T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FREN BALATALARINDA CAM ELYAF KULLANIMININ SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Burak ÇİFTÇİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI
KONYA 2010

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FREN BALATALARINDA CAM ELYAF KULLANIMININ SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Burak ÇİFTÇİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI

KONYA 2010

Bu tez 09/08/2010 tarihinde aşağıdaki juri tarafından oybirliği/~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof.~~Dr.~~ Necmettin TARAÇLIOĞLU
(Juri Başkanı)

Doç.Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
(Üye)

Yrd.Doç.Dr.Recai KUŞ
(Danışman)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FREN BALATALARINDA CAM ELYAF KULLANIMININ SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Burak ÇİFTÇİ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr.Recai KUŞ

2010, 78 Sayfa

Juri :Prof.Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
:Doç.Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
:Yrd. Doç. Dr. Recai KUŞ

Fren balatalarında takviye edici elyaf, bağlayıcı, dolgu malzemesi ve sürtünme düzenleyici olmak üzere dört grup malzeme kullanılmaktadır. Asbestin kanserojen etkisinin belirlenmesinden önce asbest, fren balatalarında elyaf olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktaydı. Asbestin kanserojen etkilerinin ortaya çıkması neticesinde fren balata teknolojisi asbeste muadil elyaflar üzerinde çalışmaya başlamıştır. Cam elyafı da bu elyaflardan biridir. Cam elyafı yüksek termal dayanıma sahip olduğu için fren balatalarında kullanılabilmektedir. Bu çalışmada da fren balatalarında cam elyafı kullanımının balatanın sürtünme performansı üzerindeki etkilerini belirlemek amaçlanmıştır. Beş farklı cam elyaf oranını ve bir adet de elyafsız olmak üzere altı formülde balata üretilmiş ve ilgili standartlar doğrultusunda sürtünme, sertlik ve basma testleri yapılmıştır. Sürtünme testlerinin sonucunda cam elyafının balatanın sıcaklıkla sürtünme katsayısı değişimini daha kararlı hale getirdiği, ağırlıkça %20 cam elyaf oranındaki balatanın en yüksek sürtünme katsayısı sergilediği görülmüştür. Sertlik ve basma testi sonuçlarına göre en yüksek değere sahip grup %20 cam elyaf içeren grup olduğu görülmüştür. En düşük sertlik ve basma değerlerini sergileyen grup ise hiç cam elyaf içermeyen grup olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Fren balatası, Cam Elyaf, Sürtünme, Sertlik, Basma mukavemeti

ABSTRACT

PhD Thesis

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF FIBER GLASS USING IN AUTOMOTIVE BRAKE PAD ON THE FRICTION PROPERTIES

Burak ÇİFTÇİ

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Mechanical Education Department

Advisor: Assist.Prof.Dr. Recai KUŞ

2010, 78 Pages

Jury :Prof.Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
:Assoc.Prof.Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
:Assist.Prof.Dr. Recai KUŞ

In brake linning is used four group materials that reinforcement fibre, binder, filler materials and friction regulator. The determination of the carcinogenic asbestos dumped before, it was used widely. With the emergence of the carcinogenic effects of asbestos, equivalent materials research to asbestos has begun. Glass fibre is one of them. Due to glass fibre has high thermal resistance, it can be used on the brake linning. In this study aim is effect of glass fibre in the prake pad on the braking performance. Five different glass fibre rate and one without glass fibre linnings were manifactured and friction, hardness, compressive tests were performed in related standards. Friction test results show that glass fiber cause more stability friction coefficient different temperatures, the sample that includes %20 glass fiber has very high friction coefficient. Hardness and compressive test results show that the samples that includes %20 glass fiber has the highest value, the samples that without glass fibre has the lowest value.

Anahtar kelimeler: Brake linning, Glass Fibre, Friction, Hardness, Compressive Strength

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde katkısı olan başta danışman hocam Sn. Yrd.Doç.Dr.Recai KUŞ'a, engin bilgileriyle bana yol gösteren Sn. Prof.Dr.Ahmet AVCI ve Sn. Prof.Dr.Ahmet AKDEMiR'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca numunelerin üretimi ve sürtünme testleri esnasında bilgilerini, tecrübelerini ve imkanlarını esirgemeyen METİSAFE firması müdürü Sn. H.Hüseyin AYAR'a, firma Ar-Ge Sorumlusu Sn. Tarık DURMUŞ'a ve METİSAFE firması çalışanlarına, Basma testlerini gerçekleştirdiğimiz Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Malzeme Bilimi Eğitimi A.Bilimdalı Öğretim Üyesi Sn. Yrd.Doç.Dr. Ahmet GURAL'a ve Sertlik ölçme testlerini gerçekleştirdiğimiz Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Teknik Bilimler Bölüm Başkanı Sn. Doç.Dr.Hacı SAĞLAM'a teşekkür ederim.

