

**KARBON ELYAF TAKVİYELİ OTOMOTİV FREN BALATA
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma KARA

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim MUTLU

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2011

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KARBON ELYAF TAKVİYELİ OTOMOTİV FREN BALATA
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Fatma KARA

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim MUTLU

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2011

TEZ ONAY SAYFASI

Fatma KARA tarafından hazırlanan “Karbon Elyaf Takviyeli Otomotiv Fren Balata Özelliklerinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 27/06/2011 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

Fatma KARA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARBON ELYAF TAKVİYELİ OTOMOTİV FREN BALATA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Fatma KARA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

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 performansının 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 karbon fiber malzemeler ile hazırlanmıştır. Üç farklı uzunlukta (5, 7,5 ve 10 mm) karbon fiber kullanılmıştır. Balata numunelerine dökme demir disk üzerinde sürtünme testi uygulanmıştır. Deney sonrasında numuneler için sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafikleri elde edilmiştir.

2011, xvi+90 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Karbon elyaf, Balata, Sürtünme katsayısı

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF CARBON FIBER REINFORCED AUTOMOTIVE BRAKE LINING

Fatma KARA

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 lining samples were prepared with carbon fiber materials. In three different lengths (5, 7.5 and 10 mm) of carbon fiber is used. The samples the friction test was performed on the cast iron disc. Friction coefficient and temperature graphics were obtained from the samples after the experiment.

2011, xvi+90 Pages

Key Words: Carbon fiber, Brake lining, Friction coefficient

TEŐEKKÖR

Bu alıőmanın gerekleőmesinde yapmış olduğu katkı ve ynlendirmeler ile büyük destek veren danışman hocam Sayın Do. Dr. İbrahim MUTLU' ya ve bu alıőmanın yrtlmesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen A.K. Teknik Eğitim Fakültesi personel ve araştırma görevlilerine teőekkürü bir bor bilirim. Bu güne gelmemde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen ok kıymetli aileme ve sevgili eőim Arő. Grv. Dr. Rıza KARA' ya en iten teőekkürlerimi sunarım.

Fatma KARA

Afyonkarahisar, 2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	3
2.1 Otomobillerde Fren Sistemi.....	7
2.1.1 Fren Sisteminin Parçaları.....	7
2.1.2 Disk frenler	7
2.1.3 Kampanalı frenler	8
2.2 Kampana ve Disk Malzeme Özellikleri.....	9
2.3 Fren Balataları ve Özellikleri.....	9
2.4 Balatalardan İstenilen Özellikler	11
2.4.1 Balataların Taşıt Güvenliğine Etkisi.....	12
2.4.2 Fren Balata Malzemelerinin Sınıflandırılması.....	12
2.4.2.1 Metalik Esaslı Fren Balataları.....	13
2.4.2.2 Karbon-Karbon Esaslı Fren Balataları.....	13
2.4.2.3 Organik Polimer Esaslı Fren Balataları	13
2.5 Balata Oluşumunda Kullanılan Malzemeler ve Fonksiyonları.....	13
2.5.1 Takviye Malzemeleri	14
2.5.1.1 Basarid Elyaf.....	15
2.5.1.2 Cam Elyaf	15
2.5.1.3 Taş Yünü Elyaf	15
2.5.1.4 Asbest.....	16
2.5.1.5 Kevlar.....	16
2.5.1.6 Fiberfrax.....	16

2.5.1.7 Karbon Elyaf.....	16
2.5.2 Dolgu Malzemeleri	18
2.5.2.1 Kizelgur	19
2.5.2.2 Mermer Tozu	19
2.5.2.3 Kil	19
2.5.2.4 Barit	19
2.5.3 Temizleyiciler	20
2.5.4 Yağlayıcılar.....	20
2.5.5 Sürtünme Düzenleyici Katkılar	20
2.5.5.1 Grafit.....	21
2.5.5.2 Alüminyum oksit (Al_2O_3)	21
2.5.5.3 Silisyum oksit (SiO_2)	21
2.6 Fren Balatalarının Sürtünme Performansı Etkileyen Faktörler	21
2.6.1 Sürtünme Temas Yüzeyi.....	22
2.6.2. Feyd Dayanımı.....	23
2.6.3 Hız Duyarlılığı	25
2.6.4 Ortam Şartlarına Duyarlılık	25
2.6.5 Yaş Sürtünme.....	25
2.6.6 Nem Duyarlılığı	26
2.6.7 Oksit Etkisi	26
2.6.8 Etkinlik Değişimi.....	26
2.7. Sürtünme	27
2.7.1 Sürtünmenin Tanımı	27
2.7.2 Sürtünme Kanunları	28
2.8 Aşınma	31
2.8.1 Aşınma türleri	31
2.8.1.1 Adhesiv Aşınma.....	34
2.8.1.2 Abrazif Aşınma.....	34
2.8.1.3 Yorulma Aşınması	34
2.8.1.4 Korozif Aşınma.....	34
2.9 Amaç ve Kapsam	35
3. MATERYAL ve METOT.....	36

3.1 Numunelerin Hazırlanması	36
3.2 Sürtünme Testi Deney Düzeneği	43
3.2.1 Sürtünme Katsayısı Test Cihazında Kullanılan Donanımlar ve Özellikleri ..	46
3.2.1.1 Yük Hücresi	46
3.2.2 Fren Diski ve Balata Tutucu Piston	47
3.2.3 Numune Tutucu Pistonlar	48
3.2.4 Sıcaklık Ölçme Cihazı	48
3.2.5 Bilgisayar Programı	49
3.3 Sertlik Testi (HB).....	52
3.4 Yoğunluk Testi	52
3.5 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizi	53
4. BULGULAR.....	55
4.1 Mikroyapı Özelliklerinin Belirlenmesi	55
4.2 Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimi	57
4.2.1 5 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi	58
4.2.2 5 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Yüzey Karakteristiği ..	61
4.2.3 7,5 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi	64
4.2.4 7,5 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Yüzey Karakteristiği	67
4.2.5 10 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi	70
4.2.6 10 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Yüzey Karakteristiği	73
4.3 Yüzey Pürüzlülük Testi Sonuçları	76
4.4 Yoğunluk ve Sertlik Testi Sonuçları.....	78
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	80
5.1 Sonuçlar	80
5.2 Öneriler	81
6. KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	90

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

f_m	Deneydeki Ortalama Sürtünme Kuvveti (N)
m_1	Deneyden Önce Ölçülen Balata Kütlesi (gr)
m_2	Deneyden Sonra Ölçülen Balata Kütlesi (gr)
ρ	Balata Yoğunluğu (gr/cm^3)
R_d	Disk Yarıçapı (m)
μ	Sürtünme Katsayısı
n	Toplam Devir Sayısı (devir)
V	Özgül aşınma (mm)
F	Deney Yüğü (N)
D	Batıcı Bilye Çapı (mm)
d	Bilye İzi Ortalama Çapı (mm)
P	Basınç(kg/mm^2)
A	Balata alanı (mm^2)
F_s	Yük hücresinden alınan kol kuvveti
L	Kuvvet kolu mesafesi (m)
D_h	Numune yoğunluğu (gr/cm^3)
G_k	Numune kuru ağırlığı (gr)
G_{dh}	48 saat su içerisinde bekletdikten sonra numune ağırlığı (gr)
G_{ds}	48 saat su içerisinde bekleme sonrası numunenin saf su doldurulmuş kaptaki ağırlığı (gr)

Kısaltmalar

TSE	Türk Standartları Enstitüsü
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
HB	Brinell Sertlik Değeri
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Bir disk fren ve elemanları 8
Şekil 2.2	Kampanalı fren ve elemanları. 9
Şekil 2.3	Elyaf Dokuma Türleri. 17
Şekil 2.4	Fren balatası, temas platoları ve anlık gerçek temas platoları..... 22
Şekil 2.5	Balata ve disk arasındaki temas durumunun şematik gösterimi..... 23
Şekil 2.6	Coulomb'un Sürtünme Modeli (a) Statik temas (b) Dinamik temas (c) Eğik düzlem..... 29
Şekil 2.7	Aşınmayı tanımlayıcı anahtar kelimeler ve birbirleri ile etkileşimleri..... 32
Şekil 2.8	Dört başlıkta incelenen aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi 33
Şekil 3.1	Deney akım şeması..... 37
Şekil 3.2	Deney düzeneğinin şematik görünüşü..... 45
Şekil 3.3	Taramalı elektron mikroskobu şematik yapısı (a) Kolon yapısı (b) Elektronların malzeme içerisindeki etkileşim derinlikleri. 54
Şekil 4.1	505 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi..... 58
Şekil 4.2	510 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi..... 59
Şekil 4.3	515 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi 60
Şekil 4.4	520 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi..... 60
Şekil 4.5	525 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi..... 61
Şekil 4.6	755 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi 65
Şekil 4.7	7510 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi 65
Şekil 4.8	7515 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi 66

Şekil 4.9	7520 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	66
Şekil 4.10	7525 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	67
Şekil 4.11	105 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	71
Şekil 4.12	1010 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	71
Şekil 4.13	1015 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	72
Şekil 4.14	1020 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	72
Şekil 4.15	1025 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	73
Şekil 4.16	5mm boyutunda karbon elyaf katkılı numunelerin karbon elyaf oranına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi	76
Şekil 4.17	7,5mm boyutunda karbon elyaf katkılı numunelerin karbon elyaf oranına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi	77
Şekil 4.18	10mm boyutunda karbon elyaf katkılı numunelerin karbon elyaf oranına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 TS 555'e göre Balataların Sınıflandırılması.....	10
Çizelge 2.2 Bazı elyafların mekanik özellikleri	14
Çizelge 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan elementler ve kompozisyondaki oranları (% kütleli).....	38
Çizelge 3.2 Sürtünme deneyi şartları.....	46
Çizelge 4.1 Deney numunelerinin ortalama sürtünme katsayısı, özgül aşınma, yoğunluk ve sertlik değerleri.....	79

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Elyaf dokuma örnekleri.....	18
Resim 3.1 Karbon elyaf iplik.....	36
Resim 3.2 Hassas Terazî.....	39
Resim 3.2 Toz Karıştırma Mikseri.....	40
Resim 3.3 (a) Deney Numunelerinin Üretildiği Soğuk Presleme Kalıbı (b) Soğuk preslenmiş toz tabletler.....	40
Resim 3.4 Sıcak presleme kalıpları.....	41
Resim 3.5 Soğuk/sıcak hidrolik pres cihazı.....	42
Resim 3.6 Sıcak presleme sonucunda elde edilmiş numune.....	42
Resim 3.7 Fren Balatası Test Cihazı.....	43
Resim 3.8 Yük hücresi.....	46
Resim 3.9 (a) Fren diski şematik görünüşü (b) Fren test cihazında kullanılan özel olarak yapılmış numune tutucu kaliper pistonu.....	47
Resim 3.10 Alt sıradan sırasıyla 1", ½" ve ¼" ölçülerde balata numunesi tutucu pistonlar.....	48
Resim 3.11 Sıcaklık ölçme cihazı.....	49
Resim 3.12 Fren balatası test cihazı otomatik kontrol paneli.....	50
Resim 3.13 Bilgisayar kontrol paneli grafik göstergesi.....	50
Resim 3.14 Fren balatası test cihazı manuel kontrol paneli.....	51
Resim 3.15 (a) Mattest sertlik ölçme cihazı (b) Optik mikroskop.....	52
Resim 3.16 Yoğunluk testi düzeneği.....	53
Resim 3.17 Taramalı elektron mikroskobu.....	53
Resim 4.1 Deney esnasındaki fren diski görüntüsü.....	57
Resim 4.2 Deney numunesi makroyapısı.....	55
Resim 4.3 Karbon elyaf takviyeli numunelerin mikroyapısı (50X) (a) Elyaf takviye iplikler (b) Genel mikroyapı görünümü.....	55
Resim 4.4 7,5mm uzunluğundaki karbon elyaf ipliklerin SEM mikroyapısı.....	56
Resim 4.5 Numunelerin Sürtünme deneyi sonrasındaki aşınma izleri.....	56
Resim 4.6 505 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.....	61
Resim 4.7 510 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.....	62

Resim 4.8	515 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	63
Resim 4.9	520 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	63
Resim 4.10	525 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	64
Resim 4.11	755 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	68
Resim 4.12	7510 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	68
Resim 4.13	7515 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	69
Resim 4.14	7520 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	69
Resim 4.15	7525 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	70
Resim 4.16	105 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	74
Resim 4.17	1010 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	74
Resim 4.18	1015 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	75
Resim 4.19	1020 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	75
Resim 4.20	1025 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.	76
Resim 4.21	Numune üzerindeki Brinell sertlik izi mikroyapısı.	79

1. GİRİŞ

Otomobil firmaları araçların sürtünme malzemelerinin verimliliğini arttırabilmek ve bu malzemelerin çok iyi performans göstermeleri için her zaman farklı çalışmalar içerisinde olmuşlardır. 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).

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). Solunum yoluyla akciğere giren 0,1–1 mikron çapında, 5 mikron uzunluğundaki asbest liflerinin fiziksel etkiyle temas yerinde yaralama ve parçalama gibi etkiler yaptığı, bunun sonucunda ise bronşlarda kasılmaların meydana geldiği, ayrıca akciğer zarında kireçlenmeler ile sertleşmelere neden olduğu ve akciğer kanserine yol açtığı görülmüştür (Gemalyan 1984). Asbestin bu zararlarından dolayı, birçok ülkede 1980'lerden sonra asbest içeren ürünler kademeli olarak kaldırılmaya başlanmış ve asbest içeren sürtünme malzemelerinin bir kısmının kullanımı yasaklanmıştır. Bu durum birçok üreticiyi asbeste alternatif aramaya zorlamıştır (Sampath 2006).

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).

Fren balatalarının sürekli veya uzun süreli olarak aşırı sıcaklıklara maruz kalmaları balataların zarar görmesine neden olacaktır. 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). Balataların hava ve yol şartlarında su,

nem, yağ gibi yolların olumsuz etkileri ile karşı karşıya kalmaları, sürtünme özelliklerinin kısmen bozulmasına sebep olur. Bu nedenle yeni balatalar yapım aşamasında ezilme, kesme, aşınma, ısı ve suya dayanıklılık gibi testlerden geçirilmekte ve kullanım esnasında, balataların yukarıda açıklanan olumsuzluklar nedeni ile sürüş esnasında meydana getireceği olumsuz etkilerin minimuma düşürülmesi amaçlanmaktadır (Gemalmayan 1984).

Frenleme esnasında hareketli kütlelerin kinetik enerjisi sürtünme yoluyla ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı enerjisi fren balatalarının aşırı sıcaklıklara maruz kalmalarına neden olmaktadır. Balataların frenleme etkinlikleri zamanla azalmaktadır ve bazı problemler (frenlerin performansındaki azalma, hatalı çalışma, hızlı balata aşınması ve ses) ortaya çıkarmaktadır (Koç vd. 2009).

Frenler enerji değişim araçlarıdır. Aracın mekanik enerjisini, sürtünme ile ısı enerjisine çevirirler. Hareket halindeki taşıt kinetik enerjiye sahiptir. Taşıt hızının azaltılabilmesi için sahip olduğu enerjinin başka bir sekle dönüşümü gereklidir. Fren sistemlerinde, taşıtın kinetik enerjisi balatanın diske sürtünmesi yoluyla ısı enerjisine çevrilir ve bu ısı atmosfere yayılır. Eğer frenlere çevreye verebileceğinden daha fazla bir ısı verilirse fren balatalarındaki sürtünme katsayısı düşmekte ve frenlerin durdurma kabiliyetleri azalmaktadır. Bu noktadan sonra aşınma hızlanır. Fren balatalarının sürekli olarak aşırı sıcaklıklara maruz kalmaları balataların frenleme etkinliklerinin sona ermesine sebep olur. Bu durum, frenlerin performansındaki azalma, hatalı çalışma, hızlı balata aşınması ve ses olarak kendini gösterir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Otomotiv sanayisindeki gelişmeler sürekli devam eden bir süreçtir. Bu gelişmeler ışığında otomotiv parçalarının insan sağlığı üzerinde önemli rol oynaması malzeme kalitesinin artırılmasını mecbur kılmaktadır. Fren ile ilgili elemanların görevi taşıtı en kısa sürede emniyetli bir şekilde durdurmak, hızını azaltmaktır. Balata malzemeleri otomotiv fren mekanizmalarının en önemli parçası olarak gösterilebilir.

Uzun yıllar kullanılan asbest esaslı sürtünme yüzeyi malzemelerinin sağlık nedenleriyle kullanımının yasaklanması sonucu bunların yerine asbest içermeyen elyaf takviyeli yeni kompozit balatalar geliştirilmiştir. Bu yönde yapılan çalışmalar sonucu son yıllarda otomotiv fren balatalarının bileşiminde büyük yenilikler olmuştur. Bu yenilikler sonucu balataların sıcaklık dayanımı, sürtünme ve aşınma özellikleri iyileşmiştir (Domaç 2006). Fren balatalarında aranan en önemli özellikler; zor çevre şartları altında bile güvenli kullanım, yüksek mukavemet, sabit sürtünme katsayısı, düşük aşınma oranı, düşük ses ve anti titreşim karakteristikleri gibi özelliklerdir (Milevski and Ketz 1987, Gopal et al. 1996).

Karbon elyaf, tekstil malzemesi olarak bilinen akrilik reçinenin veya petrol/kömür ziftinin fibrilasyonu ve ondan sonra belirli ısı verilmesi ile elde edilen mikro grafit yapıya sahip malzemelerdir (İnt.Kyn.2). Karbon elyaf malzemeler tek başlarına pek fazla kullanılmaz. Karbon elyaflar genellikle reçine, seramik ve metal matrisli kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılmaktadırlar.

Karbon elyaflar temel olarak iki gruba ayrılır. Bunlar, petrol türevlerinden elde edilen zift esaslı elyaflar. Zift esaslı elyaflar büyük ölçüde dayanım dışı amaçlarla kullanılırlar. Takviye malzemesi olarak genellikle polyacrylonitrile' den (PAN) üretilmiş karbon elyaflar kullanılır (Arıcasoy 2006). Karbon elyaflar, son derece yüksek katılık, yüksek çekme dayanımı, mükemmel korozyon direnci, mükemmel yorulma ve basma özellikleri, kimyasal kararlılık, kendini yağlama ve düşük genleşme katsayısı ile dikkat çekmektedirler (İnt.Kyn.3).

Kılıç, H., yaptıkları çalışmada mermer atıkları balata dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Mermer tozunu farklı oranlarda kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarda mermer tozunun frenleme performansının arttığını gözlemlemişlerdir (Kılıç 2010).

Akpınar, G., yaptıkları çalışmada fren balata kompozit malzemesine karaçam kozalağı ilave edilmiştir. Karaçam kozalağı katkılı fren balatalarının piyasalardaki balataların sürtünme katsayısı ve sıcaklık değerlerinden çok fark göstermediği ve kullanıma uygun olabileceğini gözlemlenmiştir (Akpınar 2008).

Mutlu İ., ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada asbestin çevre kirliliği ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisini ortadan kaldırmak amacıyla borik asit ve boraks fren balatası kompozisyonu içerisine katılmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda fren balatalarında bor türevlerinin kullanılması aşınmaya karşı direnç oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bakır tozu ile birlikte borik asit ve boraksın kullanılması durumunda sürtünme katsayısının düzgünleştiğini belirtmişlerdir (İnt.Kyn.4).

Boz M., ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada fren balatalarının sürtünme performansının geliştirilmesi amacı ile fren balata kompozisyonuna Al_2O_3 takviyesi yapmışlardır. Yapılan çalışmada %2 ve %4 Al_2O_3 takviyesi yapılan numunelerin sürtünme performansı açısından en iyi sonuçları verdiğini gözlemlemişlerdir (Boz ve Kurt 2007).

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.

Asbest elyaf takviyeli numuneler kullanarak bir dizi deneyler yapılmıştır. Numunelerde bağlayıcı reçine, demir tozu, asbest, grafit, bakır, alüminyum silika vd. kullanılmıştır. Deneyler dinamometre ve sürekli aşınma deneyleri şeklinde yapılmıştır. Bütün

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

Kevlar'ın sürtünme malzemelerinde kullanımıyla ilgili bir çalışma yapmışlardır. Kevlar pulp ağırlık oranı %0~10 arasında değiştirilerek balata özelliklerine etkisi kamyonet balatasına uygun numuneler üretilerek denenmiştir. Bileşimde ağırlıkça toplam %24-30 elyaf, %18 bağlayıcı, %54 dolgu maddesi ve %4 sürtünme ayarlayıcı kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda kevlar'ın dayanım özelliklerini artırdığı ve artan elyaf oranıyla titreşim sönümlenme etkisinin arttığı görülmüştür. 0,78 MPa basınç ile Kraus deney düzeneği kullanılarak yapılan deneylerde kullanılan bileşim için sürtünme katsayısının denenen elyaf oranı aralığında kevlar oranından bağımsız olduğu görülmüştür (Fazan vd. 1988).

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 ısıtılardan sonucunda aşınma direncine negatif yönde etki yapmış borik asit içeren numunelerde ise aşınma direnci artmaktadır (Mutlu ve Öner 2005).

Polimer matrisli kompozitlerde sürtünme olayının kompleksliği yüzünden sürtünme mekanizmaları tam olarak anlaşılamamıştır. Bu sebeple son zamanlarda polimer matrisli kompozit ailesinin sürtünme tabakasının özellikleri ve karakterizasyonunda gelişmeler olmuştur. Kompozit malzemelerin sürtünme performanslarını araştırmada sürtünme yüzeyi, sürtünme karakterini belirler. Sürtünme malzemesinin geri kalan kısmından

farklı olarak sürtünme yüzeyinin oluşumu kimyasal kompozisyon ve yapıya bağlıdır. Sürtünme işleminde oluşan mekanik ve kimyasal etkileşim olduğu, eş yük ve sıcaklıkların uygulandığı sürtünmeye maruz kalmamış bir başka kısım ile karşılaştırıldığında, sürtünme yüzeyinin geri kalan kısmının formülasyonu arasındaki ilişkinin aynı olmadığı belirtilmiştir. Sürtünen ve sürtünmemiş kısımların kinetik ve faz dengesinin önemli miktarda farklılık gösterdiği belirtilmiştir (Filip et al. 2001).

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

Otomotiv frenlerinde sürtünme temasını, 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 disklerle karşı organik bağlayıcılı sürtünme malzemelerinin temas şartları, temas yüzeyi çeşitliliği ve birçok mekanizmadaki özellik ile sürtünme katsayısının çeşitliliği benzerlik göstermektedir (Erikson et al. 2002).

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 çalışmada, balata kompozisyonunu oluşturan malzemelerden karbon elyaf takviye malzemesi olarak seçilmiştir. Kompozisyon içerisindeki farklı karbon elyaf oranları kullanılmıştır. Karbon elyaf boyutunun ve oranının frenleme performansına etkisi incelenmiştir.

2.1 Otomobillerde Fren Sistemi

Taşıtlarda kampanalı ve diskli olmak üzere iki tip fren kullanılmaktadır. Doğrudan tekerleğe bağlı olan bu frenler iki ana fonksiyonu yerine getirirler:

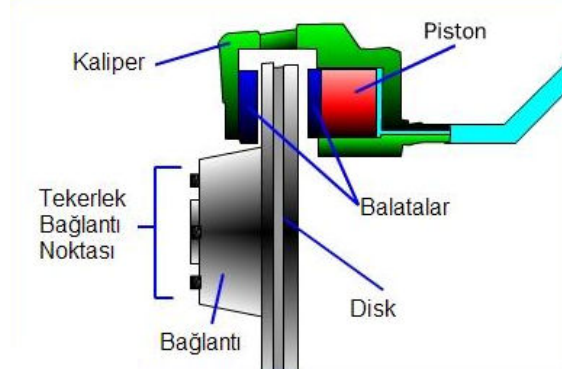
1. Fren momentinin oluşturulması,
2. Enerji değişiminin gerçekleşmesi (kinetik veya potansiyel enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesi ve bu ısının atılması).

2.1.1 Fren Sisteminin Parçaları

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

2.1.2 Disk frenler

Disk frenler yanda görüldüğü üzere kaliper, piston, balatalar, disk ve bağlantı noktalarından oluşur (Şekil 2.1). Fren pedalına bastığımızda sistemdeki hidrolik sıvıyı boruya iteriz. Sıvıların sıkıştırılmaz oluşu ve buldukları kabın her noktasına aynı basıncı uygulamaları prensibinden yararlanılarak, boru içerisindeki sıvı ince bir geçitten kaliperlerin arasındaki balata pistonuna iletilir.



Şekil 2.1 Bir disk fren ve elemanları (İnt.Kyn. 5).

Disk frenler süspansiyon elemanlarına tutturulmuş kaliperlere yerleştirilmiş fren balatalarının diskleri bir kısıkaç yada mengene gibi sıkıştırması ile bir sürtünme sağlar. Kaliperlerin içinde ise pistonlar ana merkezden aldıkları kuvvet ile balatalara basınç sağlarlar, balatalarda fren diskine sürtünüp aracı yavaşlatırlar. Disk frenler ile bisiklet frenleri aynı prensiplerle çalışırlar (Soydan 2007).

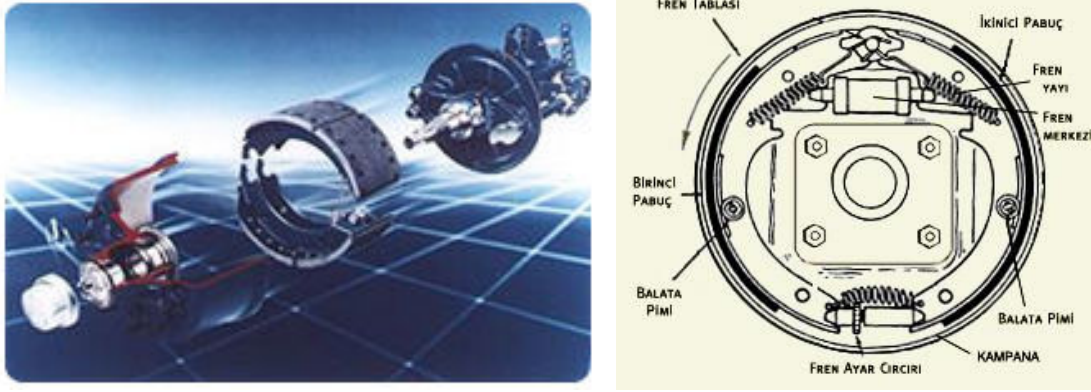
Yüksek frenleme performansı istenen araçlarda arka tekerleklerde diskli fren sisteminin kullanılması yaygınlaşmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda diskli fren sistemlerinin daha yüksek frenleme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca oluşan sıcaklık diskli sistemde daha çabuk dışarı atılmaktadır ve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

Bu fren tiplerinde prensip 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 diski genel olarak bir köşesinden kavrar, seyrek olarak diski çepeçevre kavrayan pabuçlar da mevcuttur. Pabucun iç kısımlarında diskin iki yüzeyine yaslanan balatalar frenleme sırasında hidrolik basınç ile diski her iki yönden eşit kuvvetle sıkıştırırlar (Göktan vd. 1995).

2.1.3 Kampanalı frenler

Kampanalı frenlerde fren yüzeyi silindriktir. Çeşitli tipleri olmakla birlikte karayolu taşıtlarının tekerlek frenlerinde içten pabuçlu olanlar kullanılmaktadır. Kampana,

işletme şartlarının gerektirdiği mukavemet ve ısı özellikleri sağlamak üzere tasarlanan bir elemandır (Gökten vd. 1995).



