar, sürtünme yüzey sıcaklığının 350-400 °C’lere yükselmesi sonucu bağlayıcı madde fenolik reçinenin gevşemesi ile komponenti oluşturan büyük metal parçacıkların sürtünmenin etkisiyle bünnyeden kopması sonucu oluşmuştur. Bu numunenin sürtünme performans grafiğine bakıldığında sıcaklığın 350-400 °C aralığında sürtünme katsayısında ani bir düşüş görülmektedir. Bunun nedeni olarak 350-400 °C’de büyük metal parçacıkların kopmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine bu faktörlerin etkisiyle bu numune 0,465 sürtünme katsayısı ortalaması değerini göstermiştir.



Şekil 4.32 P20 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

P20 kodlu numunenin SEM fotoğrafında sürtünme yüzeyinde abrazif aşınmaların olduğunu göstermektedir. Sürtünme yüzeylerinde oluşan çiziklerin abrazif aşınmadan kaynaklandığı ve balata bünyesinden kopan bazı parçacıkların makro ve mikro boşluklar oluşturduğu görülmektedir. Sürtünme yüzeyindeki malzemelerin sürtünmeye aktif olarak katıldığı ve homojen dağıldığı anlaşılmaktadır. 0,491 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen numune % 20 perlit ve % 25 barit içermektedir.



Şekil 4.33 P25 kodlu numunenin sürtünme yüzeyi SEM fotoğrafı

Şekil 4.33’de P25 kodlu numunenin SEM fotoğrafı görülmektedir. % 25 perlit, % 20 barit içeren ve 0,495 sürtünme katsayısı ile en yüksek sürtünme katsayısı ortalaması

sergileyen bu numunenin oluşan sürtünme yüzeyinde mikro ve makro boşluklar mevcuttur. Komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Sürtünme yüzeylerinde sürtünmeye bağlı mikro ve makro boşlukları vardır. Oluşan abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği küçük beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir.

4.7 Aşınma Dayanımı, Sertlik ve Yoğunluk

Uçucu kül, diatomit ve perlit katkılı numunelerin yapılan deneysel çalışmalarında tespit edilen brinell sertlik, yoğunluk, ortalama sürtünme ve özgül aşınma değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Üretilen numunelerin brinell sertlik, yoğunluk, ortalama sürtünme ve özgül aşınma değerleri

Numune Kod Adı	Ortalama Sürtünme(μ)	Özgül Aşınma (g/mm^2) $\times 10^{-6}$	Yoğunluk Değeri(g/cm^3)	Brinell Sertlik Değerleri	Standart Sapma
D5	0,47	0,13	2,209	20,4	0,034
D10	0,48	0,14	2,199	20	0,047
D15	0,51	0,15	2,107	20,35	0,027
D20	0,52	0,19	2,061	19,35	0,037
D25	0,50	0,21	2,055	18,4	0,034
P5	0,45	0,18	2,252	20,95	0,053
P10	0,46	0,15	2,182	19,85	0,063
P15	0,46	0,17	2,126	18,6	0,059
P20	0,49	0,21	2,145	22,15	0,039
P25	0,49	0,22	2,123	20,65	0,062
U5	0,45	0,19	2,234	18,95	0,040
U10	0,51	0,14	2,236	18,55	0,035
U15	0,50	0,15	2,101	23,9	0,048
U20	0,51	0,21	2,148	20	0,046
U25	0,53	0,18	2,136	20,15	0,038

Değerler incelendiğinde özgül aşınma miktarı 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 özgül aşınma değerlerinin de yüksek çıkması, sürtünme sırasında zorlanmanın etkisiyle balata bünyesinden büyük parçacıkların kopmalarının da önemli bir etkisi vardır.

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.

Farklı formüllerde ve farklı üretim işlemine tabi tutulmuş 90 adet numunenin frenleme karakteristiğini belirlemek için yapılan deneylerde, sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafikleri oluşturulmuş ve aşınma direnci, sertlik, yoğunluk özelliklerini belirlemek amacıyla bir dizi testler yapılmıştır. Yapılan deneylerde üretilen fren balatalarının, standartlarda öngörülen sürtünme katsayısı ve aşınma değerleri arasında kaldığı görülmüştür. Deneyler sonucu elde edilen sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman değişimini gösteren grafikler incelendiğinde, literatürde verilen grafiklere benzer grafikler elde edilmiştir. Elde edilen sürtünme katsayısı değerleri TS 555'te verilen değerlere uygundur. Genel olarak baktığımızda numunelerde kütleli % oranları arttıkça sürtünme katsayısı dengeli bir şekilde ilerleme kaydetmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

15 farklı formüle sahip numunenin frenleme karakteristiğini belirlemek için yapılan deneylerde, sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafikleri oluşturulmuş ve aşınma direnci, sertlik, yoğunluk özelliklerini belirlemek amacıyla bir dizi testler yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir.