BURAK ÇİFTÇİ

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

m :Metre

s :Saniye

J :Joule

g :Gram

N :Newton ($kg.m.s^{-2}$)

g :Yerçekimi ivmesi (9,80665 $m.s^{-2}$)

kgf :Kilogram Kuvvet (kg.*g*)

Pa :Pascal ($N.m^{-2}$)

Bar :Bar ($10^5.N.m^{-2}$)

ºC :Derece Selsilus

W :Watt ($J.s^{-1}$)

K :Kelvin

r :Yarıçap (m)

rpm :Dakikadaki dönüş devri

ω :Çevresel hız (m/s)

μ :Sürtünme katsayısı

0CE :Ağırlıkça %0 oranında cam elyaf içeren numune

5CE :Ağırlıkça %5 oranında cam elyaf içeren numune

10CE :Ağırlıkça %10 oranında cam elyaf içeren numune

15CE :Ağırlıkça %15 oranında cam elyaf içeren numune

20CE :Ağırlıkça %20 oranında cam elyaf içeren numune

25CE :Ağırlıkça %25 oranında cam elyaf içeren numune

HRR :Rocwell R skalasına göre serlik değeri

HB :Brinell sertlik değeri

Mesh :Elek analizi

SY :Sürtünme Yüzeyi (Sürtünme Testine Tabi Tutulmuş Düzlemsel Yüzey)

DY :Diğer Yüzey (Sürtünme Testine Tabi Tutulmamış Düzlemsel Yüzey)

M :Merkez (Düzlemsel Yüzeyin Merkez Noktası)

MK :Merkez-Kenar (Düzlemsel Yüzeyin Merkez ile Kenarı Arasındaki Bölge)

K :Kenar (Düzlemsel Yüzeyin Kenar Bölgesi)

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
TEŞEKKÜR ..... **iii**
KISATMA VE SEMBOLLER ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **ix**
GRAFİK LİSTESİ ..... **x**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **5**

3. BALATA MALZEMELERİ **9**
a. Takviye Edici Elyaflar **9**
i. Cam Elyaflar **9**
ii. Bor Elyaflar **11**
iii. Kynol Elyaflar **11**
iv. Taş Yünü **12**
v. Metalik Elyaflar **13**
vi. Kevlar Elyafı **13**
vii. Karbon Elyafı **14**
viii. Seramik Elyaflar **15**
ix. Asbest Elyafı **15**
b. Bağlayıcılar **16**
i. Fenolik Reçine **16**
ii. Siyanat Ester **16**
iii. Epoksi Takviyeli Reçine **17**
c. Dolgu Maddeleri **17**
i. Barit **17**

ii. Kalsiyum Karbonat 18
iii. Mika 19
iv. Vermikülit 19
v. Potasyum Titanat 20
vi. Talk 20
d. Sürtünme Düzenleyiciler 21
i. Katı Yağlayıcılar 21
1. Grafit 22
2. Metal Sülfid 22
ii. Abrazifler 23
1. Alüminyum Oksit 23
2. Demir Oksit 24
3. Metal Oksit 24
e. Yeni Nesil Sürtünme Materyalleri 24

4. MATERYAL VE METOT 26
a. Malzeme Seçimi 26
b. Baz Formülün Belirlenmesi 27
c. Karışımın Hazırlanışı ve Numunelerin Üretimi 29
d. Test Cihazlarının Tanıtımı ve Numunelerin Teste Hazırlanışı 30
e. Test Şartları ve Testlerin Yapılışı 36
i. Sertlik Testi 36
ii. Basma Testi 37
iii. Sürtünme Testi 37

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI 40
a. Sertlik Testi Sonuçları 40
b. Basma Testi Sonuçları 41
c. Sürtünme Testi Sonuçları 43
i. 0CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları 43
ii. 5CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları 45
iii. 10CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları 47

iv. 15CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları 50
v. 20CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları 52
vi. 25CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları 55
vii. Sürtünme Testi Sonuçlarının Birbirleri ile Karşılaştırması 58
viii. Balataların Soğuk Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması..59
ix. Balataların Sıcak Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması 60

6. TARTIŞMA 62

7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....64

KAYNAKLAR 66

EKLER.....69
TİPİK KOMPOZİSYONLAR
a. Tsang (1985)'ın Kompozisyonu 69
b. Jang (2000)'ın Kompozisyonu 70
c. Eriksonn (2000)'un Kompozisyonu 71
d. Liu ve arkadaşları (2006)'nın Kompozisyonu.....71
e. Arnab ve Raji (2008)'nin Kompozisyonu 72
f. Mutlu ve Öner (2003)'in Kompozisyonu 73
g. Mutlu ve Öner (2002)'in Kompozisyonu 74
h. Cho ve arkadaşları (2005)'nın Kompozisyonu.....75
i. Matejka ve arkadaşları (2008)'nın Kompozisyonu 76
j.Gurunath ve Bijwe (2007)'nin Kompozisyonu 76
k. Hee ve Filip (2005)'in Kompozisyonu 77
l. Jang ve arkadaşları (2004)'nın Kompozisyonu.....77
m. Cho ve arkadaşları (2003)'nın Kompozisyonu 78