Şekil 2.2 Kampanalı fren ve elemanları (İnt.Kyn. 6, Soydan 2007).

2.2 Kampana ve Disk Malzeme Özellikleri

Sürtünmeye bağlı sıcaklık artışı nedeniyle disk veya kampananın bozulmadan, minimum deformasyon göstermesi için ısı 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. Yapılan deneyler sonucunda diskli fren sistemlerinin daha yüksek frenleme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca oluşan sıcaklık diskli sistemlerde daha çabuk dışarı atılmaktadır ve su ile temasında da balataların ıslanmasını önleyerek suyu kolayca dışarı atabilmektedir (Erşan 1998).

2.3 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).

TS 555'e göre, disk veya kampana ile disk veya kampana fren balatası arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranı sürtünme katsayısı olarak tanımlanır. TS 555'e göre sürtünme katsayısı, sıcak ve soğuk sürtünme katsayısı olmak üzere ikiye

ayrılmaktadır. Sıcak sürtünme katsayısı ise, 300°C, 350°C ve 400°C sıcaklıklarda ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Soğuk sürtünme katsayısı, aşınma deneyi esnasında 100°C, 150°C ve 200°C 'de ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Balata kalitesini belirlemede sürtünme katsayısı aralıkları verilmiştir. Çizelge 2.1'de TS 555'te verilen sürtünme katsayısına göre balataların sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 2.1 TS 555' e göre Balataların Sınıflandırılması

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

Yüksek hızlarda taşıtın ani olarak durdurulmasında veya uzun süreli frenleme durumunda balata yüzeylerinde 700 °C' ye kadar sıcaklık yükselmeleri mümkündür. Ağır çalışma şartları, balatalardan istenen özellikleri arttırmaktadır. Çalışma şartları dikkate alınarak değişik balata malzemeleri geliştirilmektedir (Ayar 1991).

Fren balata malzemeleri çok ince tozlar halindeki metal veya metal dışı malzemelerin karıştırılması istenilen formda preslenmesi ve kontrollü bir atmosfer altında belirlenen süre içerisinde sinterlenmesini kapsayan üretim prosesinden oluşmaktadır (Yavuz 2002). Fren balata üretiminde bu yöntemin tercih edilmesinin temel nedeni farklı özelliklere sahip karışım malzemelerinin özelliklerini yitirmeden üretiminin gerçekleştirilebilmesidir (Ertan ve Yavuz 2005). Yüksek hızlarda taşıtın ani olarak durdurulmasında veya uzun süreli frenleme durumunda balata yüzeylerinde 700 °C' ye kadar sıcaklık yükselmeleri mümkündür. Ağır çalışma şartları, balatalardan istenen özellikleri arttırmaktadır.

2.4 Balatalardan İstenilen Özellikler

Balata malzemelerinde istenilen özellikleri belirtmek için çalışma şartlarının çok iyi bilinmesi gerekir. Özellikle balata yüzeyine etki eden basınç, aracın hızı ve sürtünmeden dolayı balata yüzeylerinde oluşan sıcaklık yükselmelerinin önemli olduğu görülür. Balata deneylerinde basınç-hız-sıcaklık değerlerinin birbiriyle olan kombinasyonları göz önüne alınır ve basınç hız değerleri birbiri ile paralel olarak arttırılır (Gemalman 1986).

Fren sistemindeki sürtünme elemanları sürekli olmayan farklı büyüklükteki basınç ve sıcaklık etkisi altında çalışması nedeniyle aşınma ve sürtünme davranışları, şaşırtıcı derecede karmaşıktır. Temas halindeki yüzeyler 1 m/s' de 1000°C den 1100°C ye ulaşır ve diğer yüzeyler gibi aktif olarak soğur. Heterojen ve sürekli davranış özelliği olmayan termoelastik özelliğinden kurtulmak için yüksek kabiliyetli, anizotropik sürtünme malzemeleri geliştirilmiştir. Sürtünme esnasında yüzeylerin pürüzlülüğü ve absorpsiyonu sonucu meydana gelen sıcaklık, sürtünme katsayısını önemli ölçüde etkiler, sıcaklığın artması malzemede sürtünme katsayısının düşmesine neden olur ve sistem görev yapmaz hale gelir (Uygur, 1996).

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).

Otomobil fren balataları emniyet, dayanıklılık, rahatlık ve makul fiyat gibi müşteri beklentilerini karşılamalıdır. Pek çok balata tasarımcısının oluşu, sürtünme malzemesi bileşimlerinde bir karmaşıklık ortaya çıkarmıştır (Bijwe 1997). Balata özellikleri olumsuz şartlardan etkilenmemelidir. Literatürde balatalardan istenen özellikler aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

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

2.4.1 Balataların Taşıt Güvenliğine Etkisi

Balataların bir süre hava ve yol şartlarında su, nem, yağ gibi yolların olumsuz etkileri ile karşı karşıya kalmaları, sürtünme özelliklerinin kısmen bozulmasına sebep olur. Balatanın parlaması ve sertleşmesi balatanın ezilmesi ile ilgili olup sıcaklıkla doğru orantılıdır. Artan sıcaklıkla balata yumuşamakta ve ezilme miktarı artmakta, sonuçta balatalar sıkışarak sertleşmektedir. İyi seçilmemiş bir balata veya balatanın karşı malzemesi, kötü bir sürtünme katsayısının ortaya çıkmasına sebep olur ve sürtünen yüzeylerin frenlemedeki tesiri azalır. Sürtünen yüzeylerdeki frenleme tesiri, daha iyi sürtünme kuvveti temin eden malzeme çiftini seçmek veya yapmakla mümkün olur. Bu nedenle yeni balatalar yapım aşamasında ezilme, kesme, aşınma, ısı ve suya dayanıklılık gibi testlerden geçirilmekte ve kullanım esnasında, balataların yapısında meydana gelen bozulmalar nedeni ile frenlemede meydana getireceği olumsuz etkilerin minimuma düşürülmesi amaçlanmaktadır (Erşan 1998).

2.4.2 Fren Balata Malzemelerinin Sınıflandırılması

Sürtünme malzemeleri yaygın olarak metalik, karbon, organik (reçine bağlı) olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır.

2.4.2.1 Metalik Esaslı Fren Balataları

Metalik balatalar genellikle bakır veya demir esaslıdır ve aşırı derecede ısı kararlılık isteyen uygulamalarda kullanılır. Çoğunlukla performansı arttırmak için inorganik katkı maddeleri veya seramiklerle birlikte ve katı faz sinterlemesi uygulanarak üretilirler. İmalatları kolay ve bir dereceye kadar ucuzdurlar. Yüksek yoğunlukta olmaları fren sistemini diğerlerine göre biraz daha verimli yapar (Bijwe 1997).

2.4.2.2 Karbon-Karbon Esaslı Fren Balataları

Karbon esaslı sürtünme malzemeleri ağırlığın kritik olduğu, yüksek performansın istendiği ve maliyetin ikinci derece olduğu uygulamalarda tercih edilir. Hacimlerinin yaklaşık %63 karbon-karbon olarak üretilen kompozitler uçak fren sistemlerinde kullanılırlar. Karbon sürtünme malzemeleri amorf karbonla bağlanan, karbon elyaflardan imal edilmektedir.

Amorf karbon bağlayıcı oluşturmak için organik reçinelere yüksek sıcaklıklarda pişirme veya kimyasal buhar çöktürme işlemi uygulanır. Hafifliği, ısı kararlılığı, uygun yüksek özgül ısı olması nedeniyle fren malzemesi olarak mükemmel performans gösterirler (Bijwe 1997).

2.4.2.3 Organik Polimer Esaslı Fren Balataları

Frenlerde ve kavramalarda kullanılan en yaygın sürtünme malzemeleridir. Birçok değişik bileşimleri vardır ve genellikle bileşimleri patentlidir. Bağlayıcılar, dolgu maddeleri, sürtünme düzenleyiciler ve takviye ediciler olarak kategorize edilirler. Asbest esaslı ve asbestsiz olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar (Bijwe 1997).

2.5 Balata Oluşumunda Kullanılan Malzemeler ve Fonksiyonları

Balata malzemeleri, genellikle lifli yapısal malzemeler, metal veya mineral dolgu partikülleri ve katı yağlayıcılardan oluşmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve oranları

frenleme performansı üzerinde birinci derecede etkin olması sebebiyle son yıllarda farklı malzemeler ve farklı oranların balata performansı üzerindeki etkileri direkt olarak deneylerle veya geliştirilen optimizasyon metotları ile yada deneysel tasarım metotları kullanılarak gerek numune sayısını en aza indirip maliyeti düşürmek, gerekse zaman kaybını önlemek bakımından balata kompozisyonu tasarımında önemli yer tutmaktadır (Eriksson et al, 2001).

2.5.1 Takviye Malzemeleri

Balata malzemesinin mukavemetini, ısıl kararlılığını sağlayan, sürtünme ve aşınma özelliklerini büyük ölçüde etkileyen elemanlardır (Bijwe 1997, Jang et al. 2001). Balatalarda takviye malzemesi olarak ilk önceleri asbest elyaf kullanılmaktaydı (D.P.T. 1996). Asbest elyafın sağlık bakımından tehlike oluşturması, bunun sonucu olarak balatalarda kullanımının sanayileşmiş ülkelerde yasaklanması alternatif elyaf/elyafaların kullanılmasını gerekli kılmıştır. Bunlar Kevlar (Kevlar, Du Pont firmasının para-aramid için kullandığı ticari addır), cam elyaf, çelik yünü, tas yünü, seramik yünü gibi malzemelerdir (Baker 1992).

Çizelge 2.2 Bazı elyafların mekanik özellikleri (Aran 1990).

Malzeme	Yoğunluk (g/cm³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)
E-camı	2.54	3448	72.4	2.75
S-camı	2.49	4585	85.5	-
Kuvarz	2.20	3100	68.9	-
Bor	2.68	3448	413.7	0.7
Karbon	1.85	2900-2000	520-220	0.5-1.3
Kevlar 49	1.44	2706	131	2.5

2.5.1.1 Basarid Elyaf

Volkanik orijinli bazalt taşı, Basarid (tescilli marka) elyafı üretiminde kullanılan hammaddedir. Bazalt taşı 1400 °C' de ergitilerek elyaf üretilir. Sürekli Basarid elyafı yüksek mukavemete sahip, tok, korozyona dayanıklı, ısı ve ses izolasyonuna uygundur. Çevreye zararlı olan asbestin kullanıldığı alanların hemen hemen hepsinde kullanılabilir (CGmbH 1993).

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. (Dönmez 2000, Katalog 1 1998).

2.5.1.2 Cam Elyaf

Cam elyafı, eritilmiş cam karışımının basınçlı hava ile sıkıştırılması sonucu özel olarak yapılmış bölmelerden aşağı akıtılarak elde edilir (Welch et al. 1953). 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). Cam elyafın takviye elemanı olarak kullanıldığı balatalarda işletme şartlarına uyum gösterebildiği fakat uygulamalarda ses çıkardığı gözlenmiştir. Balataların ses yapma özellikleri, balata kompozisyonu ve üretim proses özellikleri ile yakından ilgilidir. Literatürde Phenol-formaldehit reçine oranının azaltılması ile iyileştirilebileceği belirtilmiştir (Eckert and Bethke 1987).

2.5.1.3 Taş Yünü Elyaf

Hammaddesi doğal volkanik kayadır. Yüksek sıcaklığa dayanıklı mineral elyafıdır. Daha çok ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılır. Özellikleri itibariyle Basarid elyafa benzemektedir. Farklı çap ve boyutlarda üretilir.

2.5.1.4 Asbest

Asbestin teknolojik değeri başlıca üç özelliğinden kaynaklanmaktadır. Ateşeye dayanıklıdır, elektrik ve ısı yalıtımı yüksektir, lifli yapısından dolayı fenolik kompozitlerde çelik kafeslere benzer şekilde özel bağlayıcılık özelliğı gösterir. Bu yüzden, başka malzemelere karıştırılan asbest ileri derecede dayanıklılık sağlayabilmektedir (Türk Sağlık Ajansı Yayınları-1 1991). Asbest; kömür, demir cevherleri v.s. gibi doğal bir mineraldir. İşlendikten sonra elde edilen asbest elyaf yumağı görünümündedir. Ateşeye karşı dayanıklılığı kadar önemli olan diğer özellikleri gerilme direnci, esnekliğı ve bükülebilme özelliğidir (Mutlu 2002).

2.5.1.5 Kevlar

İki tür Kevlar vardır; Kevlar 29 ve Kevlar 49. Kevlar 49, tokluk, yüksek yorulma dayanımı, titreşim sönümlenme kabiliyeti, boyut kararlılığı, sürünme dayanımı ve korozyon dayanımı gibi özellikleri tercih nedeni olmaktadır. Uzay, deniz, otomotiv ve diğer endüstri uygulamalarında kullanılır. Özel uygulama alanlarından birkaçı, roket motor gövdesi, uçak kanadı, uçak iniş takımı kapısı, , uçak gösterge panosu, kano, gemi, tekne, yarış teknesi, jant, fren ve debriyaj balatasıdır (Aran 1990).

2.5.1.6 Fiberfrax

Çok yüksek sıcaklıklarda kararlı, çok düşük ısıl genişleme katsayısı, düşük elektrik iletkenliğı, mükemmel ısıl şok dayanımı, iyi çekme dayanımı ve çok iyi korozyon dayanımına sahiptir. Takviye olarak fren balata karışımlarında oldukça yüksek sıcaklık (ısıl feyd) dayanımı sağlar (Dönmez 2000).

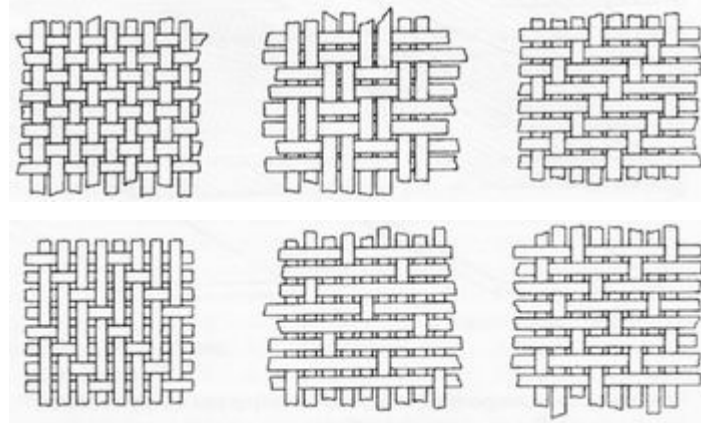
2.5.1.7 Karbon Elyaf

Karbon Elyaf lar çok yüksek sıcaklıklarda ısıl işlem uygulandığında karbonlaşan malzemelerdir. (İnt.Kyn.2) Karbon takviyeli malzemeler ise çok yüksek dayanım,

yüksek rijitlik ve hafiflik istenen yerlerde kullanılır. Yorulma dayanımı açısından bu malzeme, metal malzemelerden daha üstündür (Aran 1990).

Kompozit malzemelerde kullanılan elyafların fiziksel biçimleri, oluşturulan yeni malzemenin özellikleri üzerinde çok önemli bir faktördür. Takviyeler temel olarak 2 farklı biçimde bulunmaktadır; parçacık ve süreksiz elyaflar. Parçacık genelde küresel bir biçimde olmamasına rağmen her yönde yaklaşık olarak eşit boyutlardadır. Elde edilen ürünler mükemmel korozyon ve yorgunluk direncinin yanı sıra yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler (İnt.Kyn.3).

Sürekli elyaflar ise tel sarma yöntemi gibi yöntemlerde kesilmeden ip şeklinde kullanılmaktadır. Elyaflar en yüksek mekanik özelliklerini enlerinden daha çok boylarına gösterirler. Bu özellikler kompozit malzemelerin metallere rastlanmayan aşırı anisotropik malzeme özelliği göstermelerine neden olur. Bu nedenle tasarım aşamasında elyafların reçine içindeki yerleşimleri ve geometrilerini göz önünde bulundurmamak çok önemlidir. Bazı durumlarda malzemenin dayanımı artırmak, tüm yönlerde eşit mukavemet elde etmek için elyaflar kumaş olarak dokunurlar.



Şekil 2.3 Elyaf dokuma türleri.

Karbon elyafı cam elyafına oranla daha güçlü ve hafif olmasına rağmen üretim maliyeti daha fazladır. Hava araçlarının iskeletlerinde ve spor araçlarında metallere yerine kullanılmaktadır (İnt.Kyn.1).



Resim 2.1 Elyaf dokuma örnekleri.

2.5.2 Bağlayıcı Malzemeler

Bağlayıcılar veya bağlayıcı maddeler, balatayı meydana getiren bileşenleri bir arada tutan, yüksek ısıl kararlılığa, yanma ve oksitlenme direncine sahip malzemelerdir. Balata bileşiminin sürtünme özelliklerine katkıda bulunurlar. Bağlayıcı madde hacimsel veya maliyet bakımından kompozit malzemenin önemli bileşeni olmamakla birlikte balatanın bütünlüğünü sağlayan en önemli bileşendir (Anderson 1992).

Bağlayıcılar tek tek kullanılabilir olmakla beraber birden fazla bağlayıcı birlikte de kullanılmaktadır (Vishwanath et al. 1993). Fenol formaldehit reçine adı verilen termoset reçineler otomotiv sektöründe kullanılan en yaygın bağlayıcıdır. Bu reçinelerin en büyük özelliği sıcaklıkta sertleşmeleridir. Fenol formaldehitler yüksek sıcaklıklarda kullanışlıdır çünkü sürekli bir yapı kafesine sahip oldukları için moleküller arasında kayma olmaz. Böylece şekil değiştirme sıcaklığın yükselmesine bağlı değildir. Fenol formaldehit reçinenin içerisinde %40 fenol, %22 formaldehit, %4 kresol, %34 su, çözücü ve diğer dolgu maddeleri bulunmaktadır (Gemalmayan 1984).

2.5.2 Dolgu Malzemeleri

Dolgu maddeleri balata bileşimlerinde takviye edici elyaflar kadar önemli olmasa da sürtünme malzemesinin özelliklerinin belirlenmesinde etkileri büyüktür. Dolgu maddelerinin katılma sebebi üretilebilirliğinin geliştirilmesinin yanında balata maliyetinin azaltılmasıdır. Dolgu maddeleri, sürtünme malzemesinin büyük bir oranını oluştururlar (Chan and Stachowiak 2003). Mika, vermikülit, BaSO₄, potasyum titanat,

aramid lifler, CaCO ve Al₂O₃ da genelde kullanılan dolgu malzemeleridir (Eriksson et al. 2002).

Isının homojen bir şekilde dağılması ve sürtünme katsayısının ayarlanması, mukavemetin ve korozyon direncinin artırılması ve balatanın renklendirilmesi dolgu maddelerinin yardımıyla sağlanmaktadır (Ayar 1991).

2.5.2.1 Kizelgur

Diatomit diye bilinen sedimanter kayalara Almanca ve Fransızca literatürde verilen addır. Diatomit minerali tatlı ve tuzlu göl sularında yaşayan diatome adı verilen mikroskobik canlıların fosilleşmiş silisli kabuklarından oluşmuştur (Mete 1985)

2.5.2.2 Mermer Tozu

Kireç taşlarının (CaCO₃) zamanla doğada meydana gelen ısı ve basınç (metamorfizma) etkisi ile kristalize olmuş sert taşlara mermer adı verilir. Kimyasal bileşimlerinde büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranlarda silisyum dioksit, ayrıca pigment olarak da değişik metal oksitleri bulunmaktadır (Kun 2000, Önenç 1998).

2.5.2.3 Kil

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).

2.5.2.4 Barit

BaSO₄ (barit) miktarı azaltıldığında yüksek sıcaklıklarda dahi sürtünme katsayısı kararlılığını koruduğu, ancak aşınma oranının önemli derecede arttığı gözlenmiştir. Alternatifi olarak CaCO₃ kullanılır. Daha ucuzdur, ancak yüksek sıcaklıklarda dayanıksızdır (Nicholson 1995).

2.5.3 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).

2.5.4 Yağlayıcılar

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

2.5.5 Sürtünme Düzenleyici Katkılar

Bu katkı malzemelerinin sürtünme ve mekanik özellikleri yükseltmede veya değiştirmede çeşitli görevleri vardır. Sürtünme düzenleyici katkıların abrazif olanlar ve abrazif olmayanlar olmak üzere iki tipi vardır. Alüminyum oksit veya krom oksit gibi abrazifler sürtünme katsayısı yükseltmek için kullanılırken grafit gibi katı yağlayıcılar azaltmak için kullanılır. Pirinç veya bakır parçacıkları/tozları ısı dağılımını iyileştirmek için katılırlar.

Bir taşıtın tekerleğine fren uygulandığında lastik ve yol yüzeyi arasında tekerleğin dönmesine engel olan bir kuvvet oluşur. Bu kuvvet taşıt hareketinin tersine bir kuvvet olup aracın durma mesafesini etkiler. Taşıtın durma mesafesi ise fren verimini etkileyen faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin bir kısmı sürtünen yüzeyler arasındaki frenleme kuvvetini de etkilemektedir. Taşıt sürüş güvenliği ve toplum sağlığı yönünden

balataların etkisinin net bir şekilde ortaya konularak açıklanması, bu konunun denetim ve çözümüne yardımcı olacaktır (Mutlu 2002).

2.5.5.1 Grafit

Grafit, karbonun çok yapılı şekillerinden biri olup tabakalı bir yapıya sahiptir. Tabakalar kendi aralarında zayıf ikincil bağlarla bağlı olduğundan birbirleri üzerinde kolayca kayar. Tabakaların kayma kolaylığı, grafitte yağlayıcılık özelliği verir (Smith 1996). Bu özelliğiyle grafit balatalarda sürtünme ayarlayıcı olarak kullanılır (Öztürk 2004). Sürtünme ayarlayıcı malzemeler arasında önemli bir yeri olan grafit, balata içerisinde yeterli miktarlarda ayarlandığında sürtünme katsayısının istenilen değerlerde olmasını sağlar.

2.5.5.2 Alüminyum oksit (Al₂O₃)

Yoğunluğu 3,97 g/cm³ arasında, Mohs sertliği 9 ve ortalama toz boyutu 120 µm civarındadır. Erime sıcaklığı 2050°C ve ergime ısısı 5100–6000 cal/gr.mol olarak belirtilmiştir (Kara 1998).

2.5.5.3 Silisyum oksit (SiO₂)

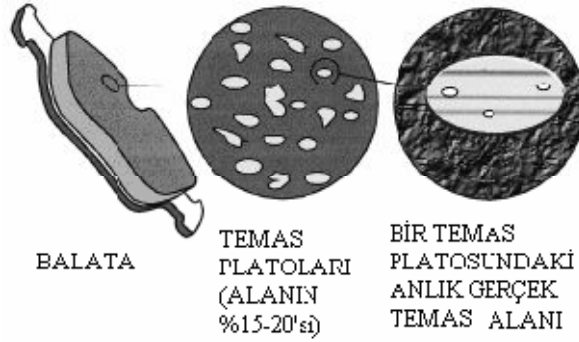
Yoğunluğu 2,30 g/cm³, Mohs sertliği 7,5 ve ortalama toz boyutu 100 µm civarındadır. Erime sıcaklığı 1710 °C'dir (Kara 1998).

2.6 Fren Balatalarının Sürtünme Performansı Etkileyen Faktörler

Malzemelerin sürtünme ve aşınma davranışlarını sürtünme yüzeyleri arasındaki doğal etkileşim belirler. Bu etkileşimin derecesi balata sürtünme ve aşınma özellikleri, bileşim, yüzey geometrisi, yüzey enerjisi, kimyasal reaksiyonlar, yüzeyin fiziksel ve mekaniksel özellikleri, yağlı, yağ, kumlu ile aşınmadan dolayı kirlenen yüzey ve çalışma koşullarındaki basınç, hız, sıcaklık gibi birçok parametreye bağlıdır (Bijwe 1997).

2.6.1 Sürtünme Temas Yüzeyi

Balatalar genellikle farklı özelliğe sahip birçok bileşenden meydana gelir. Reçine ve katı yağlayıcılar en zayıf bileşenler olurken, abrazif parçacıklar ve elyaflar en sert bileşenler olmaktadır. Bu farklılıklar karmaşık bir temas durumu oluşturur. Aşınma parçacıkları sıkıştırılmaları sonucunda balata yüzeyinde toplanarak “plato” adı verilen alanlar oluştururlar. Bu platolar, balatanın disk ile temas alanları olup gerçek alanın %15-20’si oluştururlar. Fren balatalarında temas bu platolar ile sınırlıdır. Sürtünme yüzeyinin sınırlı bir kısmı karşı yüzeyle gerçek temastadır. Gerçek temas alanı ise balata yüzeyi üzerindeki temas platoları içerisinde yer alan anlık alanlardır(gerçek temas alanı). Gerçek temas alanı platolarla karşılaştırıldığında çok küçüktür. Yükleme yüzeye dik olsa bile gerçek temas platoları disk/kampana yüzeyine teması engeller. Platonun boyutu ve bileşiminin balatanın sürtünmesinde çok önemli bir etkisi vardır.



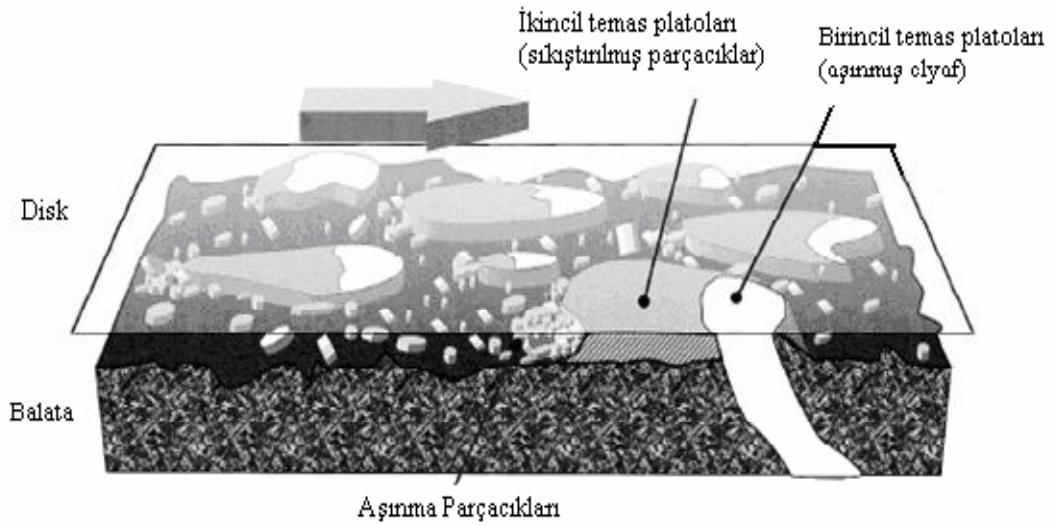
Şekil 2.4 Fren balatası, temas platoları ve anlık gerçek temas platoları (Eriksson and Jacobson 2000).

Ayrıca, temas durumu dinamiktir. Bir platonun yapısı bozulduğunda veya çöktüğünde değişimler çok hareketlidir. Aynı zamanda yüzeyden kopan parçanın büyük veya küçük olması da bu değişimlerde etkilidir.

Temas platoları birincil ve ikincil platolar olmak üzere iki kısımdan oluşur. Birincil platolar balatanın daha yüksek aşınma dayanımına sahip, mekanik olarak kararlı ve aşınmaya dirençli bileşenlerinden oluşur. Balata ve disk arasındaki kayma temasında aşınma parçacıkları bu iki yüzey arasındaki dar aralıkta yer alarak bu aralıkta hareket

eder. Aşınma parçacıkları yer yer birincil platoların arkasına sıkışarak burada birikir ve ikincil platoları oluştururlar, Şekil 5 (Eriksson and Jacobson 2000).