1. Bütün numuneler TSE 555 standardına uygun sürtünme katsayısı sergilemişlerdir. Tüm deneyler boyunca ortalama sürtünme katsayısı 0,30–0,52 arasında olduğu ve bazı deneylerde 0,52'nin üzerinde değerler elde edilmiştir.
2. Uçucu kül içeren tüm numuneler içerisinde en düşük sürtünme katsayısı %5 uçucu kül ve %40 barit içeren U5 kodlu numunede $\mu=0,453$ olarak ve en yüksek sürtünme katsayısı ise %25 uçucu kül ve %20 barit içeren U25 kodlu numunede $\mu=0,531$ olarak tespit edilmiştir.
3. D25 ve U5 kodlu numunelerde sürtünme katsayısı artışı ile ara yüzey sıcaklığı artmış daha sonra sıcaklığın etkisiyle reçinenin bağlayıcılığının düşmesiyle birlikte sürtünme katsayısı düşerken aşınma miktarında artış meydana gelmiştir.
4. Uçucu kül ve barit katkılı balataların ortalama sürtünme katsayıları diatomit ve barit katkılı numuneler ile yakın değerde çıkmıştır. % 25 uçucu kül katkılı balata bileşiminde en yüksek sürtünme katsayısı değeri alınmıştır. Aynı sonuç barit yerine kullanılan perlit içinde geçerlidir (Çizelge 4.1).
5. Balata malzemelerine ilave edilen uçucu kül, diatomit ve perlitin %'lik oranı arttıkça, yoğunluk azalmış, barit miktarı arttıkça yoğunluk artmıştır. Balata içeriğindeki barit oranı arttıkça yoğunlukta ve özgül aşınmada artış olurken sertlik değerlerinde ise azalma meydana gelmiştir.

6. Diatomit ve barit katkılı numuneler içerisinde en az aşınma D5 kodlu numunede elde edilmiştir. Perlit ve barit katkılı numuneler içerisinde en az aşınma P10 kodlu numunede elde edilmiştir. Uçucu kül ve barit katkılı numuneler içerisinde ise en az aşınma U10 kodlu numunede elde edilmiştir.
7. En fazla aşınma gösterenler ise P25, P20, U20 ve D25 kodlu numuneler olmuştur. Kullanılan bütün numunelere genel olarak baktığımızda balataya katılan değişken malzeme içeriği arttıkça numunelerdeki aşınma miktarı da artmaktadır.
8. Balata komponentine ilave edilen uçucu kül, diatomit, perlit ve barit tozlarının miktarına bağlı olarak, aşınma yüzeyin de oluşan sürtünme tabakasından dolayı deney numunelerinin sürtünme katsayılarının dalgalanmalı olarak azalmalar ve artmalar gözlenmiştir.
9. En iyi sürtünme katsayısı performansı sergileyen uçucu kül ve barit katkılı numuneler içerisinde U25 kodlu numunede görülmüştür. Sertlik değeri düşük olan çoğu numunede sürtünme katsayısı daha yüksek sonuçlar vermiştir. Sertlik oranı arttıkça numunelerdeki sürtünme katsayısı performansında iyileşmeler gözlenmiştir. Sertlik oranı arttıkça numunedeki aşınma miktarı azalmıştır. Kullandığımız numunelerde en düşük sertlik D25 kodlu numunede görülmüştür. Perlit katkılı numuneler içerisinde en düşük sertlik P15 kodlu numunede, en yüksek sertlik oranı ise P5 ve P25 kodlu numunelerde görülmüştür.
10. Uçucu kül ve barit katkılı balata üretilerek yapılan deneylerde en iyi sonuçlar % 25 uçucu kül %20 barit içeren U25, %20 uçucu kül % 25 barit içeren U20 ve % 10 uçucu kül %35 barit U10 kodlu numunelerden alınmıştır.
11. Diatomit ve barit katkılı balata üretilerek yapılan deneylerde en iyi sonuçlar % 20 Diatomit % 25 barit içeren D20, %15 diatomit %30 barit içeren D15 ve % 25 diatomit %20 barit içeren D25 kodlu numunelerden alınmıştır.

12. Perlit ve barit katkılı balata üretilerek yapılan deneylerde en iyi sonuçlar % 25 perlit % 20 barit içeren P25, %20 perlit %25 barit içeren P20 ve % 15 perlit %30 barit içeren P15 kodlu numunelerden alınmıştır.
13. Üretilen balataların sürtünme performansları dikkate alındığında baritin yerine uçucu kül, diatomit ve perlit farklı bileşenler ile birlikte yeni numuneler olarak fren balatasında dolgu maddesi olarak kullanılabilir.