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Hammadde, İmalat parametreleri, Ürün, Çalışma şartları ve Performans arasındaki ilişki 2
Şekil 3.1. Kırpılmış E-Camı 10
Şekil 3.2. Kynol elyaf 12
Şekil 3.3. Taş yünü 12
Şekil 3.4. Kırpılmış kevlar elyafı 14
Şekil 3.5. Toz karbon 15
Şekil 3.6. Asbest elyafı 16
Şekil 3.7. Fenolik reçine (toz) 16
Şekil 3.8. Epoksi reçine 17
Şekil 3.9. Barit 18
Şekil 3.10. Kalsiyum karbonat 18
Şekil 3.11. Mika (toz) 19
Şekil 3.12. Toz vermikülit 20
Şekil 3.13. Potasyum titanat 20
Şekil 3.14. Talk 21
Şekil 3.15. Toz grafit 22
Şekil 3.16. Metal sülfid 22
Şekil 3.17. Alüminyum oksit 23
Şekil 3.18. Çeşitli renklerde demir oksitler 24
Şekil 4.1. Çapı 20mm, boyu 10 mm boyutlarındaki numune 30
Şekil 4.2. Sürtünme test cihazı 31
Şekil 4.3. Test cihazı diski ve balata bağlantı şeklinin şematik görünümü 32
Şekil 4.4. Sertlik ölçme cihazı 35
Şekil 4.5. Ölçüm mikroskobu 35
Şekil 4.6. Ölçüm noktaları şematik görünümü 36
Şekil 5.1. Numunelerin basma testi sonrasındaki görünümleri 42
Şekil 5.2. 0CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü 45
Şekil 5.3. 5CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü 47
Şekil 5.4. 10CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü 49
Şekil 5.5. 15CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü 51
Şekil 5.6. 20CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü 54
Şekil 5.7. 25CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü 57

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Kevlar Elyafının Teknik Özellikleri (Kevlar Techical Guide) 13
Çizelge 4.1. E-Cam elyafı özellikleri.....26
Çizelge 4.2. Fenolik reçine özellikleri 26
Çizelge 4.3. Barit'in özellikleri.....27
Çizelge 4.4. Vermikülit'in özellikleri 27
Çizelge 4.5. Grafit'in özellikleri 27
Çizelge 4.6. Alümina'nın özellikleri.....27
Çizelge 4.7. Baz formülün kompozisyonu.....28
Çizelge 4.8. Numune gruplarında kullanılan malzemeler ve kütlesel oranları 28
Çizelge 5.1. Numunelerin sertlik testi sonuçları 40
Çizelge 5.2. 0CE numunesinin TS 9076'a göre sürtünme karakteristikleri.....43
Çizelge 5.3. 5CE numunesinin TS 9076'a göre sürtünme karakteristikleri.....46
Çizelge 5.4. 10CE numunesinin TS 9076'a göre sürtünme karakteristikleri.....49
Çizelge 5.5. 15CE numunesinin TS 9076'a göre sürtünme karakteristikleri.....51
Çizelge 5.6. 20CE numunesinin TS 9076'a göre sürtünme karakteristikleri.....54
Çizelge 5.7. 25CE numunesinin TS 9076'a göre sürtünme karakteristikleri.....56

GRAFİK LİSTESİ

Grafik 5.1. Numunelerin basma testi sonuçları 41
Grafik 5.2. 0CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu 43
Grafik 5.3. 0CE numunesinin son sürtünme test sonucu 43
Grafik 5.4. 5CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu 45
Grafik 5.5. 5CE numunesinin son sürtünme test sonucu 46
Grafik 5.6. 10CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu 47
Grafik 5.7. 10CE numunesinin son sürtünme test sonucu 48
Grafik 5.8. 15CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu 50
Grafik 5.9. 15CE numunesinin son sürtünme test sonucu 50
Grafik 5.10. 20CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu 52
Grafik 5.11. 20CE numunesinin son sürtünme test sonucu 53
Grafik 5.12. 25CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu 55
Grafik 5.13. 25CE numunesinin son sürtünme test sonucu 55
Grafik 5.14. Numunelerin ilk sürtünme test sonuçlarının karşılaştırılması 58
Grafik 5.15. Numunelerin son sürtünme test sonuçlarının karşılaştırılması 59
Grafik 5.16. Numunelerin Soğuk Sürtünme Katsayılarının karşılaştırılması 60
Grafik 5.17. Numunelerin Sıcak Sürtünme Katsayılarının karşılaştırılması 61

1. GİRİŞ

Balata, hareketli bir sistemin kinetik enerjisini sürtünme yoluyla ısı enerjisine dönüştüren ve bu ısıyı çevre ortama aktararak sistemin yavaşlamasını veya durmasını sağlayan kompozit sürtünme elemanıdır.