İkincil platoyu oluşturan aşınma parçacıkları normal kuvvet, kayma kuvveti ve sürtünme ısıyla sıkıştırılır. İkincil platolar, birincil platolardan sonra oluşurlar. İkincil platoların kopması veya aşınması nedeniyle bozulurlar. Ayrıca disk yüzeyindeki kirlenme ve düzensizlikler yoluyla ara malzemelerin aşındırmasıyla da ortadan kalkabilirler (Eriksson et al. 2000, Eriksson et al. 2002).



Şekil 2.5 Balata ve disk arasındaki temas durumunun şematik gösterimi (Eriksson and Jacobson 2000).

2.6.2. Feyd Dayanımı

Fren feydi genellikle ağır frenleme şartlarında balatada meydana gelen yüksek sıcaklık sonucu fren etkinliğinin kaybolmasıdır. Bunun yanında beş tip fren feydi meydana gelebilir (Anderson 1992).

- Yükselen balata sıcaklığından dolayı (ısıf feyd)
- Soğuma sırasındaki reçine geçişi nedeniyle (gecikmiş feyd)
- Balatada yüzeye yakın gaz kabarcıklarının oluşması yüzünden (kabarcık feydi)
- Yüksek hız ve ağır yüklerde frenleme sonucu (flaş feydi)

- Yüzeye dışarıdan gelen su/yağ ile oluşan kısmi yağlama yüzünden (kirlenme feydi) meydana gelmektedir.

Feyd geri kazanımı; sürtünme malzemesinin ısı feydden sonra normal fren etkinliğini hızla yeniden kazanması yeteneğidir. Fren disk/kampanası soğurken sürtünme seviyesi hızla feyd öncesi seviyesine dönmelidir. Gecikmiş feyd; bazı kampana fren balatalarında meydana gelebilecek bir olaydır. Feyd geri kazanımı sırasında fren etkinliği beklenmedik bir şekilde düşebilir. Bu durum geçici fakat dikkate değer bir fren pedal kuvveti artışı gerektirir. Gecikmiş feyd beklenmediği için tehlikeli bir olaydır. Genellikle herhangi bir ikaz işareti olmadan ağır bir fren kullanım periyodundan oldukça sonra meydana gelmektedir.

Kabarcık feydi; yeni balatalar üretimden kalan uçucu maddeler ihtiva edebilirler. Bunlar alışma işlemi sonunda serbest kalmamışlarsa sert bir fren uygulaması sırasında oluşan hızlı ısınma sonucunda yüksek iç gaz basınçları meydana gelebilir. Bazı durumlarda yüzeye yakın kabarcıklaşma hızlı kısa bir fren etkinliği kaybı sonucunu doğurur. Kabarcık bölgelerinde yüksek temas basınçları ve çıkan gazlar yüzünden sürtünme kaybedilir. Kabarcık feydinin bir özelliği kısa süreli etkili olmasıdır. Fren etkinliği sert bir fren uygulaması sırasında birkaç saniye için kaybolur ve sonra hemen hemen normal seviyeye döner. Sert fren uygulamalarının tekrarı ikinci bir kabarcık feydi oluşturmayacaktır, çünkü uçucu maddeler yüzeye yakın bölgeden uzaklaşmıştır.

Flaş feydi; kabarcık ve ham feyd ile ilgilidir. Genellikle sadece çok yüksek hızlarda ve çok yüksek fren güç seviyelerinde meydana gelir.

Kirlenme feydi; balata veya disk/kampana yüzeyinde su, yağ veya bunların birlikte bulunması ara yüzeyde elastohidrodinamik sıvı filmi oluşturabilir ve bu durum, freni fiilen bir yatak haline getirir. Farklı sürtünme malzemeleri farklı gözenekliliğe, uyum ve aşınma özelliklerine sahiptir. Bu yüzden yabancı maddelere karşı duyarlılık da oldukça farklı olabilir. Kampana frenleri gibi büyük sürtünme yüzey alanı olan frenler yabancı madde feydine daha eğilimlidirler (Arslan vd. 1997).

2.6.3 Hız Duyarlılığı

Tüm balatalar sürtünme hızı değişimine karşı farklı sürtünme davranışı gösterirler. Hız duyarlılığı balata malzemesinin tipi ve bileşimi ile değişmektedir. Bunun yanında hız duyarlılığına sıcaklık, basınç ve daha önceki kullanım biçimi de etkili olmaktadır. Disk frenleri kampana frenlerine göre, farklı frenleme hızlarında, fren etkinliğinde daha az değişme göstermektedir. Bunun en önemli sebebi disk frenlerinin servo faktörünün düşük olmasıdır (Anderson 1992). Ön disk ve arka duo-servo kampana fren kullanılan araçlarda tüm hızlar için ön ve arka fren dengelemesini sağlamak zordur. Bu nedenle disk frenleriyle kampana frenleri arasındaki 3/4 kat fren servo faktörü farkını dengeleyebilmek için hıza duyarlılığı düşük kampana fren balatalarıyla hıza duyarlılığı oldukça yüksek disk fren balataları eşlenmelidir (Arslan vd. 1997).

2.6.4 Ortam Şartlarına Duyarlılık

Su, yağ, toz ve pas gibi kirleticiler fren etkinliğini değiştirirler. Düşük yağ toleransı ve yüksek duyarlılık sebebiyle hatta yağlı bir parmak izi bile önemli bir etkinlik değişmesine sebep olabilir (Arslan vd. 1997).

2.6.5 Yaş Sürtünme

Araç fren performansı ıslak olsa dahi emniyetli bir durum sergilemelidir. Disk ve kampana frenlerinin her ikisi de ıslak olduklarında büyük bir etkinlik kaybı gösterebilirler. Küçük bir parça yağ su ile beraber yağlama işlevini artırır. Islak olduğunda bazı sürtünme malzemeleri diğerlerinden daha büyük bir fren etkinliği kaybı verirler ve genellikle ıslandıktan sonra sürtünme yeteneğinin yeniden kazanılması için de epeyce uzun bir zaman gerekir. Nüfuz edilme, homojenlik ve basma rijitliği gibi bazı özellikler balatanın ıslak sürtünme davranışını tespit etmeye yardımcı eder (Arslan vd. 1997).

2.6.6 Nem Duyarlılığı

Sürtünme malzemesi özellik olarak gözenekli, elyaf takviyeli bir kompozittir. Bu yüzden bu malzemeler gece boyunca olduğu gibi araç uzun bir süre park edildiğinde atmosferdeki nemi emme yeteneğine sahiptirler. Emilen bu nemin bazı balatalarda fren etkinliğini geçici olarak değiştirdiği görülmüştür. Cam ve kevlar takviyeli balatalar nem etkisinde kaldığında sürtünme katsayısı artma eğiliminde, diğer malzemeler ise nemli ortamlarda sürtünmeyi azaltma eğilimindedir (Anderson 1992). Kampana balataları yüksek nemli ortamlara açık kaldığında zamanla kalınlıkları değişmektedir (Arslan vd. 1997).

2.6.7 Oksit Etkisi

Nemin diğer bir etkisi araç belli bir süre park ettiğinde dökme demir disk/kampana sürtünme yüzeyinin paslanarak balatanın tutunmasına sebep olmasıdır. Aksi çevresel şartlar altında da bazı sürtünme malzemelerinin dökme demirle pas bağı oluşturması mümkündür. Oluşan bu bağı koparmak için oldukça önemli büyüklükte bir moment gerekebilir. Pas bağından ayrı olarak disk/kampana paslanması da oluşabilir. Bu durumda fren etkinliği düşük hızlarda yüksek ve yüksek araç hızlarında düşüktür normale dönme eğilimindedir. Pasın etkili olup olmaması hem fren kullanım şartlarına hem de balata ve disk/kampana yüzeylerinin bağıl aşındırıcılığına bağlıdır. Balata içinde az bir aşındırıcı bileşen disk kampana yüzeyinde bölgesel olarak oluşmuş pasın uzaklaştırılmasında faydalı olabilir. Bu yüzden balata bileşeni içerisinde oluşan pasın kontrolü için katkılar bulunur (Arslan vd. 1997).

2.6.8 Etkinlik Değişimi

Bazı sürtünme malzemelerinin fren etkinliği geçmişteki kullanım şekli, kullanım süresi ve aşınma gibi etkilerin toplamıyla düşebilir. Bazı balataların yüzeyinde uzun süreli hafif şartlarda kullanım sırasında bir sır oluşması da etkinlik kaybı oluşturmaktadır. Aşınma ömrü iyi olan balatalar zayıf olan balatalardan daha kolay sır oluşturma eğilimindedirler (Arslan vd. 1997).

2.7. Sürtünme

2.7.1 Sürtünmenin Tanımı

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

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

Diğer adıyla triboloji cisimlerin bağıl hareketinde yüzeylerin etkileşimini inceleyen bilim dalıdır. Triboloji kelimesi yunanca "tribos" kelimesinden çıkmıştır ve sürtünme manasındadır (Mutlu 2002).

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

Sürtünmenin mühendislikle ilgili yönü oldukça eskidir. Sürtünmenin ilk pratik uygulamalarından olan ateş yakmak için sürtme ısısının kullanılışı tarih öncesi çağlara dayanır. Ağır yükleri taşımada, işi minimuma indirmek için kullanılan ve zaman zaman sıvı yağlarla yağlanan kızak, silindir ve tekerlek gibi uygulamaların tarihi 3000 yıldan eskidir. Bunlar sürtünme olayının ne denli erken değerlendirildiğini ve önemini göstermektedir (Mutlu 2002).

2.7.2 Sürtünme Kanunları

Sürtünme kanunlarının belirlenmesinde üç temel esas vardır:

Birinci kanun; temas eden yüzeyler arasında oluşan sürtünme kuvveti görünen temas alanından bağımsızdır.

İkinci kanun; sürtünme kuvveti cisimler arasındaki normal yük ile doğru orantılıdır. Böylece bir cisim diğeri üzerinde kayarken, eğer normal yük iki katına çıkarılırsa sürtünme kuvveti de iki katına çıkar. Bu kural daha çok "Amonton" kuralı olarak bilinir ve ilk kez 1699 yılında Fransız bilim adamı Amonton tarafından çıkarılmıştır.

Üçüncü kural olarak da; kinetik sürtünmenin, kayma hızından bağımsız olduğu söylenebilir. Bu kuralın ilk ikisine göre uygulanabilirliği daha düşük değerdedir. Üçüncü kural Coulomb tarafından 1785 yılında açıklanmıştır (Mutlu 2002).

Triboloji yaklaşımlarının ilki 15.yy baslarında Leonardo da Vinci tarafından yapılmıştır. Da Vinci, düzgün yüzeyler için sürtünmenin ağırlığın dörtte birinden sorumlu olduğunu diğeri bir deyişle sürtünme katsayısının 0,25 olduğunu kabul etmiştir (Colchero et al. 1999).

Amonton'un kanunlarına göre; kuvvet gerçek temas alanı ile orantılı ise sürtünme kuvveti de uygulanan yük ile orantılıdır (Stachowiak and Batchelor 2004). Sürtünme kuvveti ile ilgili Bowden ve Tabor (1964) tarafından yapılan çeşitli çalışmalarda ise gözlenen ve dikkate alınan genel kurallar aşağıdaki gibi özetlenmiştir (Ferrante and Abel 1999);

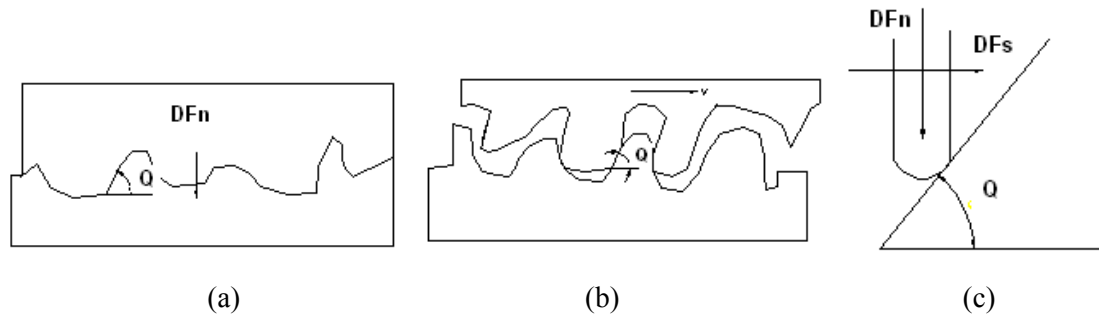
1. Sürtünme katsayısı görünen temas alanına bağlı değildir,
2. Sürtünme katsayısı normal yük ile orantılıdır,
3. Kinetik sürtünme katsayısı hıza bağlı değildir,
4. Statik sürtünme katsayısından daha küçüktür.

Birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler arasına yağlayıcı madde konulup konulmaması bakımından temas yüzeylerinin durumuna göre, kuru, yarı sıvı ve sıvı sürtünme olarak

üç halde de incelenebilir. Bir yüzey üzerinde bulunan bir cisim itilmeye karşı, karşı yönde bir direnç kuvveti oluşturur. Bu direnç kuvveti, tutmalı (statik) direnç kuvveti olarak isimlendirilir. Bir cismi hareket ettirebilmek için tutmalı sürtünme kuvvetinden daha büyük bir itme kuvvetine gereksinim vardır.

Cisim hareket halinde ise tutmalı sürtünme kuvvetinden daha küçük boyutlardaki sürtünme kuvveti oluşur. Bu kuvvete kaymalı (dinamik) sürtünme kuvveti denir ve bu kuvvet itme kuvvetine karşı yöndedir (Mutlu 2002).

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



Şekil 2.6 Coulomb'un sürtünme modeli (a) Statik temas (b) Dinamik temas (c) Eğik düzlem.

Burada DF_s ; Sürtünme kuvvetini, DF_n normal kuvveti ifade eder. Q ise pürüzün taban açısıdır. Statik haldeki sürtünmenin dinamik sürtünmeden daha büyük olmasının sebebi temas başlangıcındaki yüzeylerdeki pürüzlerin birbirini tam kavramasına, dolayısıyla bu temasın bozulması için daha fazla sürtünme kuvveti gerektirmesine bağlanmaktadır. Dinamik sürtünmede pürüzler birbiri üzerinden sıçrayarak hareket ettikleri için daha az sürtünme kuvveti gerektirir. Ayrıca yağlayıcı ara maddeler pürüz boşluklarını doldurarak, pürüzlülüğün etkisini, dolayısıyla sürtünmeyi azaltır (Tabor 2000).

Temas eden iki katı cisim arasındaki bağıl sürtünme hareketi esnasında sürtünme kuvveti tarafından bir iş yapıldığından temas yüzeyinde bir enerji açığa çıkar. Bu enerji tribolojik sistemin giriş ve çıkış enerjileri arasındaki farka eşit olup, sürtünme enerjisi

olarak adlandırılır (Mutlu, 2002). Temasta bulunan iki malzemeden biri diğèrinin üzerinde kayarken diğèr malzemenin karsı yüzeyin hareketine gösterdiği direnç Sürtünme Kuvveti olarak adlandırılır (Staab 1999). Sürtünme çalışmalarındaki esas problem, sürtünme katsayısını belirlemektir. Aşınmaya göre (aşınma için), aşınan malzemenin hacim oranı (V) ya da değèrinin belirlenmesi ve aşınmadan dolayı ağır hasarın meydana geldiği şartların saptanması gerekmektedir (Majumdar and Bhushan 1999).

Sürtünmenin etkileri belirlendiğinden veya fonksiyonları kontrol edildiğinden beri tasarım ve üretim sürecinde, malzemenin sürtünme özellikleri dikkate alınarak, cihazın ömrü ve verimliliği belirlenmektedir. Tekniğin her sahasında malzemelerin sürtünme özelliklerinden ve sürtünme kuvvetinden faydalanılarak çeşitli konstrüksiyonlar gerçekleştirilmiştir (Mutlu 2002).

Örneđin otomobillerde fren ile yavaşlama-durma esnasında aşınma oranının düşük, buna karsın sürtünme değèrlerinin yüksek olması istenmektedir (Stachowiak and Batchelor 2004, Majumdar and Bhushan 1999, Colchero et al. 1999) ya da ayakkabılarımızın tabanlarındaki sürtünmeden dolayı kaymanın engellenmesi yüksek sürtünmenin avantajlı olduğu durumlardır. Diğèr yandan motor silindiri içinde piston hareketi esnasında düşük sürtünme ve aşınma beklenmektedir (Majumdar and Bhushan 1999). Kullandığımız kalemlerde sürtünmenin en az, aşınmanın ise yüksek değèrlerde olması beklenir. Silgilerde ise hem sürtünme hem de aşınma yüksek olmalıdır (Stachowiak, and Batchelor 2004).

Sürtünme, ilgili yüzeyler arasında belirli değèrler içinde olmalıdır. Taşıt frenlerinde sürtünmenin azlığı nedeniyle taşıtın istenilen mesafe ve zamanda durmaması veya fazla sürtünme nedeniyle taşıtın frenlerinin bloke olması bu duruma tipik örnektir (Mutlu 2002). Pürüzlü iki yüzey arasındaki temas, farklı temas noktalarında meydana gelmektedir. Böyle iki yüzeyin kayması boyunca, bu temas noktalarında sürtünme ve aşınmaya sebep olan ara yüzey gerilmeleri meydana gelir (Stachowiak and Batchelor 2004) (Majumdar and Bhushan 1999).

2.8 Aşınma

Mekanik harekete bağlı olarak malzemede istenmeyen kopma şeklinde tanımlanan aşınma, sürtünme etkisinin de kaçınılmaz bir sonucudur. Aşınma sonucu birbirleriyle çalışan yüzeyler arasında meydana gelen boşluklar çalışma sırasında istenilmeyen durumlara yol açarak o oranda da istenilen fonksiyonların yerine getirilmesini zorlaştırır (Gemalmayan 1984).

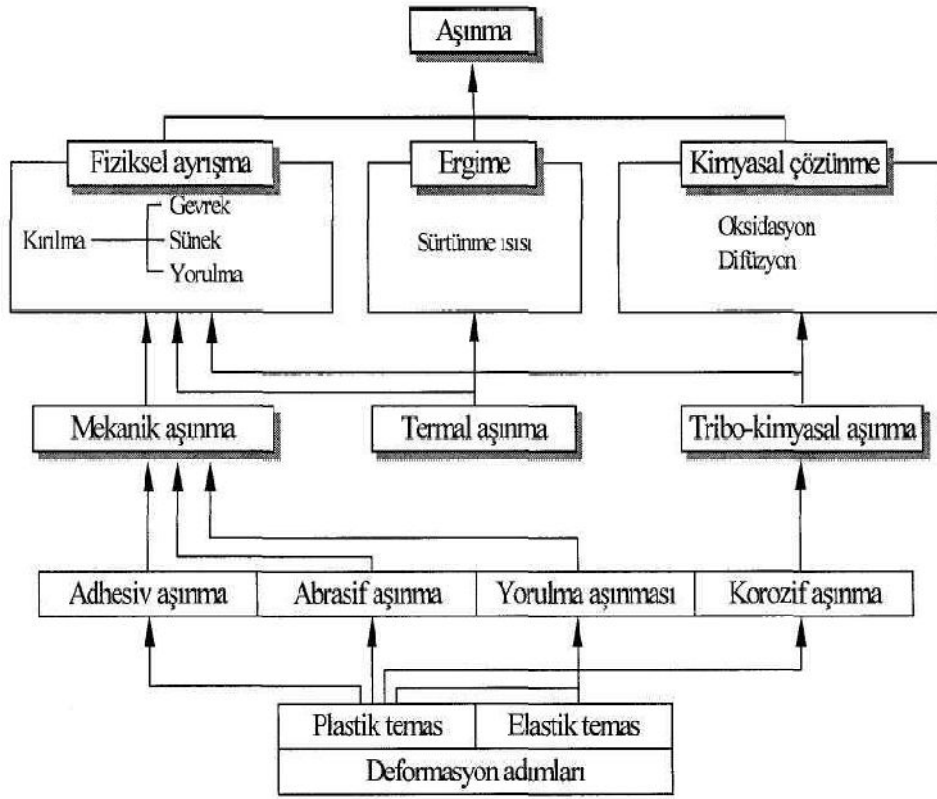
Genel olarak hemen hemen tüm makineler dayanımlarını ve güvenilirliklerini aşınma yüzünden kaybetmektedir. Bu sebeple aşınmanın kontrol altına alınması güvenilir bir teknoloji için büyük gereklilik arz etmektedir (Bhushan 2001). Genel olarak aşınma, hacim kaybı miktarı ve aşınma yüzeyinin durumu ile değerlendirilir. Aşınma değeri, aşınma hızı, spesifik aşınma hızı ya da aşınma katsayısı olarak tanımlanır (Bhushan 2001).

2.8.1 Aşınma türleri

Sürtünerek çalışan malzeme çifti arasındaki karşılıklı zorlama neticesinde meydana gelen aşınmanın değişik türleri vardır ve bundan dolayı farklı sınıflandırılmaları gerekmektedir (Mutlu 2002).

En yaygın bilinen aşınma durumu 'kaymalı aşınma (sliding wear)' dir. Kaymalı aşınmada bir yüzey diğerinin üzerinde kayarken, tekrarlı kayma sonucu zaten malzeme yüzeyinin doğasından kaynaklanan pürüzlülükler dışında pürüzlü bir yüzey ya da malzeme yüzeyinde tepeler-çukurlar-yivler gibi oluşumlar görülür. Bu pürüzlülükler kaymanın devamı halinde yerlerinden ayrılarak ya sistemden uzaklaşır ya da kayma ara yüzeyine yerleşerek aşınma partikülleri olarak davranırlar (Staab 1999).

Aşınma; yağlayıcı tipi, sıcaklık, yük, hız, malzeme, ürünün yüzey bitirme işlemi ve sertlik gibi özelliklerinin değiştirilmesinden etkilenmektedir (Mutlu 2002).



Şekil 2.7 Aşınmayı tanımlayıcı anahtar kelimeler ve birbirleri ile etkileşimleri (Bhushan 2001).

Aşınma mekanizmaları genel olarak dört başlıkta incelenmektedir (Bhushan 2001).

1. Adhesiv aşınma
2. Abrazif aşınma
3. Yorulma aşınması
4. Korozyon aşınması

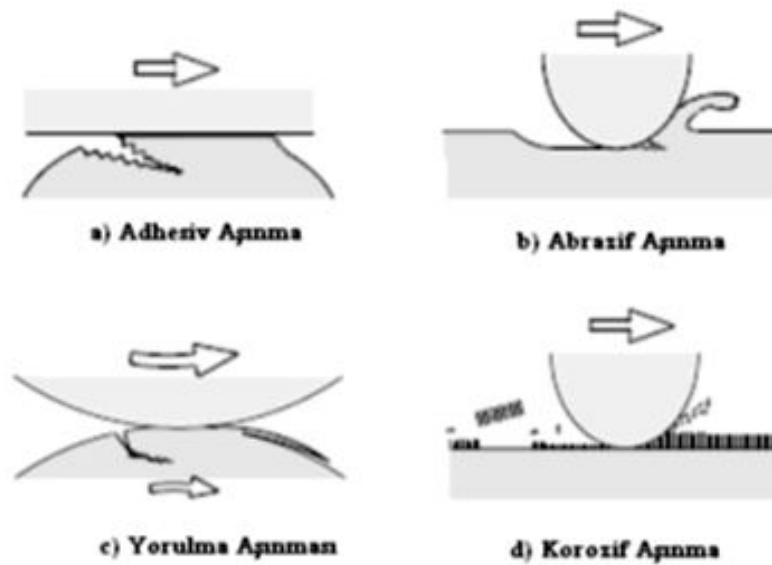
Adhesiv ve abrazif aşınma modları plastik temas altında oluşmaktadır. Benzer metaller arasında plastik temas durumunda, temas ara yüzeyi adhesiv bağlanma kuvvetine sahip olacaktır. Malzemenin temas ara yüzeyinde meydana gelecek hasar eğer ki güçlü adhezyon sonucu oluşuyorsa bu tür aşınma mekanizmasına adhesiv aşınma adı verilir (Bhushan 2001).

Sert ve keskin malzeme ile ona göre daha yumuşak sayılabilecek bir malzeme arasında meydana gelen plastik temas durumunda, sert olan malzeme daha yumuşak olan malzemenin yüzeyine batacak ya da içine penetre olacaktır. Malzemede oluşacak çatlak

ya da hasar gibi bu sert faz partiküllerinin karşı malzeme yüzeyinde oluşturacakları mikro-yarıklar ya da mikro-çatlaklar şeklindeki aşınmaya abrazif aşınma denir (Bhushan 2001). Yorulma çatlakları oluşumu tekrarlı sürtünme çevriminde meydana gelmektedir. Aşınma yüzey hasarının yorulma mekanizması ile meydana geldiği bu aşınma türüne ise yorulma aşınması denmektedir. Korozif ortamlarda, temas ara yüzeyinde tribokimyasal reaksiyonlar hızlandırılır. Korozif bir ortamda tribokimyasal reaksiyonlar sonucu yüzeyden malzeme kaybı korozif aşınma ile tanımlanmaktadır.

Korozif aşınmada yüzeyden malzeme uzaklaşması, aşınma yüzeyinde kimyasal reaksiyon filminin oluşumu ile gerçekleşir ki bu filmin oluşumu, sürtünme deformasyonu, sürtünme ısı ve oluşan mikroçatlaklar ile aktive edilip hızlandırılır (Bhushan 2001). Hava da baskın olan korozif madde oksijen ise böyle bir ortamda metallerde meydana gelen tribokimyasal aşınma da oksidatif aşınma olarak adlandırılır (Bhushan 2001).

Yorulma aşınması ve korozif aşınma hem plastik hem de elastik temas şartlarında meydana gelmektedir. Şekil 2.8’de gösterilen adhesiv, abrazif ya da yorulma aşınmalarındaki malzeme kaybı, temastaki deformasyon ve kırılma ile meydana gelmektedir. Bu kırılmalar mekanik olarak meydana gelen gerilmelerle üretilir ki bu tür aşınmalar genel olarak mekanik aşınma başlığı altında toplanır (Bhushan, B., 2001).



Şekil 2.8 Dört başlıkta incelenen aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi (Bhushan 2001).

2.8.1.1 Adhesiv Aşınma

Plastik temastaki iki yüzey arasındaki temas ara yüzeyi relatif kaymaya direnç gösterecek kadar adhesiv bağ mukavemetine sahiptir. Dislokasyonlardan meydana gelen plastik deformasyon, basma ve kayma gerilmeleri altında temas bölgesinde çıkar. Temas alanındaki böyle deformasyonların sonucu olarak birleştirilmiş gerilme ve kayma hasar modlarında çatlak başlangıcı ve ilerlemesi teşvik edilir. Çatlak temas ara yüzeyine ulaştığı zaman aşınma partikülleri meydana gelir ve adhesiv transfer tamamlanır. Temas ara yüzeyindeki adhesiv bağlanmanın oluşturduğu bu tür aşınma, adhesiv aşınma olarak adlandırılır (Bhushan 2001).

2.8.1.2 Abrazif Aşınma

Abrazif aşınma ASTM'de de tanımlandığı üzere, katı yüzey boyunca, katı yüzeye karşı hareket eden sert partikül ya da sert yükseltelerin oluşturduğu aşınma türüdür. Aşınma genellikle temas eden yüzeyler arasındaki sert partiküllerin ya da diğerine göre sert yüzeylerin relatif hareketlerinden dolayı meydana gelen malzeme kaybını içeren katı yüzeyin hasarı olarak tanımlanır (ASM Handbook, Vol 18).