5.2 Öneriler

Yapılan çalışmalarda uçucu kül, diatomit ve perlit katkılı numunelerin fren balatalarında standartlara uygun olarak değerler sergilemektedir. Kullanılan balata içeriğinde dolgu maddesi olarak uçucu kül, diatomit ve perlitin farklı bileşenler ile birlikte yeni numuneler olarak fren balatasında çalışılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akbıyık H., 1966, Malzeme Bilgisi, Ogun Matbaası, s.101, Ankara.
- 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., 1992, ASM handbook, Friction, Lubrication, and Wear Technology vol, 18 ASM International, pp.569-577.
- Anderson, M., J., 1983. The Benefication Of Power Station Coal And Its Use In Heavy Clay Ceramics, Trans., J. Brit. Ceram. Soc. Vol.82, no:2, pp.50-55.
- Anlaş, İ., 1988, Şasi temel ders kitabı, M. E. B. yayınları, İstanbul.
- Arslan, F., Dönmez, A.G., Ayar, H.H., Yaşar, İ. ve Çuvalcı, H., 1997, Asbestsiz Fren Balatalarının Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, KTÜ, Trabzon.
- 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.
- Bowden, F. P., and Tabor, D., 1994, The friction and lubrication of solids, pp. 12-16, 29-31, 52-55, 78-79, 187-191.
- Boz, M., 1999, Toz metalürjisi ile üretilmiş bronz esaslı fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Boz, M., 2003, Seramik takviyeli bronz esaslı toz metal fren balata üretimi ve sürtünme-aşınma özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Boz, M., Kurt, A., 1988, The effect of Al_2O_3 on the friction performance of automotive brake friction materials.
- Chawla K. K., 1998. Composite Materials Science and Engineering, 2nd Edition, Springer, NY.
- 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.
- Çavuşoğlu, E., N., 1989, Döküm Teknolojisi I, İTÜ, İstanbul.
- Çetinkaya, S., 1999, Taşıt Mekaniği, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Demirsoy, M., 1973, Balatalar, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 17, 194.157-170, Ankara.
- Demirsoy, M., 1991, Motorlu Taşıtlar Cilt 2, Birsen Yayınevi, Denizli.

- Dong, F., Blum, F. D., Drahani, L. R., 1996, Polimer-Polimer Composites, 4, pp. 155-159.
- Dönmez, A.G., 2000, Asbest Dışı Elyaflarla Üretilen Balata Malzemelerinin Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- DPT, 1975, 6. Beş Yıllık Kalkınma Planı, ÖİK Raporu. Mica: Mineral Research Consultative Comitte, London, 22 p 2 Turner, D.C..
- Ekmekyapar, T., Örüñ, 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.
- Ertan, R.ve Yavuz, N., 2005, Polimer Matriksli Fren Balata Malzemelerinin Kompozisyon ve Üretim Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makina, 47,553 24-30.
- Esin, A., 1981, Properties of Materials for Mechanical Design, 1. Baskı, ODTÜ Mühendislik Fakültesi.
- Fedorchesco, I. M., Kırýachek, V. M., 1970, New sintered friction materials, Fiction and Antifriction Materials, 4:139-142.

- Filip, P., Weiss, Z., Rafaja, D., 2001, On Friction Layer Formation in Polymer Matrix Composite Materials for Brake Applications, *Wear*, Vol. 9028, pp. 1–10.
- Gemalmayan, N., 1983, Hava Kirliliğinde Gizli Tehlike: Asbest, *Bilim ve Teknik*, 16, 32-33, TÜBİTAK.
- 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.
- Göktan, A.G., 1995, Güney A ve Ereke,M., Taşıt Frenleri, İTÜ, İstanbul.
- Güleç, Ş., Aran, A, 1993, Malzeme Bilgisi, İTÜ Makine Fakültesi, s.153, İstanbul.
- Handa Y., Kato T., 1996, *Trib.Trans.* 39 346-353.
- 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.
- Hee, K.W., Filip P., 2005, Performance of Ceramic Enhanced Phenolic Matrix Brake Lining Materials for Automotive Brake Linings, *Wear*, Vol.259, pp. 1088–1096.
- Hull, D., 1987, *An Introduction to Composite Materials*, Cambridge University Press, New York.

Jacko M.G., Tsang P.H.S., Rhee S.K., 1989, Wear 133 23-38.

Katalog 1, 1998 Basalit fiziksel ve kimyasal özellikleri, Deutsche Basaltsteinwolle Gmbh, Rodetal 40 D-3406 Boveden, 1, Germany.

Katalog 2, 1998, Carborundum Resistant Materials Gmbh, Postfach 160260, Deutschland.