2.8.1.3 Yorulma Aşınması

Adhesiv ve abrazif aşınma mekanizmalarında aşınma partikülü oluşması için tekrarlı temasın olmasına gerek yoktur. Tekrarlı temasın olduğu yerlerde aşınma ürünlerinin oluşması için farklı bir aşınma mekanizması mevcuttur. Böyle tekrarlı temas halinde meydana gelen aşınma yorulma aşınması olarak adlandırılır (Aslan 2005) ve (Bhushan 2001).

2.8.1.4 Korozi Aşınma

Korozi aşınmada oluşan reaksiyon ürünleri sürtünme ile yüzeyden kalkar. Bu durumda reaksiyon tabakalarının aşınma hızı, yüzeyde oluşan ve yüzeyden kalkan reaksiyon ürünlerinin hızı ile alakalıdır (Bhushan 2001). Reaksiyon ürünlerinin yüzeye kuvvetli

bir şekilde yapışması ve bulk malzeme gibi davranması durumunda, aşınma mekanizmasının da neredeyse bulk malzeme ile aynı olacağı öngörülmektedir. Yine de birçok durumda böyle reaksiyon ürünleri bulk malzemedan farklı davranmaktadır ki bu durumda katı yüzeyin korozif ortam ile etkileşimleri ile reaksiyon ürünlerinin oluşumu korozif aşınmayı meydana getirir (Bhushan 2001).

2.9 Amaç ve Kapsam

Frenler enerji değişim araçlarıdır, kinetik enerjiyi, termal enerjiye çevirir. Fren sistemi, motorlu taşıtın yavaşlamasını ve durmasını sağlayan düzenektir. Yokuş aşağı inen taşıtın hız kazanmasını önlemek, duran taşıtın bu durumunu sürdürmek üzere de kullanılır. Fren sistemi taşıttaki kinetik enerjiyi sürtünme yoluyla ısı enerjisine çevirerek taşıtın durmasını veya yavaşlamasını sağlar (Soydan 2007). Frenleme sistemindeki en önemli parçalarından biriside balatalardır. Fren balatalarından 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 karbon elyaf ve toz karbon katkılı fren balataları üretilmiştir. Karbon elyafın balata malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Balata özelliklerinin geliştirilmesi açısından karbon elyaf farklı boyutlarda ve oranlarda komponent içerisine katılmıştır. Balata numunelerinin içerisindeki karbon elyaf boyutu ve kütleli % oranları değiştirilerek zamana bağlı sürtünme-sıcaklık değişimleri incelenmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

Tez çalışmasının bu bölümünde, çalışmada kullanılan malzeme oranları, numune üretiminde kullanılan cihaz ve ekipmanlar ve numunelerin karakterizasyon özelliklerini belirlemede kullanılan analiz teknikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Deney işlemlerinde uygulanan işlem basamakları Şekil 3.1’ de verilmiştir.

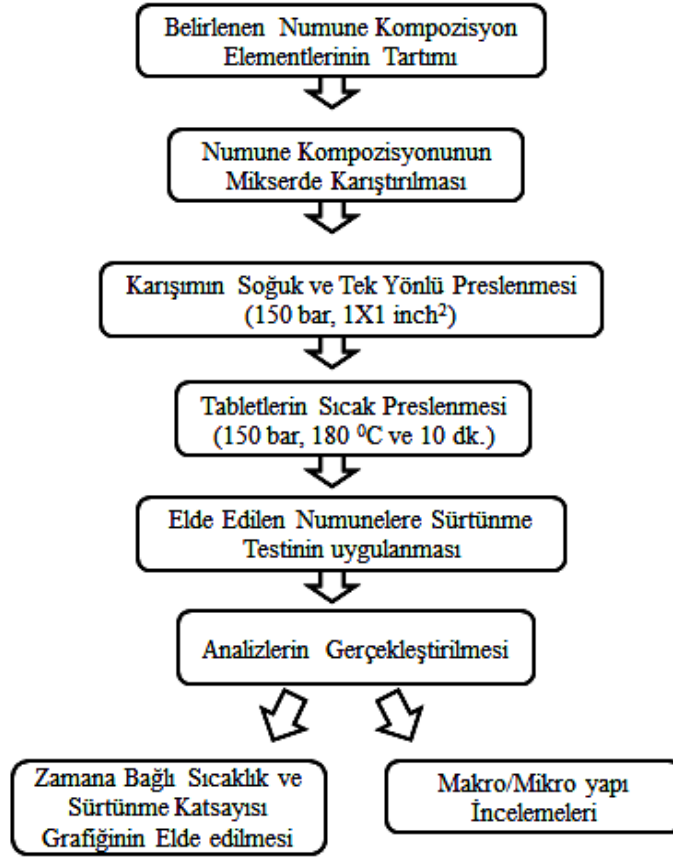
3.1 Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada otomobil fren sistemi içerisinde kullanılan balata malzemesinin sürtünme performansına karbon elyaf takviyelerin etkisi incelenmiştir. Karbon elyaf takviyeler numune içerisine farklı uzunlukta ve farklı oranlarda katılmıştır.



Resim 3.1 Karbon elyaf iplik.

Çizelge 3.1’ de tez çalışmasında sentezlenen balata numunelerinin kompozisyon oranları verilmiştir. Ayrıca kullanılan karbon elyaf uzunluğuna ve kompozisyonundaki oranına göre numuneler kodlanmıştır. Karbon elyaf takviye malzemesi 5, 7.5 ve 10 mm’ lik uzunluklarda kesilmiş ve numune içerisine karıştırılmıştır. Belirlenen kompozisyonundaki malzemeler hassas terazi ile tartılmıştır.



Şekil 3.1 Deney akım şeması.

Numune balatalar üç farklı grupta üretilmiştir. Birinci grupta 5 mm boyutunda karbon elyaf, ikinci grupta 7,5 mm ve üçüncü grupta ise 10 mm boyutuna sahip karbon elyafın kullanıldığı numunelerdir. Bu malzemelerin optimum oranlarını belirlenmesi için beş farklı oran kullanılmıştır. Bu şekilde üç grupta farklı içeriklere sahip toplam 15 adet farklı numune hazırlanmıştır. Numune balataların üretimi üç farklı grup olarak planlanmıştır. Birinci grupta 5mm uzunluğunda karbon elyaf ve toz karbon ile birlikte belirlenen diğer bileşenler seçilmiştir. İkinci grupta ise 7,5 mm uzunluğunda karbon elyaf ve toz karbon ile birlikte diğer bileşenler seçilmiştir. Üçüncü grupta ise 10 mm uzunluğunda karbon elyaf ve toz karbon ile birlikte diğer bileşenler seçilmiştir. 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. Çizelge 3.1’ de numunelerde kullanılan malzemelerin yüzde oranları verilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan elementler ve kompozisyondaki oranları (% kütleli).

Element	505	510	515	520	525
Reçine	20	20	20	20	20
Çelik fiber	10	10	10	10	10
Cashew	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Bakır	5	5	5	5	5
Al ₂ O ₃	3	3	3	3	3
Grafit	7	7	7	7	7
Pirinç talaşı	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Karbon elyaf (5mm)	5	10	15	20	25
Toz Karbon	40	35	30	25	20
Toplam	100	100	100	100	100
Element	755	7510	7515	7520	7525
Reçine	20	20	20	20	20
Çelik fiber	10	10	10	10	10
Cashew	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Bakır	5	5	5	5	5
Al ₂ O ₃	3	3	3	3	3
Grafit	7	7	7	7	7
Pirinç talaşı	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Karbon elyaf (7,5mm)	5	10	15	20	25
Toz Karbon	40	35	30	25	20
Toplam	100	100	100	100	100
Element	105	1010	1015	1020	1025
Reçine	20	20	20	20	20
Çelik fiber	10	10	10	10	10
Cashew	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Bakır	5	5	5	5	5
Al ₂ O ₃	3	3	3	3	3
Grafit	7	7	7	7	7
Pirinç talaşı	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Karbon elyaf (10mm)	5	10	15	20	25
Toz Karbon	40	35	30	25	20
Toplam	100	100	100	100	100

Tüm balatalarda bağlayıcı olarak reçine, metalik katkı olarak bakır ve pirinç talaşı, seramik katkı olarak alümina (Al_2O_3), katı yağlayıcı olarak grafit kullanılmaktadır. Bu kısım kütleli olarak % 43'lük kısmı oluşturmaktadır. Ortak içerik olarak belirlenen miktardan geriye kalan % 57 lik oran ise Dolgu Malzemeleri (SAM) karbon elyaf ve karbon tozundan oluşan malzemeler kullanılmaktadır.

Hassas terazi toz karışımlarının ve sürtünme testi numunelerinin tartımında kullanılmıştır. Aşınma deneyleri kütle kaybı esasına göre yapılmıştır. Kütle kaybını ölçmek için RADWAG WTB 200 marka Max 200gr ve 0,001gr hassasiyetinde terazi kullanılmıştır (Resim 3.1). 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 3.2 Hassas Terazi.

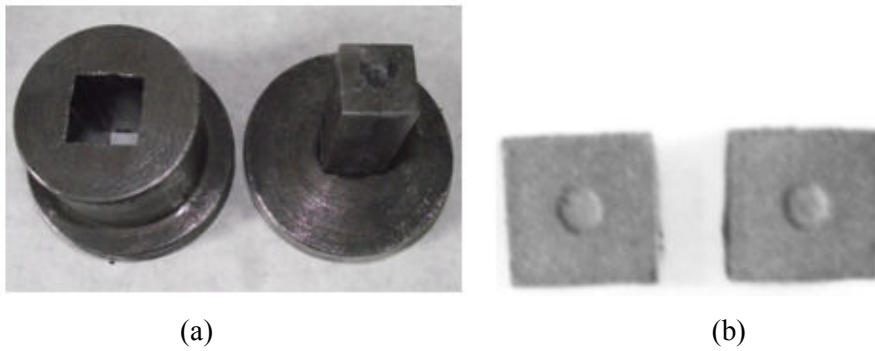
Farklı içeriğe sahip deney numunelerinin üretimi esnasında malzeme oranlarını belirlemede kütleli oran esas alınmıştır. Her bir formüldeki balata içeriğini oluşturan bağlayıcı, sürtünme malzemesi ve diğer katkı malzemeleri 0,001g hassasiyetinde tartılmış, sonra bu karışımın homojenliğini sağlamak için numune içeriği özel olarak yapılmış mikserde uygun sürede karıştırılmıştır. Bu süre karbon elyaf uzunluğunun ve kompozisyondaki oranının artması ile kademeli olarak arttırılmıştır.

Kompozisyonu oluşturan malzemeler özgül ağırlık bakımından çok fazla farklılıklar gösterdiklerinden mikser ile karışımında homojenlik sağlanmaktadır. Mikserin değiştirilebilir iki farklı devir aralığı mevcuttur. Hazne paslanmaz malzemeden imal edilmiştir. Toz kompozisyonu karıştırma mikseri Resim 3.2’ de gösterilmiştir.



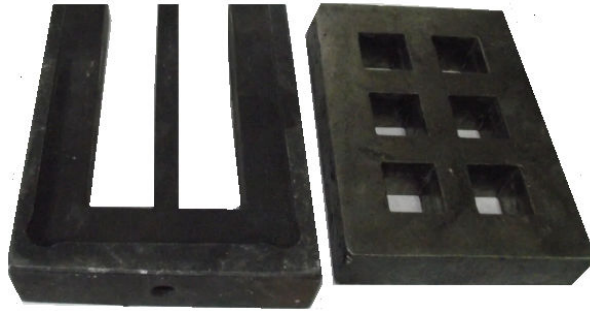
Resim 3.2 Toz karıştırma mikseri.

Hassas olarak tartılan ve homojen olarak karıştırılan numune karışımları 1x1 inch²’ lik kare kalıpta 150 bar basınç altında 1 dakika süre ile hidrolik pres yardımıyla tek yönlü olarak soğuk preslenmiştir. Bu karışım, soğuk presleme (ön şekillendirme) kalıplarına balatanın üretimi tamamlandığındaki hacmi dikkate alınarak uygun miktarda doldurularak preslenir. Resim 3.3.(a)’ da numune tabletlerinin elde edilmesinde kullanılan soğuk presleme kalıbı Resim 3.3.(b)’ de soğuk preslenmiş toz tabletler gösterilmiştir.



Resim 3.3 (a) Deney numunelerinin üretildiği soğuk presleme kalıbı (b) Soğuk preslenmiş toz tabletler.

Soğuk presleme kalıplarının kalıp derinliği 8-10 cm civarındadır. Ön şekillendirmesi yapılmış olan tablet balatalar pişirme (sıcak presleme) kalıplarına yerleştirilir. Numunelere sıcak presleme sırasında 150 bar basınç uygulanmıştır. Pişirme presindeki kalıplar alt ve üst tablalardan elektrik enerjisi kullanılarak ısıtılmıştır. Pişirme presi 250 °C'ye kadar ısıtma kapasitesine sahip olup sıcaklık kontrolü ± 5 °C toleransla termostat ile yapılmaktadır. 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 sabun sürülmüştür. 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, üretilcek olan numune balatanın kalınlığı dikkate alınarak belirlenmektedir. Resim 3.4' de sıcak presleme kalıpları gösterilmiştir.

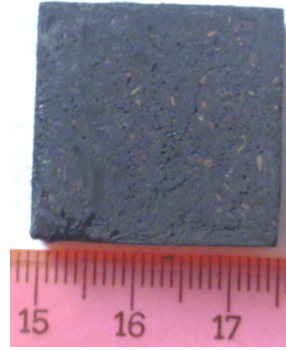


Resim 3.4 Sıcak presleme kalıpları.

Resim 3.5' de ise soğuk ve sıcak presleme özelliklere sahip hidrolik pres cihazı gösterilmiştir. Sıcak presleme sonucunda elde edilmiş numuneler sürtünme testi cihazına uygun boyutlara getirilmiştir. Resim 3.6' da sıcak presleme ürünü numune gösterilmiştir.



Resim 3.5 Soğuk/sıcak hidrolik pres cihazı.



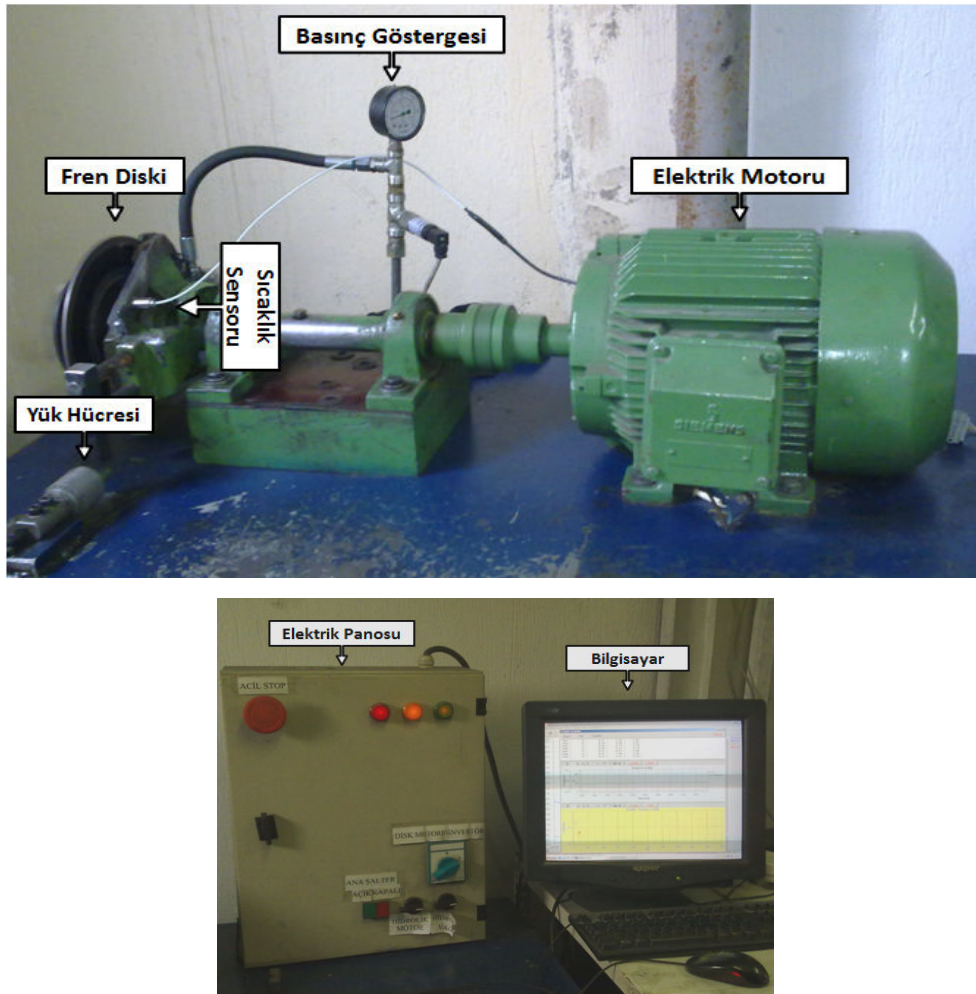
Resim 3.6 Sıcak presleme sonucunda elde edilmiş numune.

Sıcak presleme sonrasında numuneler sürtünme deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler Sürtünme deneyi için Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv Öğretmenliği laboratuvarında bulunan sürtünme testi cihazında test edilmiştir. Deney öncesi ve sonrasında numunelerin kalınlık ölçüleri ve ağırlıkları alınmıştır. Sürtünme deneyi sonrasında numuneler ölçme ve tartma işlemi uygulanmıştır. İşlem öncesinde

üzerindeki yabancı maddelerden arındırılması için numuneler etil alkol ile yıkanmış ve kurtulmuştur.

3.2 Sürtünme Testi Deney Düzenegi

Deneilerin TS 555 ve TS 9076’da belirtilen şartlara uygun olarak yapılabilmesi için tasarlanan sürtünme katsayısı test cihazı, taşıtların disk frenlerinde kullanılan balataların sürtünme katsayısını etkileyecek farklı devir, sıcaklık, basınç gibi faktörleri oluşturarak sürtünme katsayısını tespit edebilmektedir. Fren balatası test cihazı ile sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı-zaman, sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturmak mümkündür. Deney düzenegi/cihazı Resim 3.7’ de gösterilmiştir.



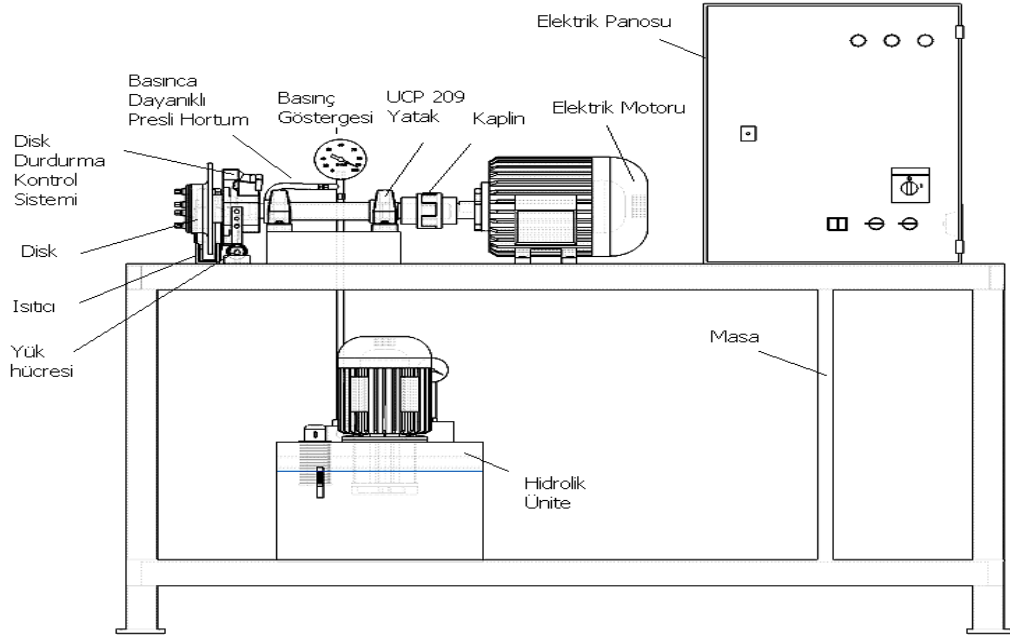
Resim 3.7 Fren balatası test cihazı.

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

Sistemde frenleme sağlanabilmesi için balata üzerinde oluşacak olan pedal kuvvetini oluşturan basınç hidrolik sistemle sağlanmaktadır. Hidrolik sistem tezgâhın alt kısmına yerleştirilmiştir. Resim 3.1'de görülmekte olan sürtünme katsayısı test cihazında diski döndürmek için 5,5 kW gücünde 1400 1/d trifaze elektrik motoru bulunmaktadır. Elektrik motorundan elde edilen hareketin iletilmesi için transmisyon vardır.

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

Disk dönmeye başladığında disk ile pabuçlar arasında numune balata parçası olduğu için diskin dönmesi sırasında fren balatasına uygulanan basınçtan doğan sürtünme kuvveti yüzünden balatanın da disk ile beraber dönme isteği dikkate alınarak bu döndürme kuvveti elektronik olarak yük hücresi vasıtasıyla ölçülmektedir. Disk ile balata yüzeyi arasındaki yüzey basıncına bağlı olarak sürtünme kuvveti dolayısıyla döndürme momenti de değişmektedir. Pabuçlara takılı numune balatalar disk ile birlikte dairesel olarak dönmek isteyecektir. Numune balata ile diskin bu dairesel dönme hareketi, yük kolunun ucuna yerleştirilmiş olan bir mil ile yük hücresinin yük algılama ucundan algılanan değerler fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneline aktarılmaktadır. Böylece dönme sırasında balata ile fren diski arasındaki sürtünme kuvveti F_s değeri elde edilmiş olmaktadır. Fren balatası test cihazının şematik görünüşü Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Denei düzeneğinin şematik görünüşü.

Elektrik motorundan çıkan dairesel hareketin mil üzerinden diske istenilen devirlerde aktarılması invertör sayesinde gerçekleşmektedir. Bu devirler 0–1400 1/d arasındadır. Elektrik motorunun devir sayısını bilgisayar programında kolaylıkla kontrol edilebilmektedir. Hidrolik sistem belirli bir hızda dönmekte olan fren diskini 0-40 MPa basınç aralığında yavaşlatmaya çalışmaktadır. Diski durdurmak için disk dönme ekseninde kısmi olarak hareket edebilen kaliper frenleme sırasında fren kuvvetinin algılandığı yük hücresine (Loadcell) dayanmaktadır. Numunelerin sürtünme testi deney şartları aşağıda verilmiştir.

1. Tüm deneylerde deney başlangıç sıcaklığı 40 °C olarak alınmıştır.
2. Bütün numuneler 0,7 MPa basınç altında sürekli sürtünmeye tabi tutularak balata yüzeyinin %95'i fren diskinde temas edinceye kadar alıştırma işlemi yapılmıştır. Bu işlemler esnasında TS 9076'da belirtildiği gibi zımparalama, temizleme ve soğutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.
3. Sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi 0,551 MPa basınç altında ve 40 °C' den 400 °C sıcaklığa kadar 5400 saniye süresince her saniyedeki değerler bilgi kütüğüne kaydedilerek belirlenmiştir.

4. TS 555' de balataların aşınma dirençlerini belirlemek amacıyla özgül aşınma için aşınma deneyinde kütsel fark metodu seçilerek elde edilen değerler hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge ile verilmiştir.

5. Balataların aşınma miktarının belirlenmesi için deney öncesi ve deney sonrası ağırlık ve kalınlık ölçüleri alınmıştır. Deney öncesi ve sonrası ölçü farklılıklarından aşınma miktarı belirlenmiştir.

Çizelge 3.2 Sürtünme deneyi şartları.

	Motor Devri	Basınç (Bar)	Süre (Dakika)	Alan (mm²)	Sürtünme Hızı (m/s)
Ön alıştırma sürtünmesi	717	7-10,5	15	645,16	7
Sürtünme deneyi	717	5,51	90	645,16	7

3.2.1 Sürtünme Katsayısı Test Cihazında Kullanılan Donanımlar ve Özellikleri

3.2.1.1 Yük Hücresi

Sürtünme kuvveti F_s 'i belirlemek için kullanılan yük hücresi (loadcell) elektronikte strain gage olarak adlandırılan manyeto elastik cihazlardır (Resim 3.8). Transdüserlerin kuvvet ölçmek için kullanılanlarına yük hücresi adı verilir (Parr 1997). Bu cihazlar gelen yükü, mili volt cinsinden algılayarak ekrana yansıtmaktadırlar. Deney setinde kullanılan yük hücresi ESİT 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 mili volt arasında algılanır ve değer ekrana yansıtılır.



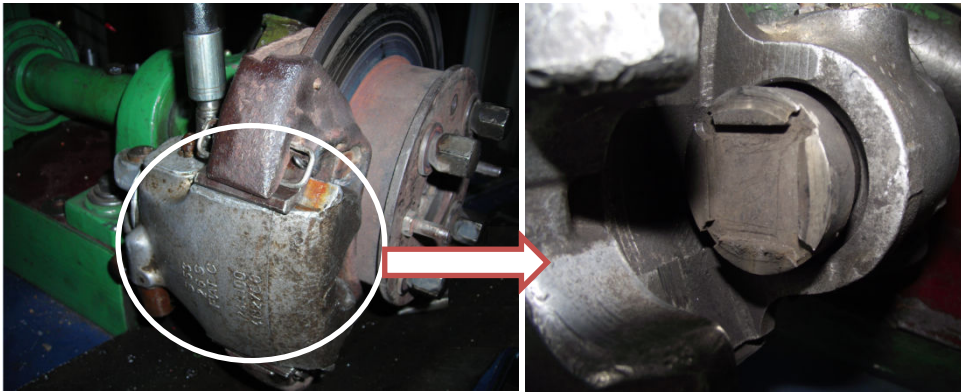
Resim 3.8 Yük hücresi.

3.2.2 Fren Diski ve Balata Tutucu Piston

Fren diskinin mekanik ve ısıl zorlanmalara karşı dirençli olması istenir. Fren sistemlerinde, sürtünmeden dolayı kısa zamanda meydana gelen sıcaklık artışının, en kısa zamanda sistemden uzaklaştırılabilmesi için malzemenin yüksek ısı iletim katsayısı ile özgül ısıya sahip olması gerekir. Sürtünmeye bağlı sıcaklık artışı nedeniyle disk veya kampananın bozulmadan, minimum deformasyon göstermesi için ısıl genleşme katsayısının büyük olması istenir. Genelde disk ve kampana üretiminde perlitik yapılı dökme demir kullanılır. Kullanılan dökme demirde % 3-4 civarında karbon bulunur. Üretimi yapılmış farklı içerikteki fren balataları Resim 3.9.(b)' de görülen fren test cihazındaki özel olarak yapılmış kaliper pistonuna yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.



(a)



(b)

Resim 3.9 (a) Fren diski şematik görünüşü (b) Deneysel çalışmalarda kullanılan fren diski ve balata numunesi tutucu kaliper pistonu.

3.2.3 Numune Tutucu Pistonlar

Tüm numuneler deney düzeneğindeki numune balata için açılmış olan balata yuvası ölçülerine getirilirken kesme ve taşlama yöntemleri kullanılmıştır. TS 9076'da deney numunelerinin boyutları en ve boy 25,4x25,4 mm, kalınlık 5-8 mm eşit kalınlıkta olacak şekilde hazırlanır ve sürtünen yüzeylerde hiçbir işaret bulunmamalıdır ifadesi bulunmaktadır (TS 9076, 1991). Test cihazının numune yuvası numune ölçüleri ile uyumlu olarak 25,4x25,4 mm hazırlanmıştır. Numunelerin pistonla yerleştirilmesinde 2 mm numune yuvasına girecek ve 4 mm'si dışarıda kalacak şekilde toplam 6 mm kalınlığında hazırlanmıştır. Test cihazında balatanın takılabilmesi için Resim 3.10' da görüldüğü gibi 1" (25.4x25.4 mm), ½" (25.4x12.7 mm) ve ¼" (12.7x12.7 mm)'lik yüzey alanı 2mm derinlikte boşaltılmış olan balata tutucu pistonlar yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda 1" lik piston kullanılmıştır. Balata malzemesi şekildeki parçanın orta kısmında bulunan 2 mm derinliğindeki alana sıkı geçme yapılarak tutunma sağlanır. Pistonlar yüksek karbonlu çelikten imal edilmiştir. Pistonların ortalama sertliği 56-59 HRC' dir.



Resim 3.10 Alt sıradan sırasıyla 1", ½" ve ¼" ölçülerde balata numunesi tutucu pistonlar.

3.2.4 Sıcaklık Ölçme Cihazı

Deneysel çalışmalarda 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 3.11’ de görülen İnfrared termometre kullanılmıştır.



Resim 3.11 Sıcaklık ölçme cihazı.

3.2.5 Bilgisayar Programı

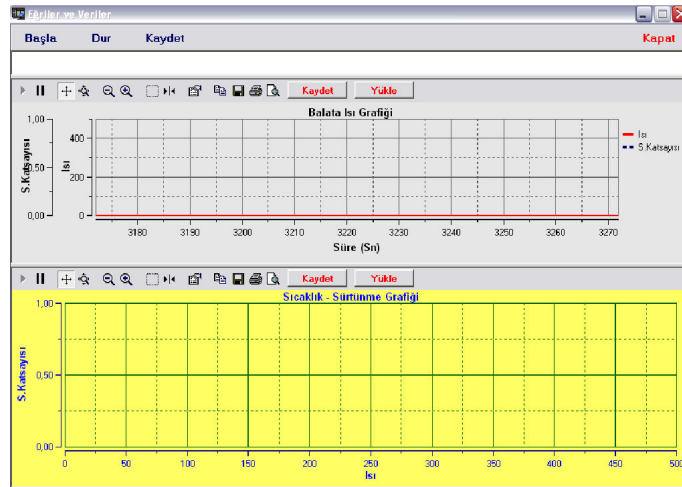
Verilerin bilgisayar ortamında analizinin yapılması için program geliştirilmiştir. Numuneye uygulanacak basınç 0-40 MPa arasında değiştirilebilmektedir. Hız 3m/s, 6m/s, 9m/s, olması istenmekte ve hız, devir sayısı kontrolü sağlandığından devir sayısı 0-1400 1/dk arasında değiştirilebilmektedir. Bu değişken 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.

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 3.12’ de fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneli görülmektedir.



Resim 3.12 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 3.13' de program tarafından çizilen grafik göstergesi görülmektedir.



Resim 3.13 Bilgisayar kontrol paneli grafik göstergesi.

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 = Basınç (kg/mm^2)

A = Balata alanı (mm^2)

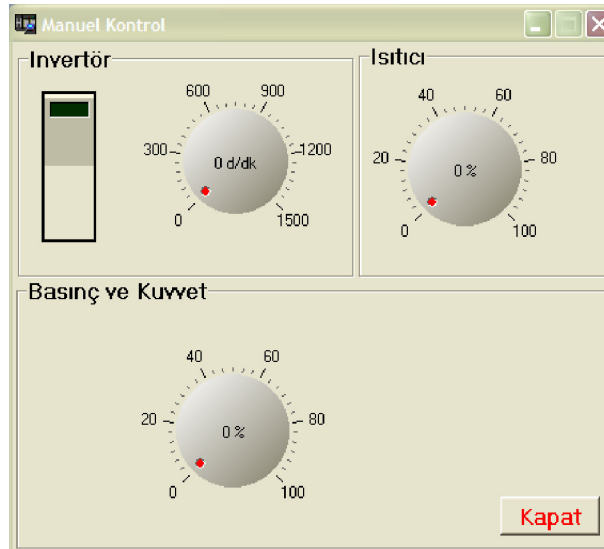
$$\mu = \frac{F_s \times L}{F} \quad (3.2)$$

μ = Sürtünme katsayısı

F_s = Yük hücresinden okunan kol kuvveti (kg)

L = Kuvvet kolu mesafesi

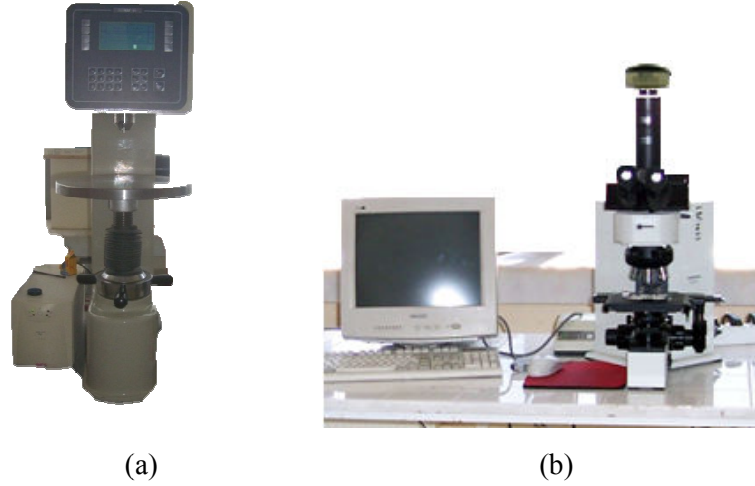
Deney seti tüm deney işlemlerini otomatik olarak yapmaktadır. Ayrıca fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneli üzerinde bulunan manuel kısmına girilip devir ve basınç el ile ayarlanarak deneyler manüel olarak da yapılabilmektedir. Resim 3.14' de fren balatası test cihazı manuel kontrol paneli görülmektedir.



Resim 3.14 Fren balatası test cihazı manuel kontrol paneli.

3.3 Sertlik Testi (HB)

Deneyleerde üretilen balataların sertliğini belirlemek için Mettest marka sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Sertlik testi yöntemlerinden Brinell yöntem tercih edilmiştir. HB testinde batıcı uç olarak çapı 5 mm 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. Uygulanan test sonucunda elde edilen bilye izleri üstten aydınlatmalı 5 MP kameralı OLYMPUS BX-51M marka optik mikroskopta incelenmiştir (Resim 3.15.(b)). Bilye izinin alınan ölçüleri cihaz üzerinde yerine girilerek sertlik değeri otomatik olarak belirlenmiştir. Bu değerler çalışmış yüzeye sahip numuneler üzerinden alınmıştır. Bu numunelerin yüzeylerinin farklı bölgelerinden alınan ölçüm değerlerinin ortalaması alınmıştır.



Resim 3.15 (a) Mettest sertlik ölçme cihazı (b) Optik mikroskop.

3.4 Yoğunluk Testi

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 verdiğiinden dereceli silindirdeki fark miktar belirlenmiş ve cismin kütlesi cismin hacim farkına bölünmüş, üç numuneden çıkan değerlerin aritmetik ortalaması

alınarak cismin yoğunluğu belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan yoğunluk testi düzeneği Resim 3.16’ da gösterilmiştir.



Resim 3.16 Yoğunluk testi düzeneği.

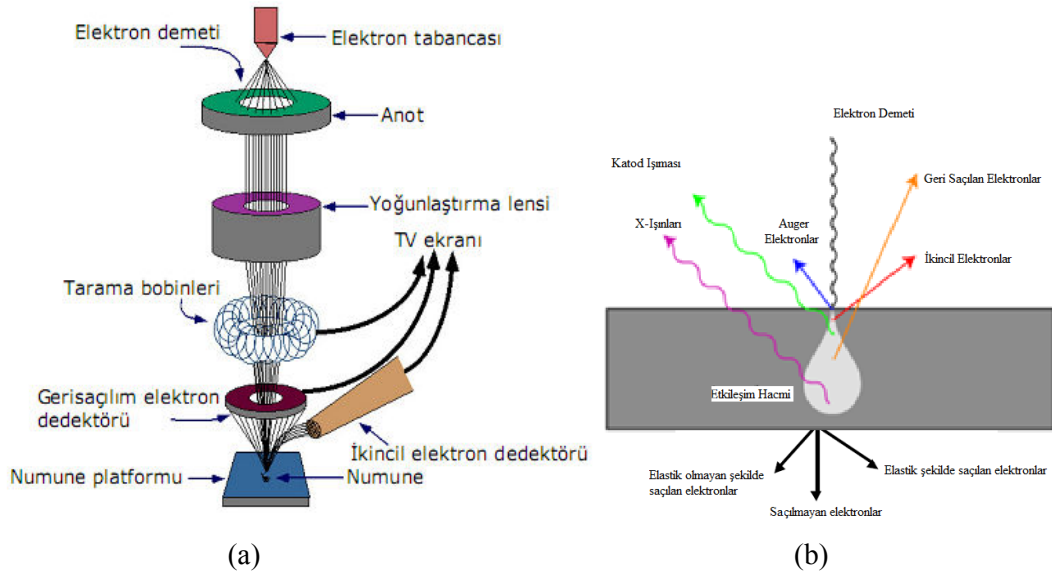
3.5 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizi

Elektron mikroskobu analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi (AKÜ) TUAM laboratuvarında bulunan LEO 1430 VP marka taramalı elektron mikroskobunda ikincil elektron modunda (SE) (Liu et al. 2002, Duhamel et al. 2008, Vierke 2008, Fu et al. 2001) gerçekleştirilmiştir. Resim 3.17’ de SEM mikroskobu gösterilmiştir.



Resim 3.17 Taramalı elektron mikroskobu.

Şekil 3.10' da taramalı elektron mikroskobunun şematik yapısı ve analiz/görüntü elde etmede elektronların malzeme içerisindeki etkileşimi gösterilmiştir. İkincil elektronlara göre malzeme içerisinde daha derin bölgelerde etkileşim gösteren geri saçılan elektronlar yardımı ile kontrast farkı oluşturmak mümkündür. İkincil elektron yöntemi ile aşınma yüzeylerinin topoğrafik görüntüsü ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda SEM analizi işlemlerinde x-ışınları yardımı ile ön bir kimyasal analiz (EDX) yapma imkanı bulunmaktadır.



Şekil 3.3 Taramalı elektron mikroskobu şematik yapısı (a) Kolon yapısı (b) Elektronların malzeme içerisindeki etkileşim derinlikleri (Kara 2011).

4. BULGULAR

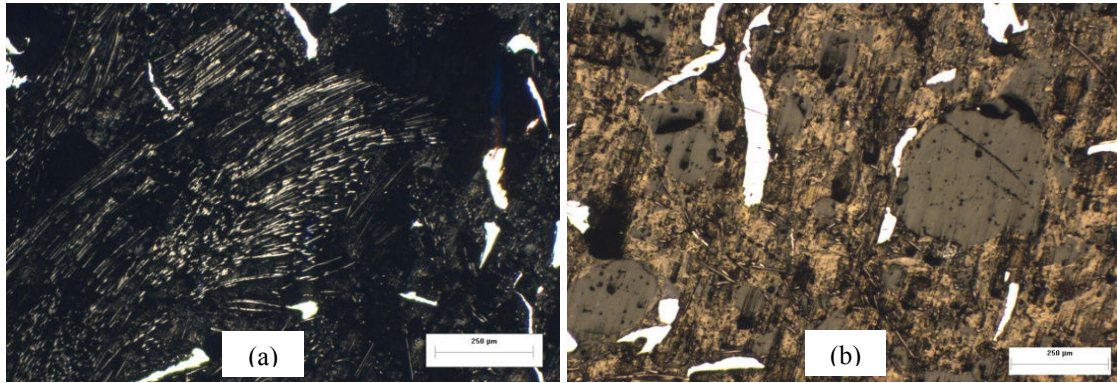
Bu çalışmada her içerik için deneyler üç kez tekrarlanmıştır ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Frenleme karakteristiğinin belirlenmesinde zamana bağlı sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi, aşınma direnci ve sertlik değerleri incelenmiştir. Ayrıca numunelerin yoğunlukları, özgül aşınma değerleri ve yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir.

4.1 Mikroyapı Özelliklerinin Belirlenmesi

Sıcak presleme sonrasında elde edilmiş numunelerin içerisindeki karbon elyaf takviyeleri Resim 4.1’ de gösterilmiştir. Optik mikroskop yöntemle mikroyapı incelemeleri sonucunda elde edilen sonuçlar Resim 4.2’ de gösterilmiştir. Şekilde karbon elyaflar (Resim 4.2.(a)) ve mikroyapının genel görünümü görülebilmektedir (Resim 4.2.(b)).

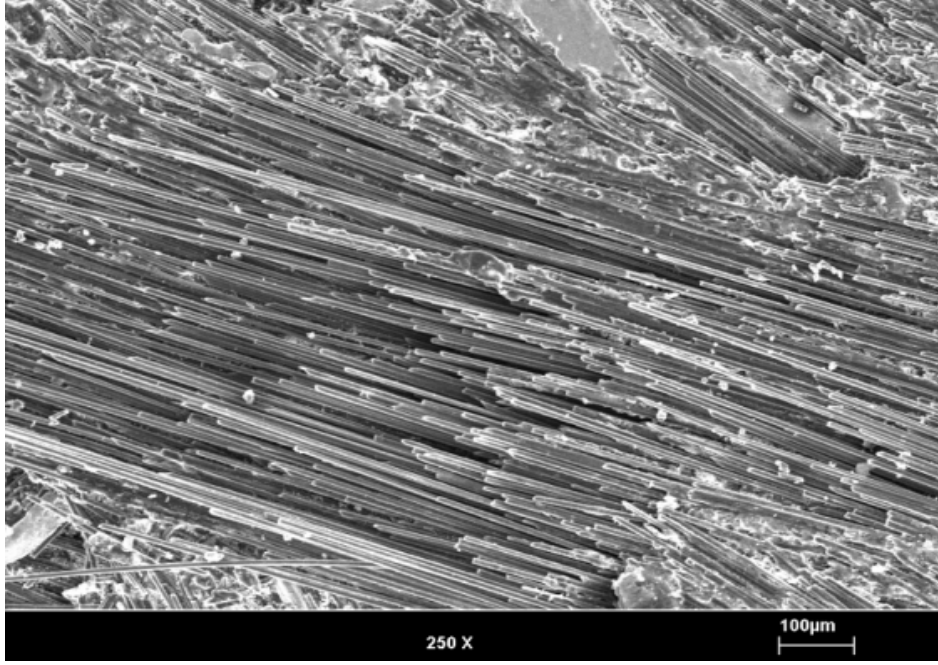


Resim 4.1 Deney numunesi makroyapısı.



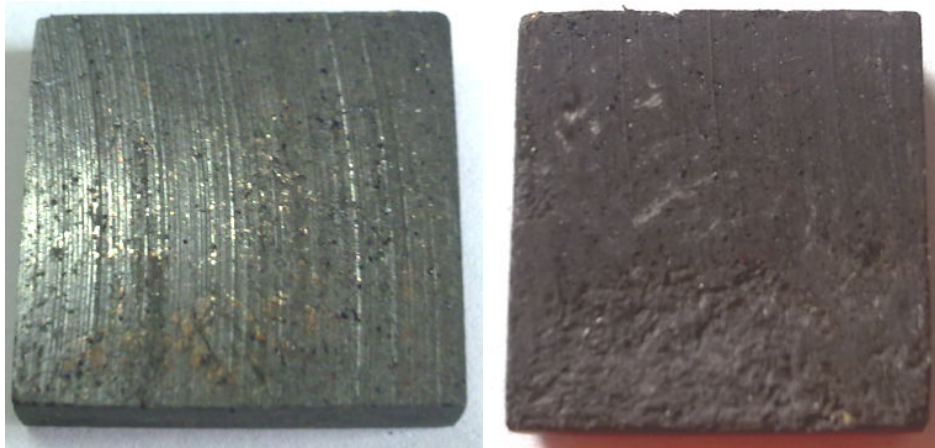
Resim 4.2 Karbon elyaf takviyeli numunelerin mikroyapısı (50X) (a) Elyaf takviye iplikler (b) Genel mikroyapı görünümü.

Resim 4.3' de karbon elyafların taramalı elektron mikroskop (SEM) mikroyapısı gösterilmiştir. Resimde 7,5 mm uzunluktaki elyaf parçacıklar gösterilmiştir.



Resim 4.3 7,5mm uzunluğundaki karbon elyaf ipliklerin SEM mikroyapısı.

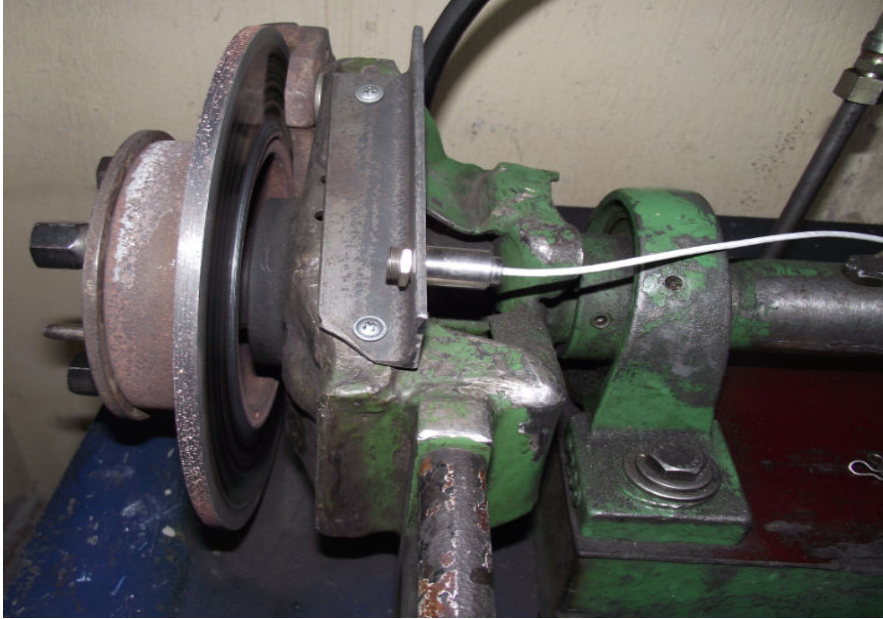
Sürtünme testi sonucunda numunelerin sürtünme yüzeylerinin makroyapısı Resim 4.4' de gösterilmiştir. Resimlerde numune yüzeyinde oluşan aşınma izleri açıkça görülebilmektedir.



Resim 4.4 Sürtünme deneyi sonrasındaki numune yüzeylerindeki aşınma izleri.

4.2 Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimi

Farklı kompozisyona sahip formüllerde 15 adet numune üzerinde frenleme karakteristiği, aşınma direnci ve sürtünme katsayısı gibi özellikleri belirlemek amacıyla bir dizi testler yapılmıştır. Bu numuneleri kesin hatları ile birbirinden ayırmak oldukça zordur. Numuneler içerisine muhtelif oranlarda ve farklı uzunlukta karbon elyaf, toz karbon ve diğer balata malzemeleri katmak suretiyle farklı karakteristik özelliklere sahip yeni formüllü fren balatası numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler benzer işletme şartlarından geçirilerek bu faktörlerin balata karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada her içerik için deneyler üç kez tekrarlanmıştır ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Resim 4.5' de deney esnasında diskin görünüşü verilmiştir.

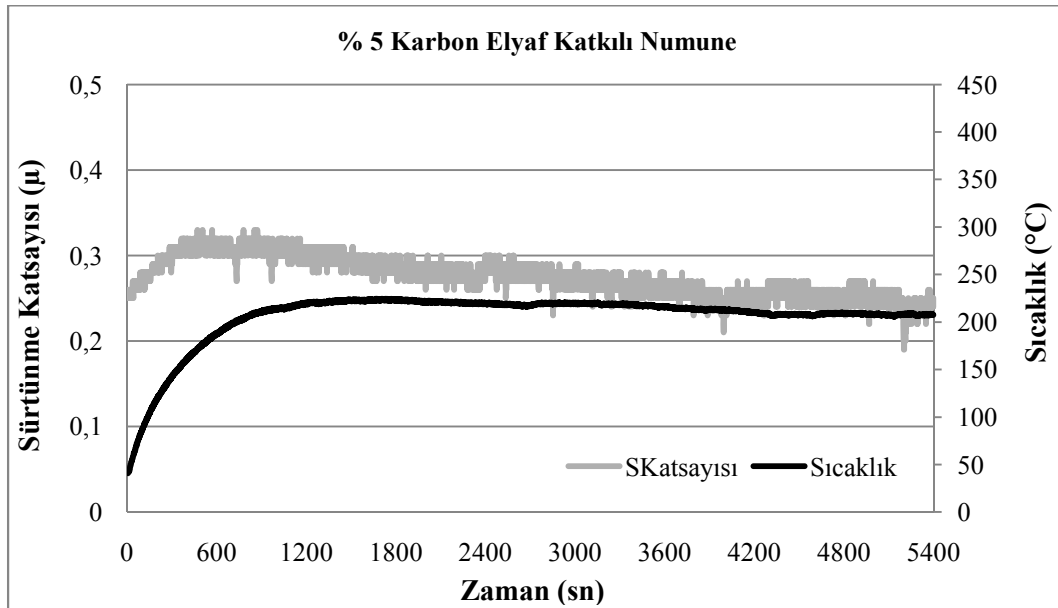


Resim 4.5 Deney esnasındaki fren diski görüntüsü.

Üç grupta üretimi yapılan numunelerin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi grafikleri aşağıda verilmiş ve bu grafikler üzerinden birbirleri arasında kıyaslamalar yapılmıştır.

4.2.1 5 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi

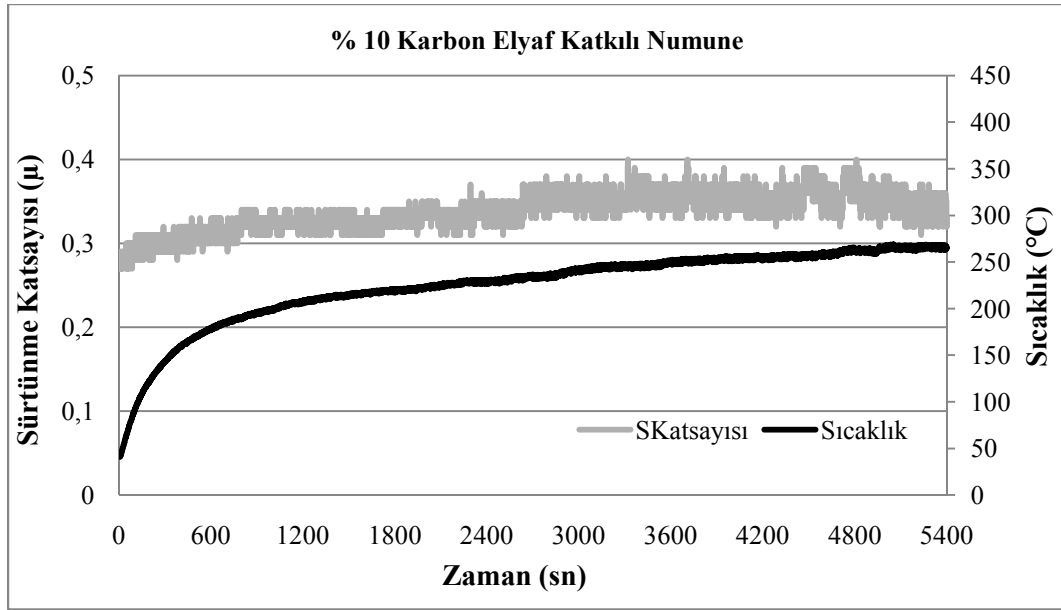
Sürtünme katsayısı ve sürtünme yüzey sıcaklığı, sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin özelliklerine ve bu malzemelerin birbirleriyle etkileşimlerine bağlı olarak çok farklı özellikler gösterir. Testin başlangıç safhası, sürtünme katsayısının değişiminde önemli rol oynar. Test başladığı andan itibaren 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 (Filip et al. 2001). Balata numunelerinde %5 oranında 5mm uzunluktaki karbon elyaf katkıları sürtünme testi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 505 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

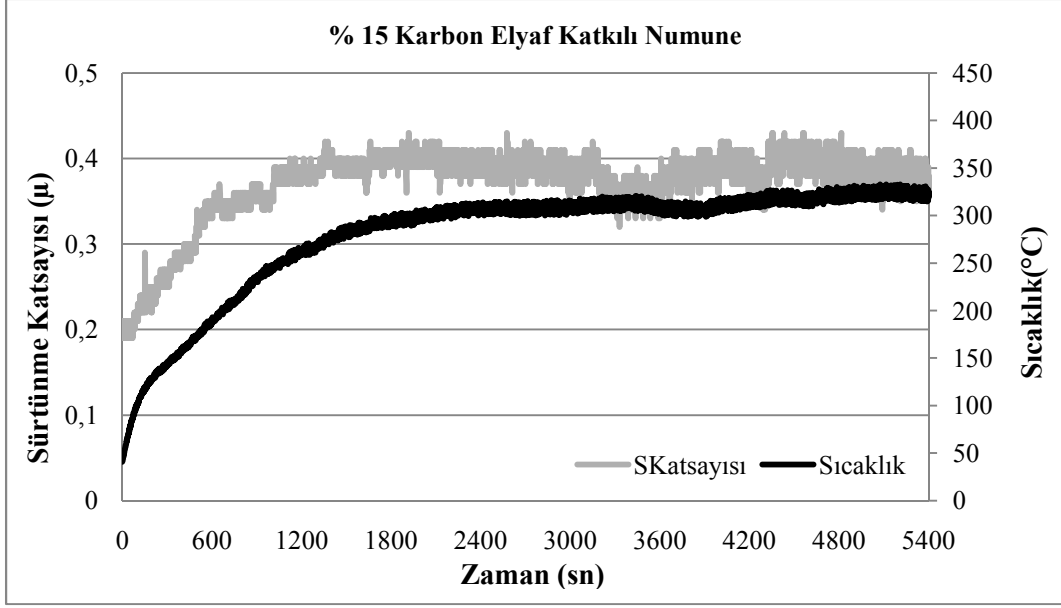
Sürtünme deneyi balata numunesi 5400 saniye süresince fren diski yüzeyine temas ederek gerçekleştirilmiştir. Numunenin ortalama $\mu=0,27$ sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sürtünmenin başlangıç süresinde sürtünme katsayısı düşük iken 500 saniyeden sonra sürtünme katsayısının sabit sayılabilecek değer

aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Sürtünme deneyi boyunca maksimum 320 °C sıcaklık değeri elde edilmiştir. 510 kodlu numune kompozisyondaki karbon elyaf oranının %10 olması durumunda ortalama sürtünme katsayısı değerinin $\mu=0,33$ olduğu gözlemlenmiştir. Artan karbon elyaf oranının sürtünme katsayısı değerini belirgin bir şekilde arttırdığı gözlemlenmiştir. Sürtünme deneyi boyunca artan zamanla birlikte sürtünme katsayısı ve sıcaklık artmıştır. Şekil 4.2’ de %10 5mm’ lik karbon elyaf takviyeli 510 kodlu numuneye ait zamana bağlı sıcaklık ve sürtünme katsayısı değişimi grafiği gösterilmiştir. 510 kodlu numunenin sürtünme deneyi sürecinde sıcaklık 280 °C’ ye kadar yükselmiştir. Artan karbon elyaf oranının oluşan ısı enerjisinin transferinde olumlu etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu durumda karbon malzemenin yağlayıcı özelliğinin sürtünme sürecinde etkin olduğu söylenebilir.