Katalog, 1983 ABEX, Friction Products Division, Michigan USA

Kato, T., Magario, A., 1994, Friction and Wear Properties of Kevlar 29 Fiber Reinforced Composites, Tribology Transactions, Vol.37, pp. 559.

Kaya. F., 1983, Plastikler Katkı Maddeleri ve İşleme Metotları, 1. Baskı, Kipaş Dağıtımcılık, İstanbul.

Klar, E., 1983, Powder metallurgy, Metals Handbook 9th edition, by the American society for metals, Chapter 25, pp. 1-14, USA.

Kondoh, K., Takano, Y., Takeda, Y., 1997, Friction and Wear Properties of Integrated Composite Copper-Based Friction Materials, SAE 970979.

Kuhn, H. A., Lawley, A. 1978, Powder Metallurgy Processing New Techniques and Analyses, Academic Press, New York, San Francisco.

Lavrence, A, R., 1975, Industrial Minerals and Rocks, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Inc., 4rd Edition, New York.

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., Oner C., Fındık F., 2005, Boric Acid Effect İn Phenolic Composites On Tribological Properties in Brake Linings, Materials & Design, 39, 317-325.
- 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., 2002, Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- 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.
- 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.

- Othmer, K., 1966, Phenolic Resin, Encyclopaedia of Chemical Technology, Vol. 15, 2nd Ed., John Wiley And Sons Inc., New York.
- Othmer, K., 1967, Encyclopaedia of Chemical Technology, Vol.13, 2nd Ed, John Wiley And Sons Inc., NewYork.
- Öncül, M. K., 1975, Türkiye Perlit Endüstrisi Etibank Proje Tesis Daire Başkanlığı, Ankara.
- 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.
- PFA DATA BOOK, 1967. Bricks and Other Structural Ceramics'1, Cent. Elec. Gen. Board, England.
- PFA DATA BOOK, 1974. Sintered PFA as a Lightweight Aggregate, Cent. Elec. Gen. Board, England.
- 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.
- SAE J2430/B.E.E.P. 2002, How to read and understand the aftermarket standart SAE J2430/Brake Effectiveness Evaluation Procedure Link Testing Laboratories, Inc. 13840 Elmira Ave. Detroit, Michigan 48227-3017.
- Sophie, K. T. and Mason, E., 2002, Asbestos: Mineral and Fibers, Division of Chemical Health and Safety of the American Chemical Society, May.

- Stocks, A. I., Gizendanner, 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.
- 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, Ankara, Türkiye, pp. 951-957.
- 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.
- Timur M., 2007 Otomotivde Kullanılan Sürtünme Malzemelerinin Sürtünme Katsayısını Tespit Eden Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı, Y. Lisans Tezi.
- Tokyay, M., Çetin, B., 1991. Preslenmiş Buhar Kürü Uygulanmış Uçucu Kül-Kireç Tuğlaların Dayanım ve Su Emme Özellikleri, Teknik Dergi, TMMOB İnş. Müh. Odası Yayın, Cilt 2, pp. 385-394, İstanbul, Turkey.
- Topbaş, M. A., 1993, Endüstri malzemeleri, cilt.2, Yıldız Üniversitesi Matbaası, 264 sf , İstanbul.
- TS 12464, 1998, Demiryolu Taşıtları-Fren pabucu-Kompozit Malzemeli-Asbest ihtiva etmeyen, T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Nisan.

- 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 9076, 1991, Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları İle Değerlendirilmesi, T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Nisan.
- Türk Sağlık Ajansı Yayınları, 1991 Toplum ve Çevre Sağlığı Açısından Soru Cevaplarla Asbest, 1, Ankara.
- Ulusoy, A., 2008, Uçucu Kül-Tekstil Fabrikası Atık Külü Ve Bazaltik Pomzanın Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılması Y. Lisans Tezi.
- Uygur, M, E., 1996, Balata Üretim Teknolojisi, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Kongresi, Bildiriler Kitapçığı, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Vishwanath, B., Verma, A. P., Kameswaro Rao, C. V. S., 1993, Effect of Reinforcement on Friction and Wear of Fabric Reinforced Polymer Composites, Wear, 167, pp. 93-99.
- 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.
- Whitaker R., Wirth A., 1987, J.Appl.Phys D 38-43.
- White, S., C., 1990. Characterization Of Fly Ash From Coal-Fired Power Plants, J. Mater. Sci. Vol.25, No.12, Pp. 5215-5219.

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

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.

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.

İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1. <http://www.maden.org.tr>.

21.03.2011

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet KOCA
Doğum Yeri ve Tarihi : Şuhut/11.04.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : mkoca_suhutlu_86@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Şuhut Çok Programlı Lisesi (2000-2003)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniv. Teknik Eğitim Fak. Otomotiv
Öğretmenliği (2005-2009)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniv. Makine Eğitimi (2009-2011)