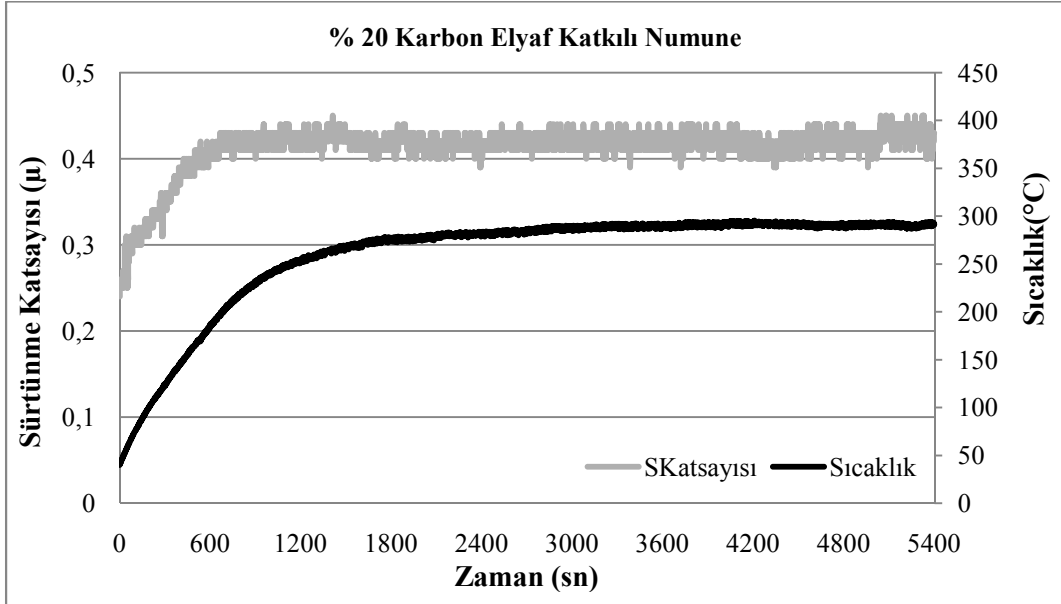
Şekil 4.2 510 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

515 kodlu balata numunesinin kompozisyondaki karbon elyaf oranı %15’ dir. Numunenin sürtünme testinde ortalama $\mu=0,37$ sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Sürtünme deneyinin başlangıcında sürtünme katsayısı ve sıcaklık düşük değerlerde iken sürenin artması ile hem sürtünme katsayısı hem de sıcaklık artmaya başlamıştır. Bu artış yaklaşık 1000 saniyeye kadar oldukça yüksektir. Bu süre sonrasında sürtünme katsayısı ve sıcaklık değerlerindeki artış şiddeti azalmıştır.

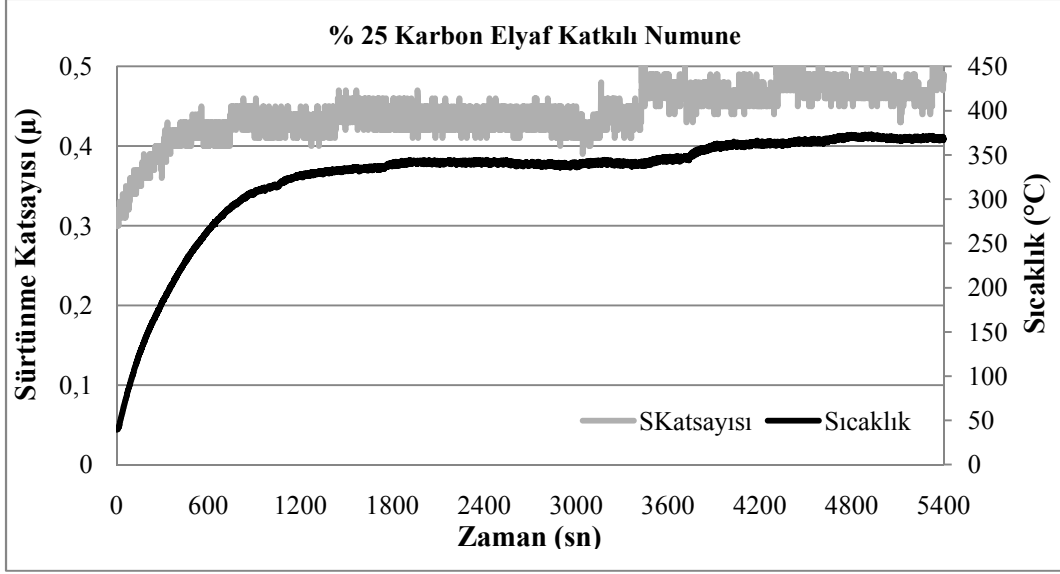


Şekil 4.3 515 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

Karbon elyaf oranı %20 olan 520 kodlu numunenin ortalama $\mu=0,41$ (Şekil 4.4) ve %25 olan 525 kodlu numunenin ortalama sürtünme katsayısı $\mu=0,44$ tür (Şekil 4.5). 5mm uzunluğundaki karbon elyaf katkıların numune kompozisyonu içerisindeki oranının artması ile sürtünme katsayısı değeri de artmıştır.



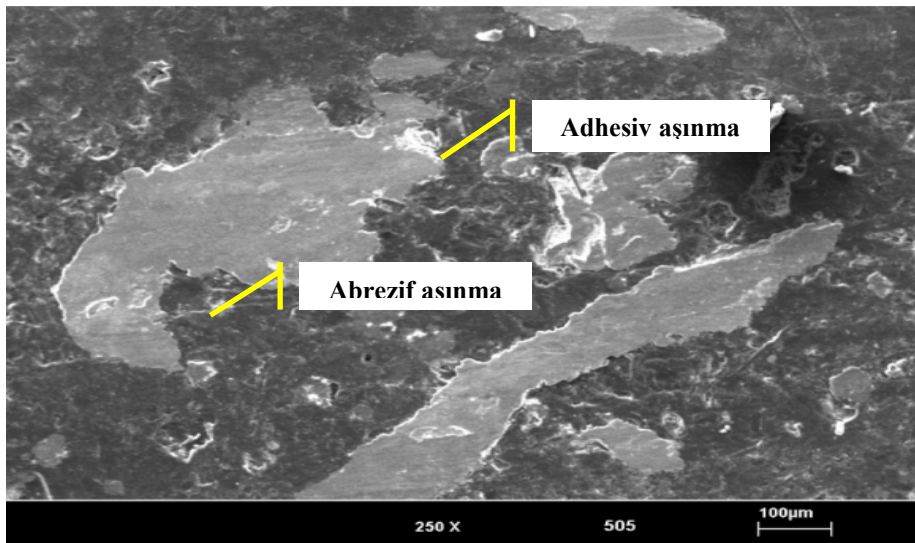
Şekil 4.4 520 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.



Şekil 4.5 525 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

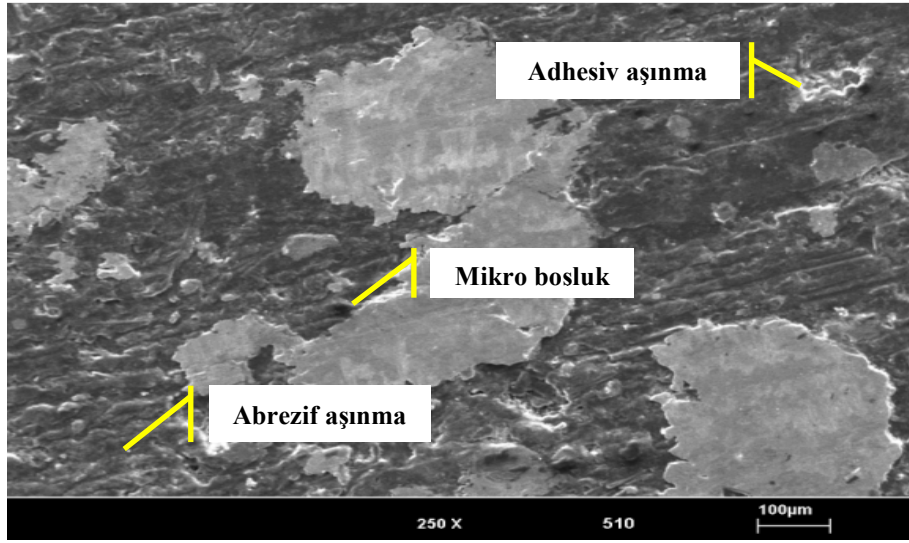
4.2.2 5 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

505 kodlu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin SEM mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.6) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir.



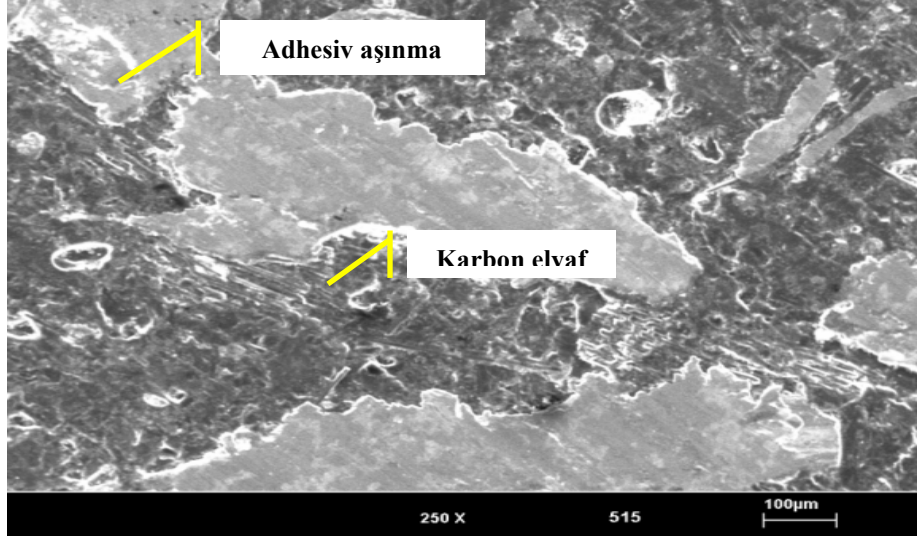
Resim 4.6 505 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

510 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin %5 karbon elyaf katkılı 505 kodlu numuneden daha aktif sürtünme sürecine katıldığı gözlemlenmiştir (Resim 4.7). Bu durum yüzey pürüzlülük testi ile desteklenmiştir (Şekil 4.16). Sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazyif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır.



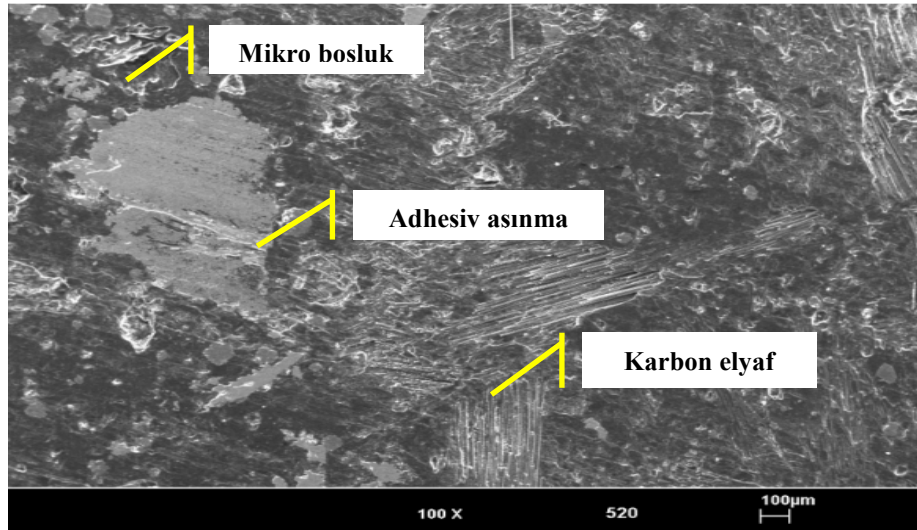
Resim 4.7 510 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

Karbon elyaf katkısının %15 olduğu 515 kodlu numune içerisindeki karbon elyaf parçacıklar daha belirgin bir şekilde görülmektedir (Resim 4.8). Karbon elyaf parçacıkların aktif şekilde sürtünmeye katıldığı görülmektedir. Karbon elyaf oranının artması sürtünme sonrasındaki yüzey pürüzlülüğün azalmasına neden olmuştur. Bu durum yüzey pürüzlülük testi ile desteklenmiştir (Şekil 4.16).



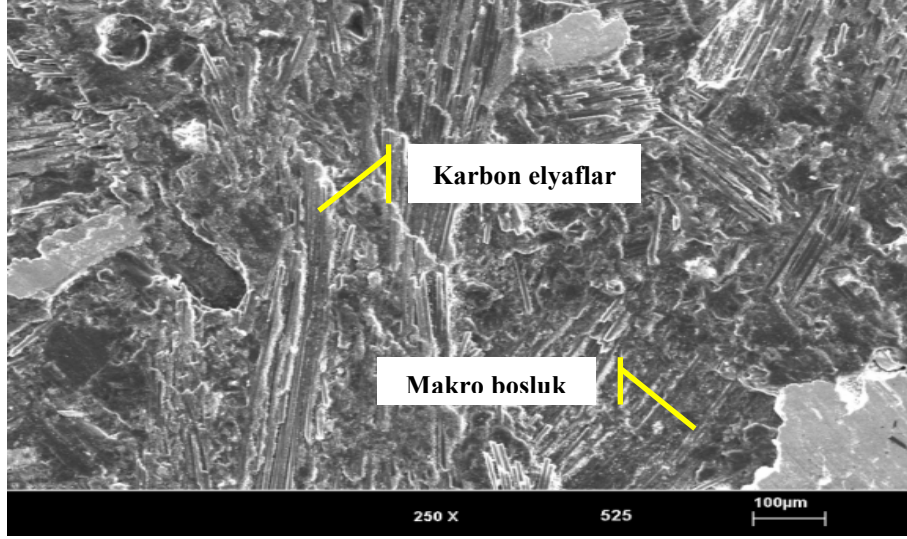
Resim 4.8 515 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

Karbon elyaf oranının daha da artması sonucunda numune içerisindeki elyaf takviyeler daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Aynı zamanda aktif sürtünmeye katılan karbon elyaf sayısı da artmaktadır. Ancak karbon elyaf takviyelerin artması numunelerin şekillendirme ve pişirme sürecinde bağlanma mukavemetini olumsuz etkilemektedir. Bu yetersiz bağlanmadan dolayı aşınma yüzeyinde değişik boyutlarda boşluklar gözlemlenmiştir. Bu boşlukların numune kompozisyonundaki metalik takviye malzemelerin boşalttığı veya sürtünme esnasındaki parçacık kopmalarından kaynaklandığı düşünülebilir. Resim 4.9’ da %20 karbon elyaf takviyeli balata numunesinin aşınma yüzeyinin SEM mikroyapısı gösterilmiştir.



Resim 4.9 520 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

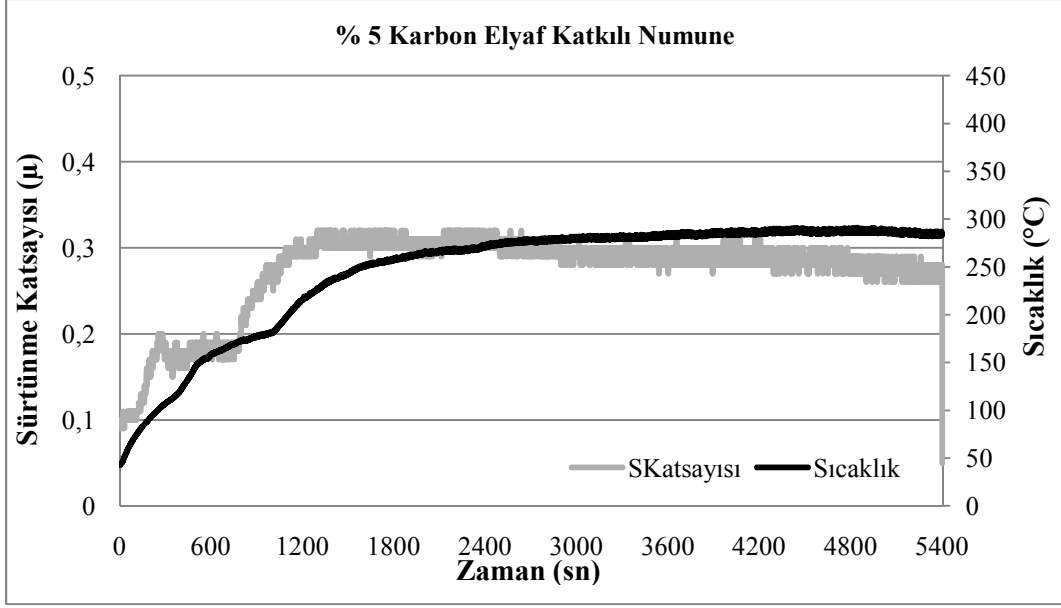
Karbon elyaf takviyelerin %25 olması durumunda numune içerisindeki farklı oryantasyondaki karbon elyaflar gözlemlenmiştir (Resim 4.10). Farklı yönlenmiş karbon elyaf katkıların sürtünmeye aktif olarak katıldığı gözlemlenmiştir. Karbon elyaflar arasında değişik boyutlarda boşluklar gözlemlenmiştir.



Resim 4.10 525 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

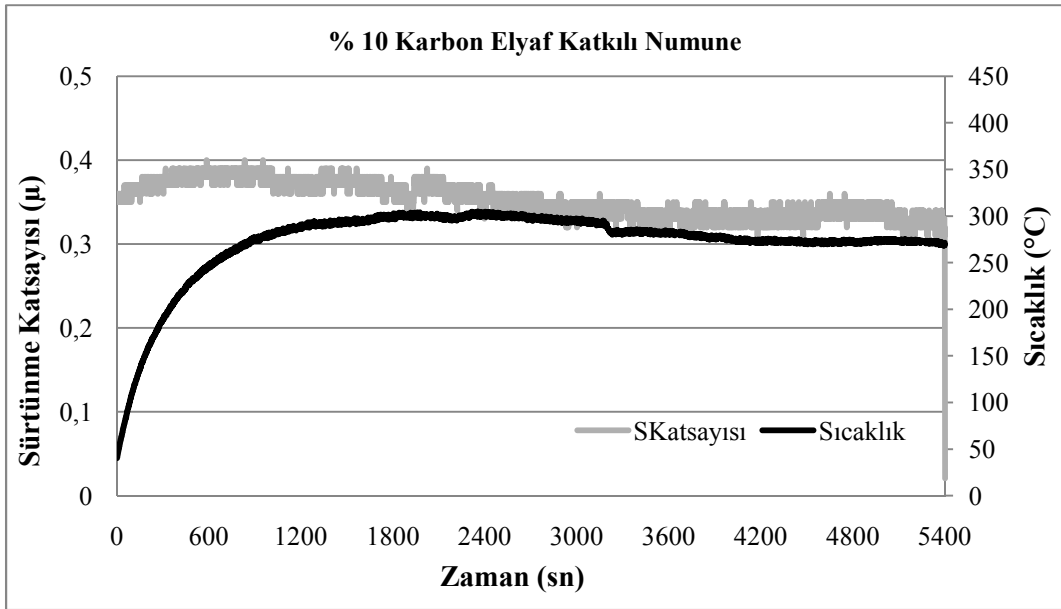
4.2.3 7,5 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi

Balata numuneleri içerisindeki %5 oranında 7,5mm uzunluktaki karbon elyaf katkı numunenin ortalama $\mu=0,27$ sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sürtünmenin başlangıç safhalarında sürtünme katsayısında dalgalanmalar meydana gelmiştir. Sürtünme katsayısı 1000 saniyeye kadar düşük iken bu süreden sonra sürtünme katsayısında önce bir miktar yükselme ve sonra ise düşüş gözlemlenmiştir. Sürtünme deneyi boyunca maksimum 290 °C sıcaklık değeri elde edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 755 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

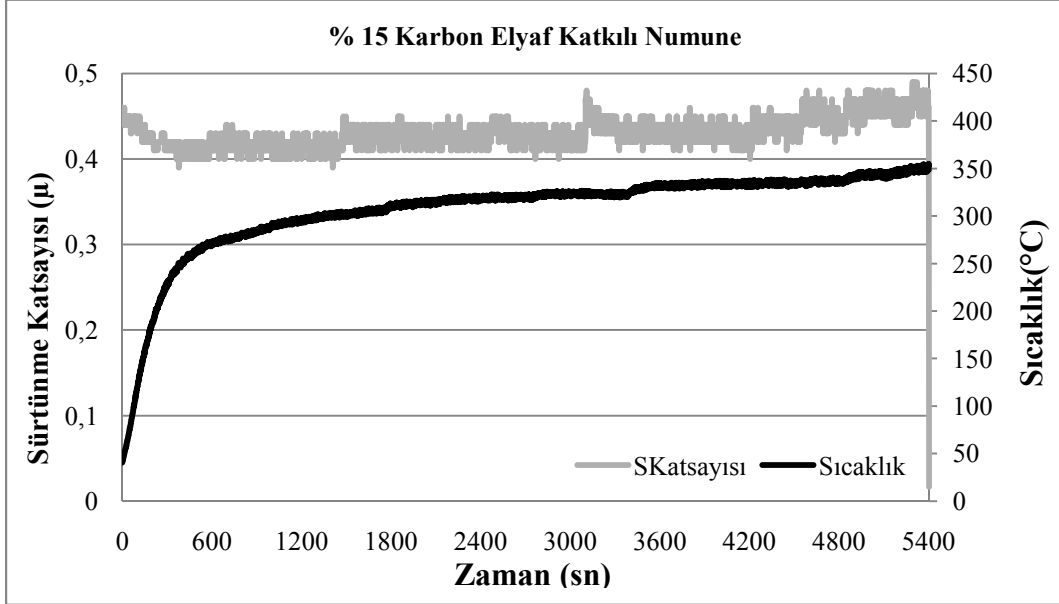
Karbon elyafın kompozisyon içerisindeki oranı %10 olan 7510 kodlu numunenin katsayısı ortalama $\mu=0,35$ olarak elde edilmiştir. Sürtünme katsayısı değeri öncelikle bir yükselme ardından deney sonuna kadar yavaş yavaş bir düşüş sergilemiştir (Şekil 4.7).



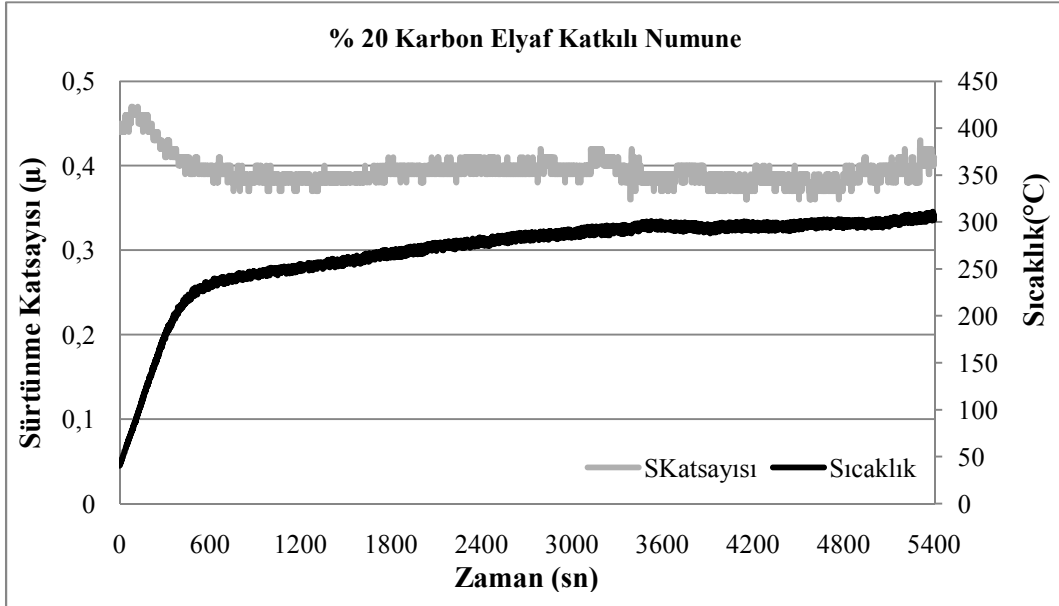
Şekil 4.7 7510 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

7515 kodlu balata numunesinin kompozisyonundaki karbon elyaf oranı %15' tir. Numunenin sürtünme testinde ortalama $\mu=0,43$ sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Şekil

4.8’ de 7515 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi grafiği verilmiştir.



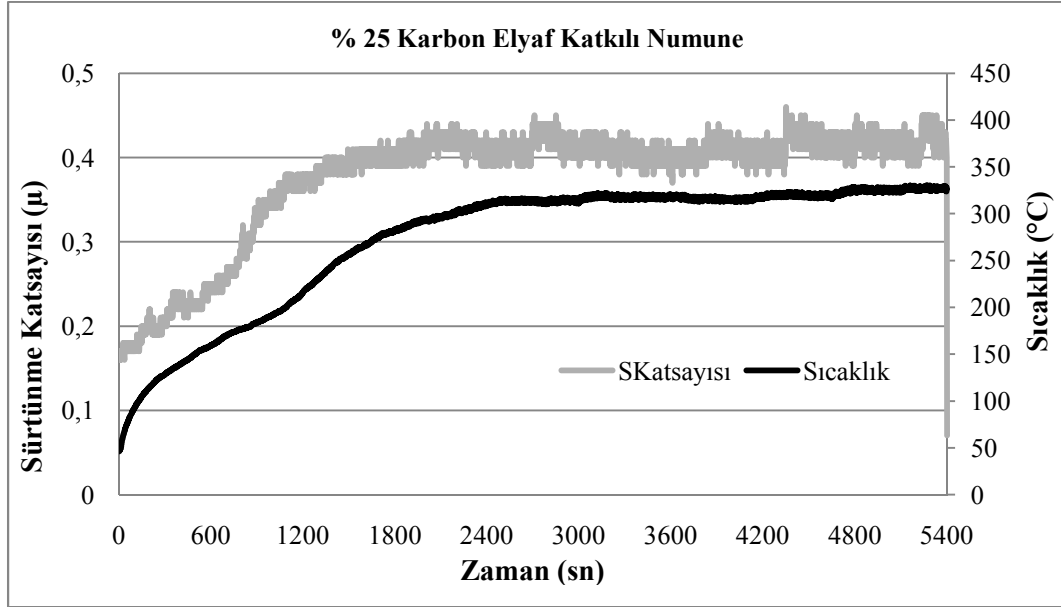
şekil 4.8 7515 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.



şekil 4.9 7520 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

Karbon elyaf takviye oranı %20 olan 7520 kodlu numunenin sürtünme katsayısı $\mu=0,39$ belirlenmiştir (şekil 4.9). Karbon elyaf oranı %25 olan 7525 kodlu numunede sürtünme katsayısının ortalama $\mu=0,37$ olduğu gözlemlenmiştir (şekil 4.10). 7,5 mm uzunluktaki

karbon elyaf oranına sahip numunelerde sürtünme katsayısı öncelikle artarken kompozisyon içerisindeki oranının %20 ve %25 olması durumunda sürtünme katsayısı değerinde düşme görülmüştür.

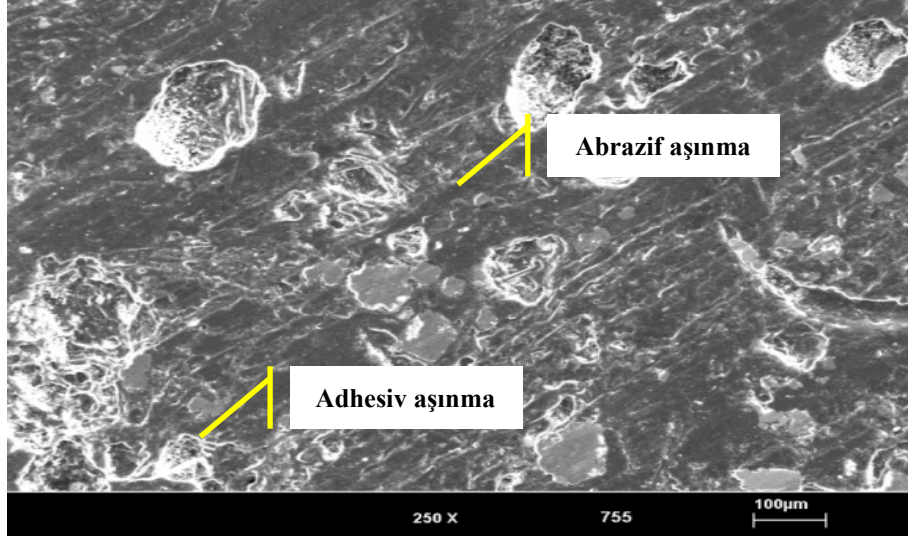


Şekil 4.10 7525 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

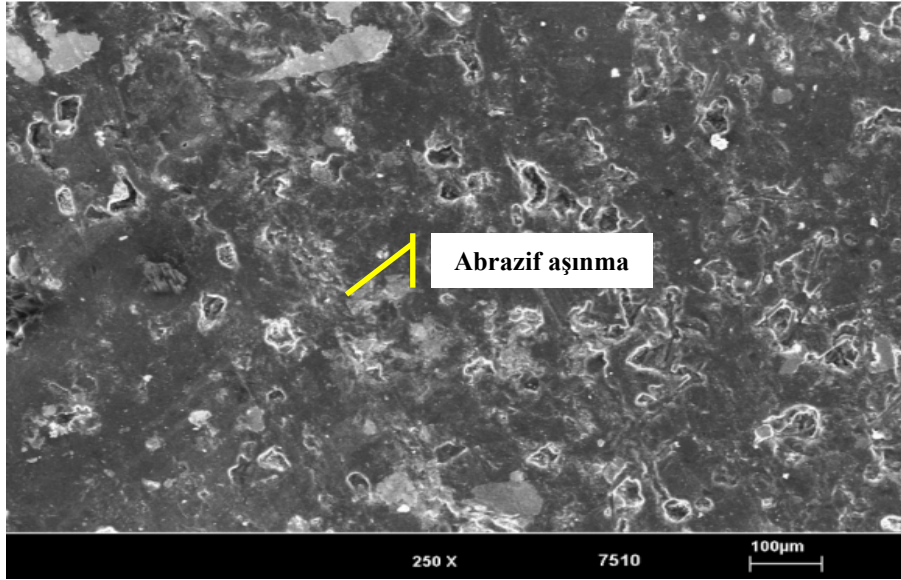
4.2.4 7,5 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

Numune kompozisyonundaki karbon elyaf takviyelerin uzunluğunun 7,5mm olması durumunda sürtünme katsayısı değerleri 5mm katkıli numunelerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 755 kodlu numune kompozisyonunda %5 karbon elyaf katkısı bulunmaktadır. Numunenin oluşan sürtünme yüzeyinde mikro boşluklara ilaveten, beyaz renkli bölgeler sürtünmeye aktif olarak katılıp aşınmış metal parçacıklarıdır. Ayrıca sürtünme yüzeyinde oluşan renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir (Resim 4.11).

Karbon elyaf katkısının %10 olduğu 7510 kodlu numunenin aşınma yüzeylerinde daha küçük parçacıklı takviyelerin sürtünme işlemine aktif olarak katıldığı gözlemlenmiştir (Resim 4.12). Sürtünme yüzeyinde mikro boşlukların olduğu gözlemlenmiştir.

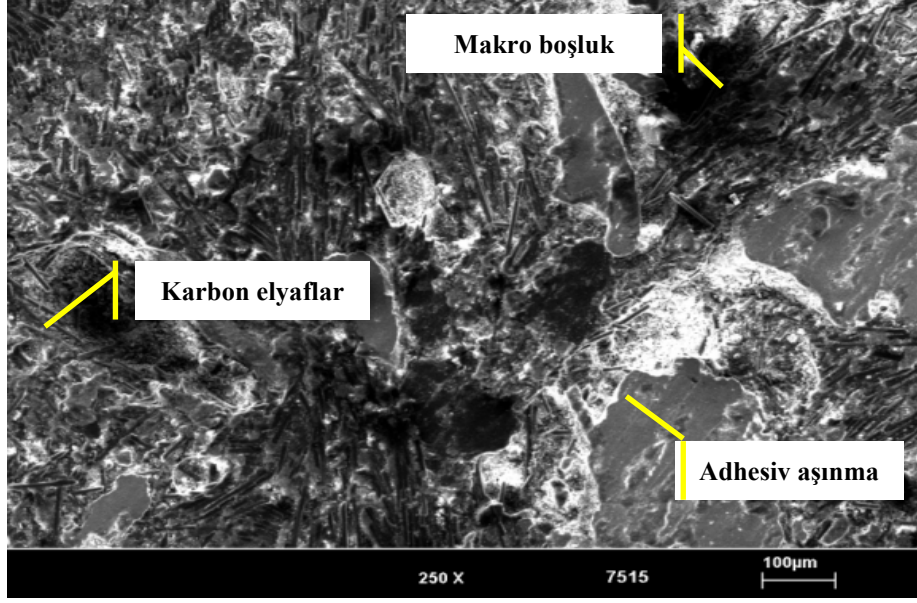


Resim 4.11 755 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

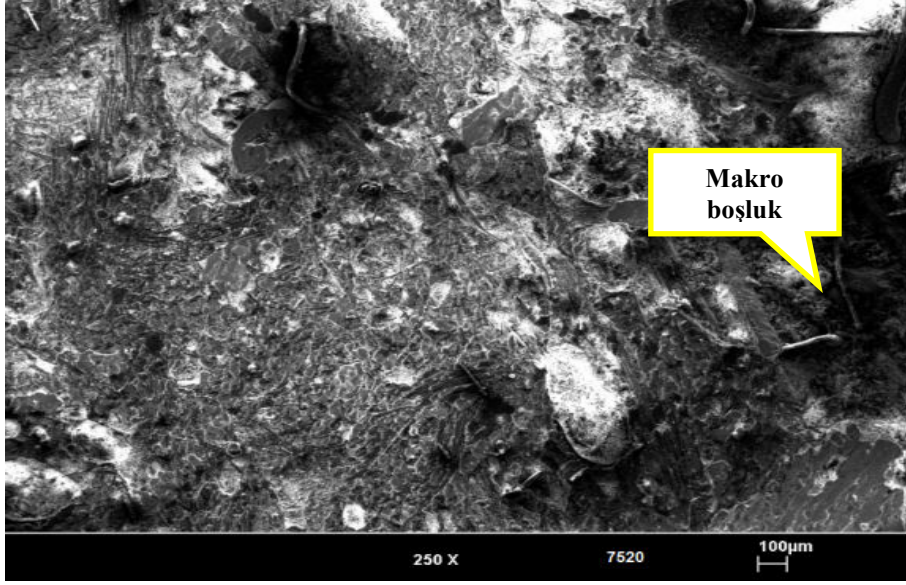


Resim 4.12 7510 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

7515 ve 7520 kodlu numunelerin sürtünme testi sonrasında aşınma yüzeylerinde mikro ve makro boyutlu boşlukların oluştuğu gözlemlenmiştir. Sürtünme yüzeyinde oluşan kısa çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca sürtünme yüzeyinde oluşan büyük çukurlukların sürtünme sırasında balata içerisindeki metal parçaların kopmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Resim 4.13 ve Resim 4.14).

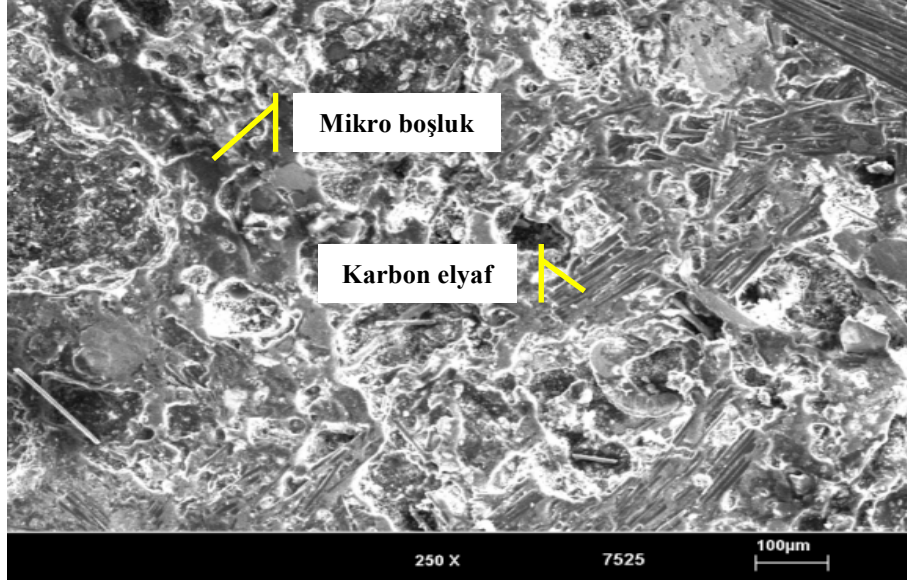


Resim 4.13 7515 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.



Resim 4.14 7520 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

Resim 4.15' de %25 karbon elyaf katkılı 7525 kodlu numunenin aşınma yüzeyi gösterilmiştir. Numune yüzeyinde oluşan boşluk boyutları 7515 ve 7520 kodlu numunelerden daha küçüktür. Numunenin sürtünme sürecinde küçük boyutlu metalik takviyelerin adhesiv ve abrazif aşınma oluşturduğu gözlemlenmiştir. Kısa boyutlu sürtünme yüzeyleri abrazif aşınmaların olduğunu göstermektedir.

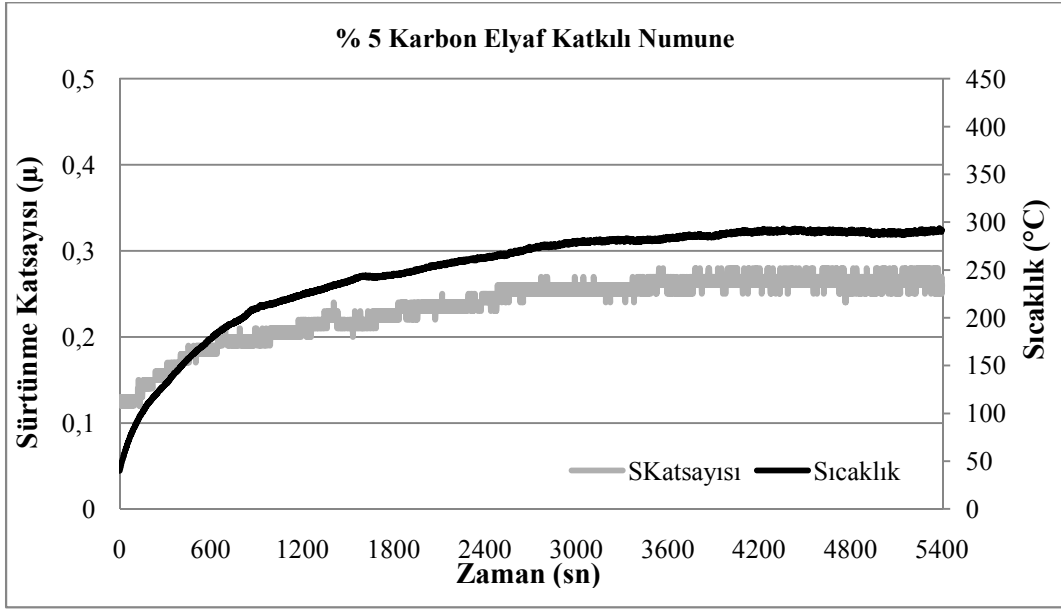


Resim 4.15 7525 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

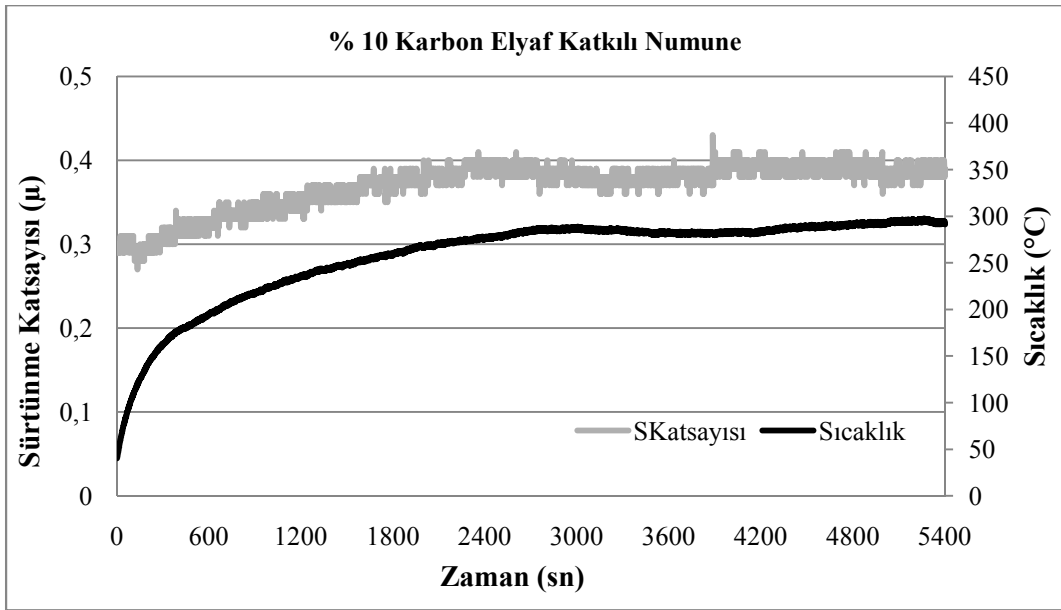
4.2.5 10 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi

Balata numunelerinde 10mm uzunluktaki karbon elyaf katkıli numunelerin sürtünme testleri gerçekleştirilmiştir. %5 katkıli numuneler için elde edilen zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği Şekil 4.11' de gösterilmiştir. Numunenin ortalama $\mu=0,24$ değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Oranın %10 olması durumunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değeri $\mu=0,36$ (Şekil 4.12) ve %15 kompozisyon oranında ise $\mu=0,38$ olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.13). Bu oranlar dikkate alındığında numunelerin ortalama sürtünme katsayısı artan oranla birlikte artış göstermiştir. Sürtünmenin başlangıç süresinde sürtünme katsayısı düşük iken geçen süreyle birlikte sürtünme katsayısı da artarak devam etmiştir.

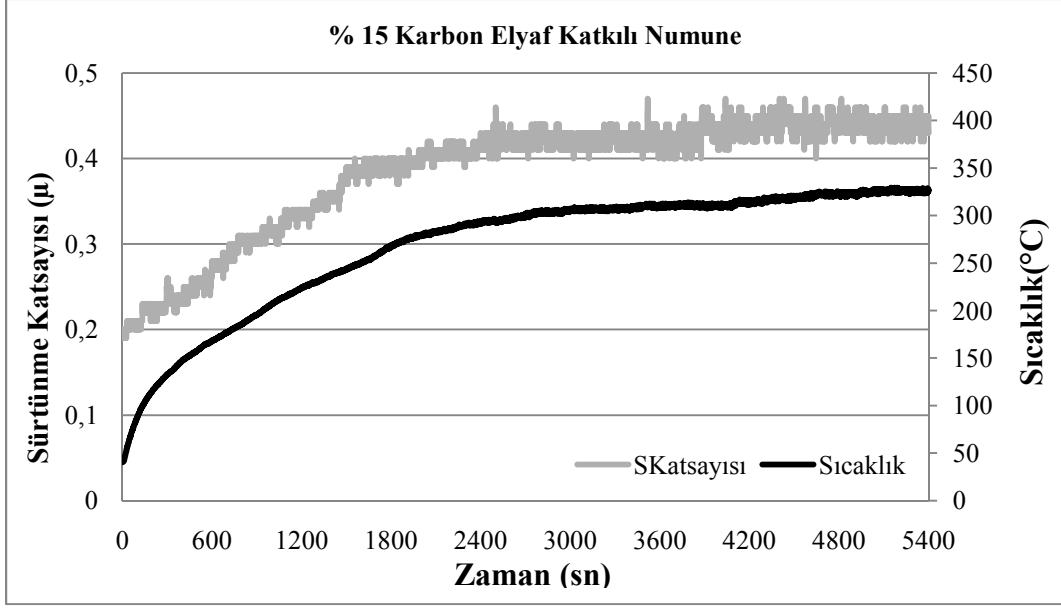
Karbon elyaf oranının %15' den fazla olması durumunda 10mm katkıli numunelerin sürtünme katsayısı değerleri de düşüş göstermiştir. % 20 katkı durumunda ortalama sürtünme katsayısı $\mu=0,37$ iken %25 katkı durumunda $\mu=0,36$ ' dır. Şekil 4.14' de 1020 kodlu numunenin Şekil 4.15' de 1025 kodlu numunenin zamana bağlı sıcaklık ve sürtünme katsayısı değişim grafiği verilmiştir.



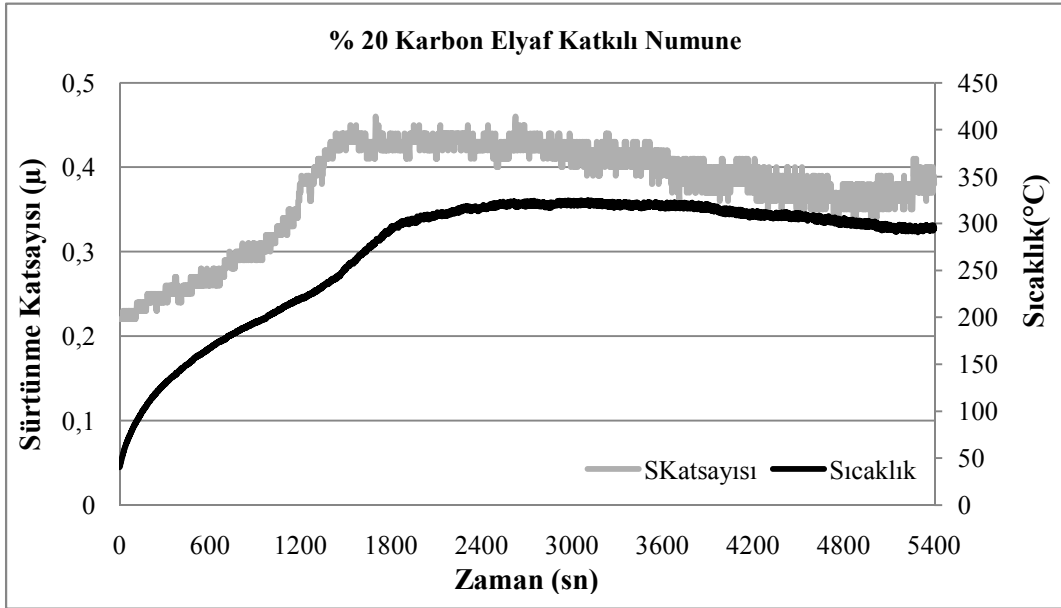
Şekil 4.11 105 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.



Şekil 4.12 1010 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

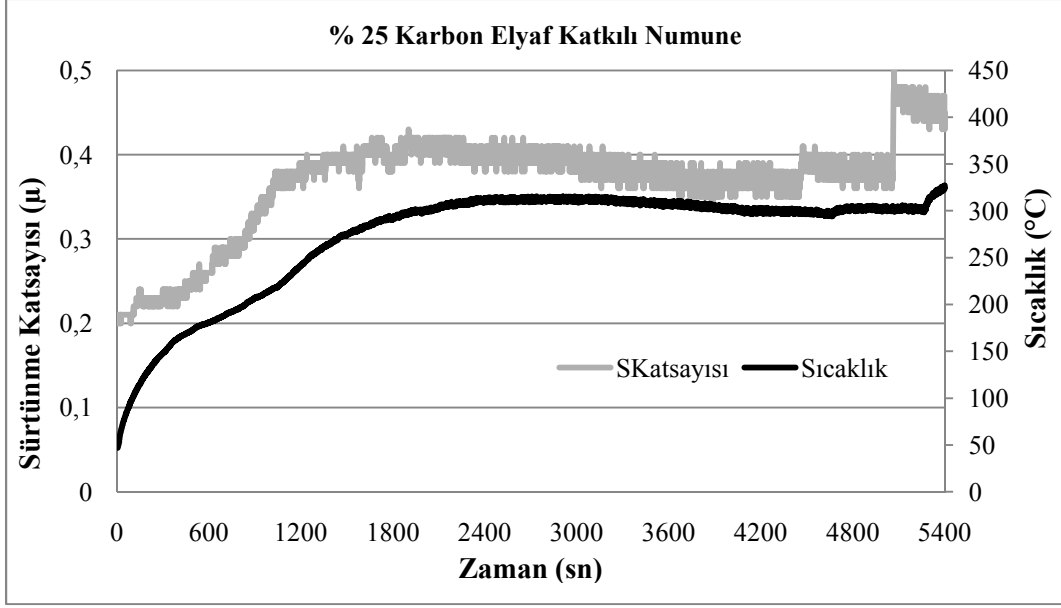


Şekil 4.13 1015 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.



Şekil 4.14 1020 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

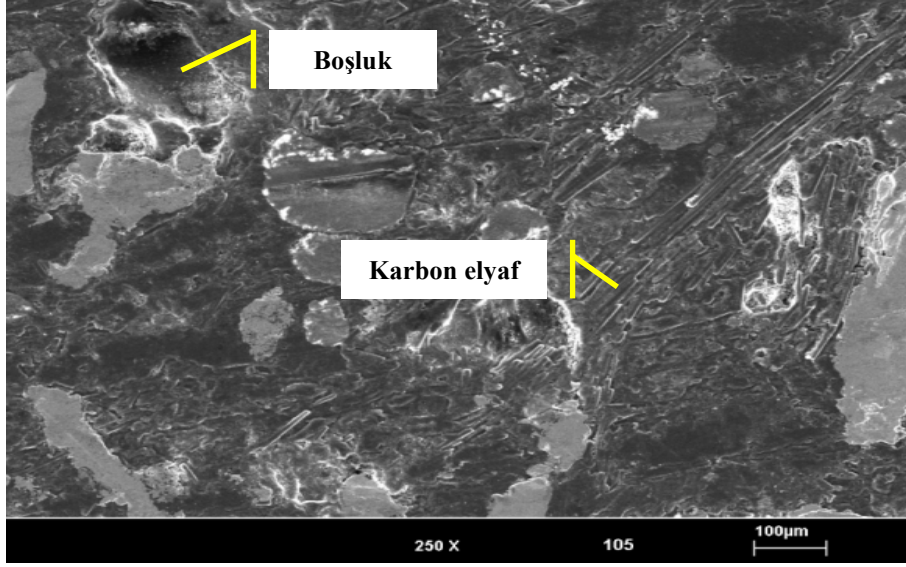
1025 kodlu numunenin sürtünme deneyinde özellikle deneyin son sürelerinde sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiklerinde düzensizlikler gözlemlenmiştir. Bu düzensizliklerin nedeni kesin olmamakla birlikte sürtünme yüzeyinde bir kısım ısıl-mekanik etkileşimlerin olduğu düşünülmektedir.



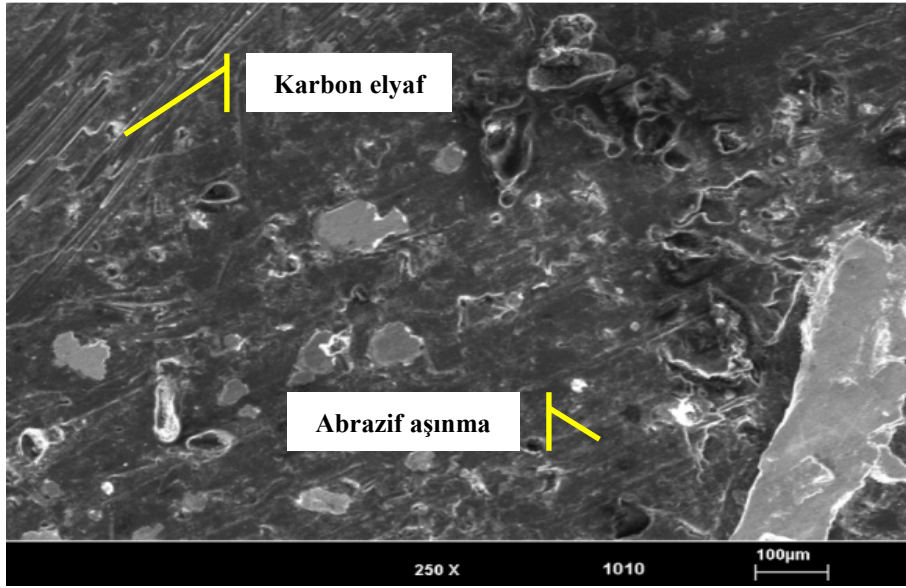
Şekil 4.15 1025 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

4.2.6 10 mm Karbon Elyaf Katkılı Numunelerin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

Numunelerdeki karbon elyaf takviye boyutunun 10mm olması durumunda mikroyapılardaki dağılımı daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Karbon elyaf ve metalik takviyelerin sürtünme sürecinde etkin olduğu gözlemlenmiştir. 105 kodlu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısında mikro boşluklar olduğu gözlemlenmiştir (Resim 4.16). Sürtünme sürecinde karbon elyaf takviyelerde boyutsal bozulmalar gözlemlenmiştir. 1010 kodlu numunenin aşınma yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin yaklaşık olarak homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır (Resim 4.17).

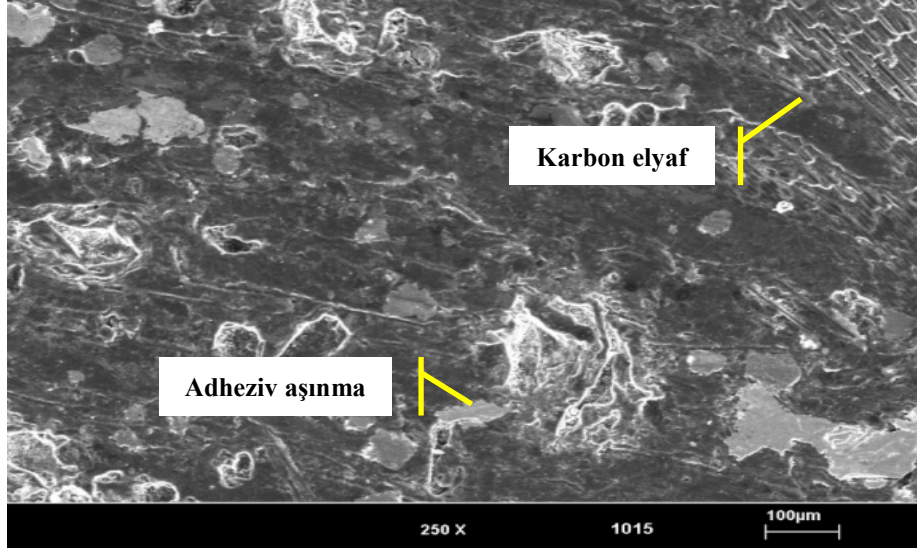


Resim 4.16 105 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.



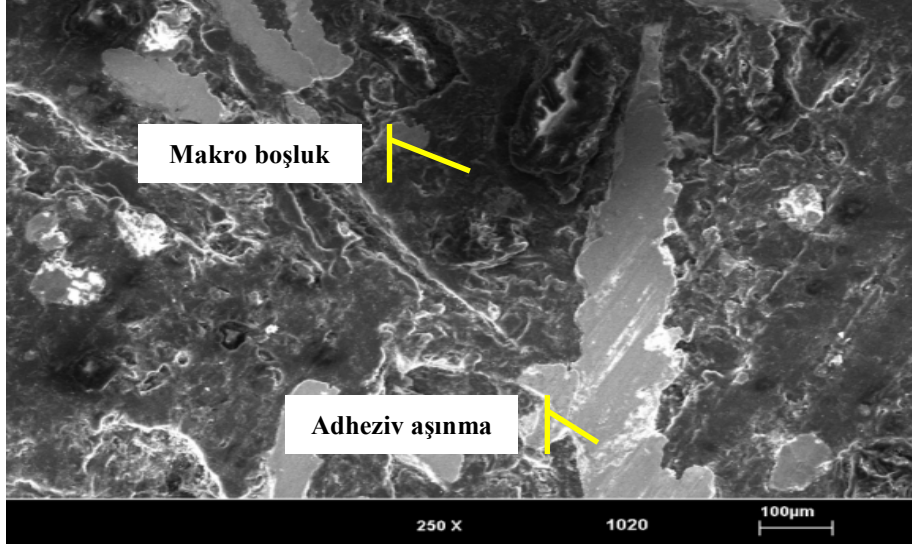
Resim 4.17 1010 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

Benzer bir aşınma davranışı Resim 4.18' de görülen 1015 kodlu numunede meydana gelmiştir. 1015 kodlu numunesinde daha fazla metalik takviyelerin sürtünme sürecine katıldığı söylenebilir. Numunede hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiği belirlenmiştir.



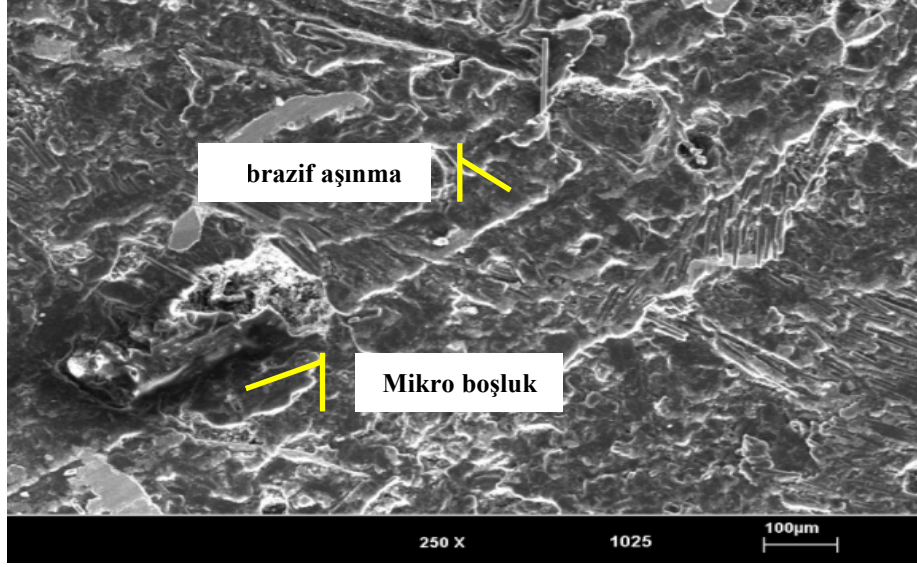
Resim 4.18 1015 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

1020 kodlu numunenin aşınma yüzeyinde makro boşlukların oluştuğu görülmüştür. Numunenin sürtünme yüzeyindeki daha büyük metalik takviyelerden hem adheziv hem de abrazyif aşınmanın gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Resim 4.19).



Resim 4.19 1020 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

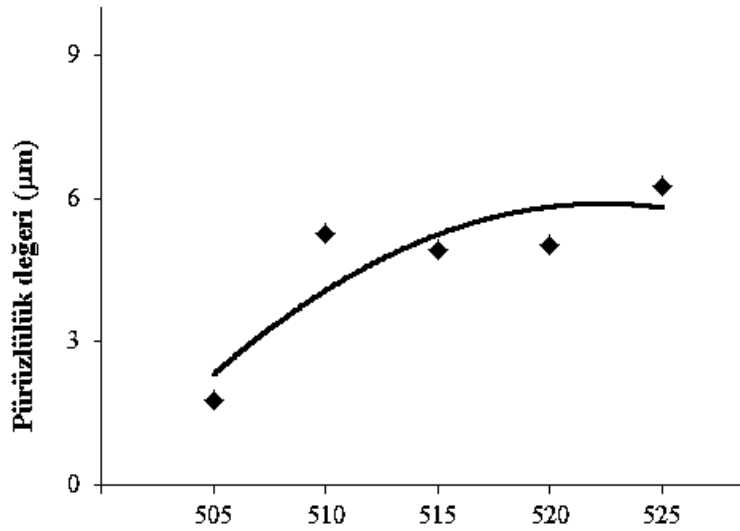
Resim 4.20' de 1025 kodlu numunenin aşınma yüzeyinde mikro ve makro boşlukların oluştuğu görülmüştür. Numune kompozisyonunun homojen dağılımda olduğu görülmektedir. Numunede hem adheziv hem de abrazyif aşınmanın gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



Resim 4.20 1025 kodlu numunenin aşınma yüzeyi SEM mikroyapısı.

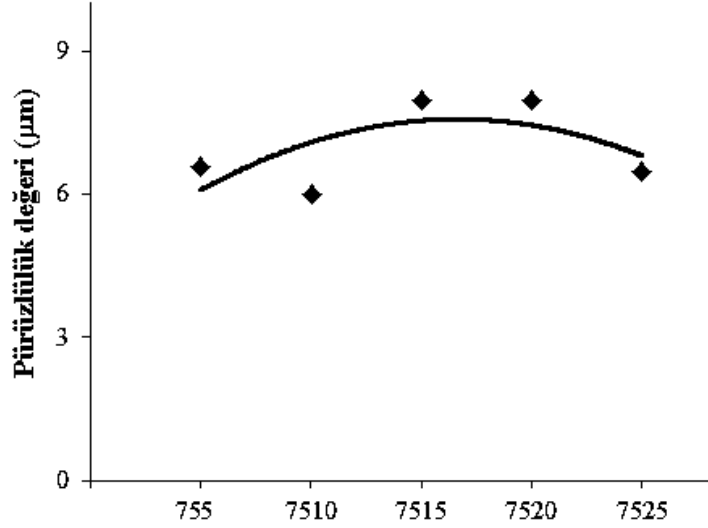
4.3 Yüzey Pürüzlülük Testi Sonuçları

Sürtünme testi sonrasında numunelerin aşınmış yüzeylerinden alınan üç farklı deney sonrasında ortalama bir pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değeri ölçümleri, aşınmış balata numunesi yüzeyinde aşınma izleri yönüne dik yönde uygulanmıştır. 5mm' lik karbon elyaf katkılı numunelerde karbon elyaf oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerleri de genel olarak artmıştır (Şekil 4.16).



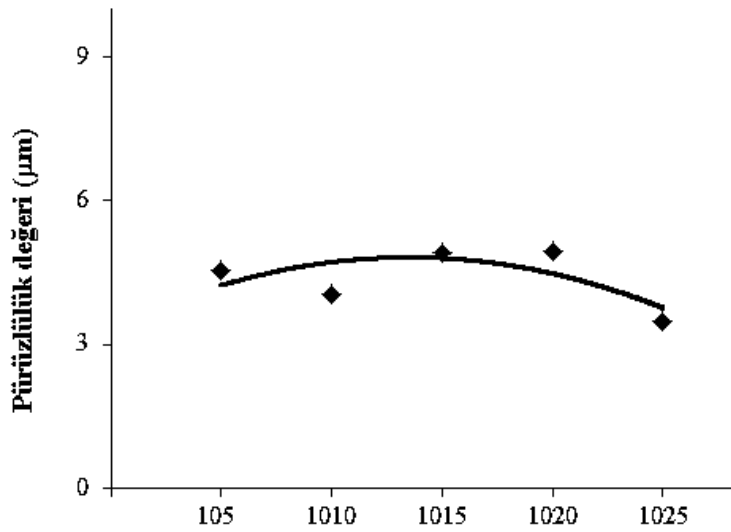
Şekil 4.16 5mm boyutunda karbon elyaf katkılı numunelerin karbon elyaf oranına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.

En fazla yüzey pürüzlülüğü değeri 7,5mm karbon elyaf katkıli numunelerde elde edilmiştir (Şekil 4.17). Karbon elyaf takviye oranının artması ile önce yüzey pürüzlülüğü değerinde düşme, ardından 7515 ve 7520 kodlu numunelerde artış gözlemlenmiştir. Ardından 7525 kodlu numunede pürüzlülük değeri tekrar düşmüştür.



Şekil 4.17 7,5mm boyutunda karbon elyaf katkıli numunelerin karbon elyaf oranına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.

Karbon elyaf takviye boyutunun (10mm) artması ile 5mm ve 7,5mm boyut takviyeli numunelere göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.18).



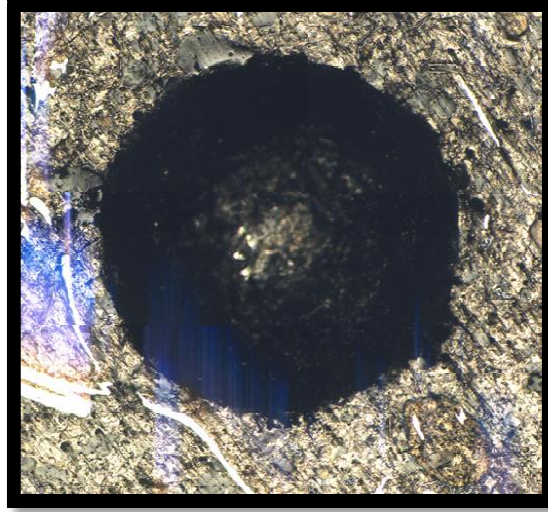
Şekil 4.18 10mm boyutunda karbon elyaf katkıli numunelerin karbon elyaf oranına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi.

4.4 Yoğunluk ve Sertlik Testi Sonuçları

Sürtünme performansının araştırılması amacıyla hazırlanmış numunelerin Arşimet yöntemi ile yoğunlukları tespit edilmiştir. 5 mm karbon elyaf katkılı numunelerin ortalama yoğunluğu $1,891 \text{ g/cm}^3$, 7,5 mm uzunluktaki katkılı numunelerin $1,843 \text{ g/cm}^3$ ve 10 mm uzunluktaki katkılı numunelerin $1,823 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre en yüksek yoğunluk 5 mm' lik numunelerde elde edilmiştir. Boyutun artması ile yoğunluk değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Yoğunluktaki bu düşüşün elyaf boyutunun artması ile ilişkilendirilebilir. Boyutun artması soğuk ve sıcak presleme işlemlerinde numunelerde kompozisyon elementlerinin bağlanmasını zayıflatmaktadır.

Gerçekleştirilen sürtünme testleri sonucunda karbon elyaf uzunluğunun artması sonucunda numunelerin sürtünme katsayısı grafiklerinde düzensizlikler gözlemlenmiştir. Ortalama sürtünme katsayısı değerleri karşılaştırıldığında 5 mm' lik uzunluktaki elyaf katkı oranının artması ile sürtünme katsayısı değeri de artmıştır (Çizelge 4.1). Karbon elyaf uzunluğunun 7,5 mm ve 10 mm olması durumunda %15 katkı oranına kadar sürtünme katsayısı değeri artarken bu oranın üzerinde sürtünme katsayısı değeri azalma sergilemiştir.

Üretilmiş balata numunelerinin sertlik değerlerinin belirlenmesi için numunelere Brinell sertlik testi (HB) uygulanmıştır. Brinell test yönteminde 5 mm çapında sert bilye uç kullanılmıştır. Resim 4.21' de numunelere uygulanmış sertlik testi sonucunda numune yüzeyinde oluşmuş iz gösterilmiştir. Yöntemde her bir numune yüzeyinden 5-6 ölçüm alınmıştır. Alınan ölçümlerin ortalaması alınmış ve Çizelge 4.1' de verilmiştir. Numunelerin ortalama sertlik değerleri arasında büyük farklılıkların olmadığı gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değerleri genellikle 7,5 mm uzunluğundaki karbon elyaf takviyeli numunelerde elde edilmiştir.



Resim 4.21 Numune üzerindeki Brinell sertlik izi.

Çizelge 4.1 Deney numunelerinin ortalama sürtünme katsayısı, özgül aşınma, yoğunluk ve sertlik değerleri.

Numune kod adı	Ortalama sürtünme katsayısı (μ)	Özgül aşınma (g/mm^2) $\times 10^{-7}$	Yoğunluk (ρ , g/cm^3)	Sertlik değeri (HB)
505	0,27	1,5	1,93945	19,25
510	0,33	0,4	1,93353	19,55
515	0,37	0,4	1,92972	20,75
520	0,41	0,4	1,89232	19,8
525	0,44	0,3	1,76457	21,05
755	0,27	0,3	1,95076	21,25
7510	0,35	0,4	1,70629	20,05
7515	0,43	0,3	1,90508	21,3
7520	0,39	0,2	1,85230	19,8
7525	0,37	0,3	1,80255	20,75
105	0,24	0,4	1,91786	19,7
1010	0,36	0,2	1,88107	19,85
1015	0,38	0,2	1,93597	21,15
1020	0,37	0,3	1,64767	19,56
1025	0,36	0,3	1,73415	20,05

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Tez çalışmasında numune kompozisyonlarının karıştırılmasında mikser karıştırma yönteminin homojen karışmada etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Numunelerin karıştırılmasında 5 mm' lik karbon katkılı kompozisyonun daha homojen karıştığı tespit edilmiştir. Karbon elyaf uzunluğu arttıkça karışma homojenliği azalmıştır.

Sürtünme deneyleri sonucunda ortalama sürtünme katsayısı açısından en yüksek değerler 5mm uzunluktaki karbon elyaf katkılı numunelerde elde edilmiştir.

5 mm' lik %25 oranda karbon elyaf katkılı numunede 0,44 değeri ile en yüksek sürtünme katsayısı elde edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı 0,27 ise %5 katkılı 505 numunesinde elde edilmiştir.

7,5 mm' lik uzunluktaki karbon elyaf katkılı numuneler içerisinde en yüksek sürtünme katsayısı 0,43 değeri %15 karbon elyaf katkılı 7515 kodlu numunede elde edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı 0,27 %5 karbon elyaf katkılı 705 numunesinde elde edilmiştir.

10 mm' lik uzunluktaki karbon elyaf katkılı numuneler için en yüksek sürtünme katsayısı 0,38 değeri %15 karbon elyaf katkılı 1015 kodlu numunede elde edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı %5 katkılı 105 numunesinde 0,24 olarak elde edilmiştir.

Üç farklı boyutta karbon elyaf katkılı numunelerde en düşük sürtünme katsayısı değerleri %5 katkılı numunelerde elde edilmiştir.

Karbon elyaf boyutunun ve oranının artması ile sürtünme performansı olumsuz olarak etkilenmiştir. Bu olumsuzluk 7,5 ve 10 mm uzunluğundaki numunelerde belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir.

En düşük sürtünme katsayısı değerleri 10 mm' lik karbon elyaf katkılı numunelerde elde edilmiştir.

Sürtünme deneyi sonucunda, aşınma yüzeylerinin SEM mikroyapısında birçok numunede karbon elyaflar belirgin bir şekilde sürtünme sürecinde aktif katılmıştır. Karbon elyaf uzunluğunun arttığı durumlarda mikroyapıda farklı boyutlarda boşluklar gözlemlenmiştir. Bu boşlukların sürtünme esnasında numune yüzeyinden reçine matrisin sıcaklıkla zayıflaması veya sürtünme kuvveti etkisi ile metalik takviyelerin boşalttığı kısımlar olduğu tespit edilmiştir.

Aşınmış yüzey mikroyapılarından numunelerde hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Numuneler üzerinde gerçekleştirilen sertlik testi sonucunda, numunelerin sertlik değerleri arasında büyük farklılıklar gözlemlenmemiştir.

Numunelerin yoğunluk testi sonucunda en yüksek yoğunluk değerleri 5mm karbon elyaf katkılı numunelerde elde edilmiştir. 5mm katkılı numuneler içerisinde ise en yüksek yoğunluk %5 karbon elyaf katkılı 505 kodlu numunede elde edilmiştir.

Aşınmış yüzeylerin yüzey pürüzlülük testleri değerlendirildiğinde 7,5 mm karbon elyaf katkılı numunelerde daha fazla pürüzlü bir yüzey olduğu tespit edilmiştir. Bu numunelerin ortalama pürüzlülük değerinin 6,99 μm olduğu gözlemlenmiştir.

5.2 neriler

Gerçekleştirilen çalışmalarda karbon elyaf boyutunun küçük olması sürtünme performansını olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Bu nedenle daha kısa boyutlu karbon elyaf katkılarının etkisi (2, 3 ve 4 mm) incelenebilir.

Soğuk ve sıcak presleme basınçlarının arttırılması ile numune yoğunluğuna etkisi incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Akpınar, G. (2008). Modifiye Edilmiş Karaçam Kozalaklarının Otomotiv Fren Balatalarında Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Anderson, A.E. (1987). Proceeding of the symposium on fibers in friction materials. SAE, Atlantic City, NJ.
- Anderson, A. E. (1992). Friction and Wear of Automotive Brakes, Friction, Lubrication, and Wear Technology. ASM Handbook, 18, New York.
- Aran, A. 1990. Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler. İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Arıcasoy, O. (2006). Kompozit sektör raporu. İstanbul ticaret odası.
- Arslan, F., Dönmez, A.G., Ayar, H.H., Yaşar, İ. ve Çuvalcı, H. 1997. Asbestsiz Fren Balatalarının Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi. KTÜ, Trabzon.
- Ashby, M., Jones, R,H,D. (1996). Friction and wear engineering materials. Cambridge Universtiy, England.
- Aslan, S. (2005). SiC ve grafit takviyeli çinko alüminyum hibrid kompozit malzemelerin aşınma davranışının incelenmesi. Doktora Tezi, SA.Ü.
- Ayar, H. H. (1991). Disk Fren Balatalarında Bileşimin Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Baker, R. (1992). Changes Caused By Legislation Against Asbestos. Powder Metallurgy, 35,4, 255-256.

- Bijwe, J. (1997). Composites As A Friction Material: Recent Developments In Non Asbestos.
- Bhushan, B. (2001). Principles of tribology. Modern Tribology Handbook, Volume I, CRC Press.
- Boz, M., Kurt A. (2007). The effect of Al₂O₃ on the friction performance of automotive brake friction materials. Tribology International 40, 1161–1169.
- Chan, D. and Stachowiak, G.W. (2003). Review of Automotive Brake Friction Materials. School of Mechanical Engineering, University of Western Australia, Australia.
- Colchero, J.J., Meyer, E., Martı, O. (1999). Friction on an atomic scale. Handbook of micro/nanotribology, Chapter 6.
- Demirsoy, M. (1973). Balatalar. Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 17, 194.157-170, Ankara.
- Domaç, G.S. (2006). Disk frenlerin tasarım ve tribolojik açıdan incelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dong, F., Blum, F. D., Drahani, L. R. (1996). Polimer-Polimer Composites. 4, pp. 155-159.
- Dönmez, A.G. (2000). Asbest Dışı Elyafarla Üretilen Balata Malzemelerinin Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- D.P.T. (1996). Asbest, Bentonit, Fluorit, Diatomit, (Kizelgur) Kalsit, Kıymetli ve Yarı Kıymetli Taşlar (Süs Taşları), Lityum, Titanyum, Zirkonyum ve Hafniyum. DPT/2421, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Eckert, A., Bethke, H. (1987). Neue Erkenntnisse zur Asbestubstitution in Reibbelagen, (Recent Development and Results in the Substitution of Asbestos in Friction Materials). *Automobiltechnische Zeitschrift*, 89:145-147, 150-152.
- Eriksson, M., Jacobson, S. (2000). Tribological Surfaces of Organic Brake Pads. *Tribology International*, 33, 817–827.
- Eriksson, M., Lord, J., Jacobson, S. (2001). Wear and contact conditions of brake pads: dynamical in situ studies of pad on glass. *Wear*, 249, pp. 272–278
- Eriksson, M., Bergman, F., Jacobson, S. (2002). On the nature of tribological contact in automotive brakes. *Wear* 252, pp. 26-36.
- Ersan, K. (1998). Mevcut eski, yeni ve farklı balataların frenleme kuvvetine etkisinin pedal kuvvetinin fonksiyonu olarak tanımlanması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. cilt13, sayı 1, sayfa 75.*
- Fazan, P., Giezendanner, H. R., Van-Den-Hurk, H. (1998). Engineering Products Of Kevlar Para-Aramid Pulp For High Performance Brake Linings. 6th SAE Annual Colloquium, 1-25, Orlando.
- Ferrante, J., Abel, P.B. (1999). Surface physics in tribology. Chapter 3, *Handbook of Micro/Nanotribology*, 2nd ed.
- Filip, P., Weiss, Z., Rafaja, D. (2001), “On Friction Layer Formation in Polymer MatrixComposite Materials for Brake Applications”, *Wear* 9028, 1-10.

- Gemalmayan, N. (1984). Surtunme malzemelerinin ozelliklerinin deneysel incelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Universitesi Muh. Mimar. Fak., Ankara.
- Gemalmayan, N. (1986). Asbestsiz Sürtünme Malzemelerinin (Balataların) Yapımı ve Uygulanması. 2. Ulusal Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara.
- Gopal P., Dharani, L.R., Blum, F.D. (1996). Hybrid phenolic friction composites containing Kevlar pulp. Part I. Enhancement of friction and wear performance. *Wear*, 193 199-206.
- Göktan, A.G., Güney, A., Ereke, M. (1995). Taşıt Frenleri. İTÜ, İstanbul.
- Handa, Y., Kato T. (1996). *Trib.Trans.* 39 346-353.
- Jang, H., Lee, J. S. Fash, J. W. (2001). Compositional Effects of the Brake Friction Material on Creep Groan Phenomena. *Wear*, 251, 1477-1483.
- Kara, M. (1998). Alüminyum Oksitin Sürtünme ve Aşınma Davranışları. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Kara, R. (2011). Krom, Silisyum ve Niobyum Katkılı Kobalt-Demir Esaslı İri Hacimli Metalik Camların Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.
- Kaya, F. (1983). Plastikler Katkı Maddeleri ve İşleme Metotları. 1. Baskı, Kipaş Dağıtım, İstanbul.
- Kılıç, H. (2010). Mermer Atıklarının Otomotiv Fren Balata Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Koç, O. (2008). Fren Balata Sisteminde Sürtünme Sonucu Oluşan Isı Transferi Ve Termal Gerilme Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Kun, N. (2000). Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi. Mermerciler Odası, 149, İzmir.
- Ludemak, C. Introduction to wear. University of Michigan, in ASM Handbook, Vol 18.
- Majumdar, A., Bhushan, B. (1999). Characterization and modeling of surface roughness and contact mechanics. Handbook of Micro/Nanotribology, Chapter 4.
- McLellan, R.G. (1988). IMechE C451 (88) 9-13.
- Mete, Z. (1985). Kütahya Alayunt Yöresi Diatomit Yataklarının İzole Tuğla Yayımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 253-260, Ankara.
- Milevski, J.V., Ketz H.S. (1987). Handbook of Reinforcements for Plastics. Van Nostrend Reinhold, NY.
- Mutlu, I. (2002). Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Mutlu, İ., Oner C., Fındık F. (2006). Boric Acid Effect in Phenolic Composites On Tribological Properties in Brake Linings. Materials & Design, 39, 317-325.
- McLellan, R.G. (1988). IMechE C451 (88) 9-13.
- Nicholson, G. (1995). Facts About Friction. P&W Price Enterprises, Inc Croydon, PA.
- Önenç, D., İ. (1998). Sedimanter Kaya mermerciliginde Bloklarda Ürün Alınmasını

Engelleyen Jeolojik Olusumlar. Maden Tetkik ve Arama Dogal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, No:1-2, 61- 63, Ankara.

Öztürk, B. (2004). Hibrid Kompozit Kavrama Balatası Üretimi ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

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

Smith, W.F. (1996). Principles of Materials Science And Engineering. McGraw-Hill, USA.

Soydan A. (2007). Frenleme Sistemleri-Testleri Ve Test Sonuçlarının Değerlendirmesi. Taşıt Teknolojisi Dersi Raporu, Gazi Üniversitesi, Otomotiv Anabilim Dalı, Ankara.

Staab, G. H. (1999). Laminar Composites. Butterworth-Heinemann, Chapter 1.

Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W. (2004). Engineering Tribology. TEAM LRN, Butterworth-Heinemann.

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

Tabor, D. (2001). Friction the present state of our under standing. Transactions of the asme, Journal of Lubrication Technology, pp.169-179.

Tekinel, O. (1999). İnşaat Malzeme Bilgisi. K.S.Ü. Rektörlüğü Yayın no 58, Kahramanmaraş.

Timur, M. (2007). Otomotivde Kullanılan Sürtünme Malzemelerinin Sürtünme Katsayısını tesbit eden Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı. Y. Lisans Tezi.

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.

Uygur, M, E. (1996). Balata Üretim Teknolojisi. 1. Ulusal Toz Metalurjisi Kongresi, Bildiriler Kitapçığı, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Vishwanath, B., Verma, A. P., Kameswara Rao, C. V. S. (1993). Effect of Reinforcement on Friction and Wear of Fabric Reinforced Polymer Composite. Wear, 167, pp. 93-99.

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

Yavuz, N. (2002). Toz Metalürjisi Ders Notları. Uludağ Üniversitesi, Bursa.

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

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

İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

- | | |
|--|------------|
| 1. http://www.turkcadcam.net/ | 31.03.2011 |
| 2. http://www.carbonfiber.gr.jp/english/index.html | 11.02.2011 |
| 3. http://www.corecomposites.com/media/aboutCarbon.pdf | 11.02.2011 |

4. <http://www.tirebor.com/download/bormadenimakaleler/103.pdf> 14.02.2011
5. <http://www.bilgiustam.com> 09.06.2011
6. <http://www.ersoyotomotiv.net/page1.php> 02.06.2011

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatma KARA
Doğum Yeri : Bursa
Doğum Tarihi : 05.01.1982
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Atatürk Endüstri Meslek Lisesi, 1997
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Res. ve Konst. Öğretmenliği, 2008

Uluslararası Konferans ve Sempozyumlardaki Tebliğler

Kara, F., Kara, R., Mutlu, İ., “Fren Balatasında Karbon Elyaf Boyutunun Sürtünme Katsayısına Etkisi”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Türkiye.