İyi bir sürtünme elemanından, korozyona karşı dirençli, hafif, sessiz çalışma, sabit bir sürtünme katsayısını devamlı sağlayabilme, aşınmaya karşı dayanıklılık, düşük maliyet ve yüksek basınç altında sorunsuz ve performanslı bir şekilde çalışabilme, yüksek sıcaklıklara dayanabilme gibi özelliklerinin yanında kullanıldığı alanlara has özelliklere de sahip olması istenir. Doğada bu özelliklerin tamamını sağlayabilecek saf bir maddeyi bulmak mümkün değildir. Bu koşulları sağlayabilecek bir sürtünme elamanı ancak çeşitli malzeme gruplarının birleştirilerek özel kompozit malzemeler oluşturulması sonucunda ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle balatalar, üretici firma stratejisine, kullanım alanına ve şartlarına bağlı olarak 5 ila 20 arasında değişen malzemeden oluşturulur.

Frenlemenin yüksek bir verimle yapılabilmesi için en önemli kriterlerin başında disk-balata ara yüzeyinde minimum aşınmayı sağlayan yüksek ve kararlı sürtünme katsayısı yer almaktadır. Bu kriteri sağlayan en önemli faktörler ise balata malzemesinin kompozisyonu ve mikro yapısıdır. Genel olarak balata malzemesi üzerine yapılan çalışmalar kompozisyonun değiştirilerek istenilen özelliklerin sağlanması, üzerine yoğunlaşmıştır (Ertan, Yavuz 2006).

Balata üretiminde kullanılan malzemelere göre üretim yöntemi çeşitlilik göstermektedir. Taşıt balatalarının genellikle fenolik reçine içermesinden dolayı üretim metodu olarak toz metalürjisi yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem çok ince toz halinde bulunan metal veya metal olmayan malzemelerin birbiri ile karıştırılması, belirli sıcaklık, süre ve basınç altında preslenmesi işlemlerini kapsayan üretim prosesinden oluşmaktadır.

Literatür araştırmalarında balatanın mekanik özelliklerinin üretim yöntemi ve tane boyutuna bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Kompozisyonlar aynı olsa bile farklı üretim yöntemi ile üretilen balatalar çok farklı özellikler sergileyebilmektedir. Bu yüzden bir balata malzemesi tasarımında kompozisyon, üretim ile birlikte bir bütün olarak incelenip ele alınmalıdır. Bu ilişki Şekil 1.1'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.1: Hammadde, İmalat parametreleri, Ürün, Çalışma şartları ve Performans arasındaki ilişki

Balata içerisinde kullanılan malzeme ve kullanım oranı balatanın sürtünme performansını doğrudan etkilemediği bilinmektedir. Bu konu ile ilgili yapılan araştırmalarda malzemelerin etki mekanizmalarından çok, balata formülizasyonu ve değerlendirilmesi üzerinde yoğunlaşılmıştır (Mutlu, Öner 2002).

Balata üretiminde kullanılan malzemeler üstlendikleri görevler açısından incelendiğinde dört gruba ayrıldığı görülmektedir. Bunlar;

- Takviye edici özelliği üstlenen elyaf çeşitleri
- Bağlayıcılık özelliğini üstlenen reçine çeşitleri
- Dolgu maddesi özelliğini üstlenen dolgu malzemeleri
- Sürtünme düzenleyiciliği görevini üstlenen malzemelerdir.

1980'li yıllara kadar balata üretiminde elyaf olarak asbest kullanılıyordu. Asbest, ucuz ve balatalara mükemmel dayanıklılık ve termal direnç sağlayan, 1908-1980 yılları arasında kullanımı yaygın olan bir fiberdir. 1980 yılında asbestin

kanserojen etkilerinin ortaya çıkmasıyla kullanımı yasaklanmış ve araştırmacılar, asbestin yerini tutabilecek elyaf çeşitleri üzerinde çalışmaya başlamışlardır.

Araştırmalar asbeste muadil elyaflar arasında cam elyaf, taşyünü, metalik elyaflar, kevlar elyafı, karbon elyafı, seramik elyafı, aramid elyaf gibi elyaflar yer aldığını göstermektedir.

Cam elyafları yüksek termal dayanımı ve düşük maliyetinden ötürü %96-98'lik pazar payı ile elyaf takviye malzemeleri arasında, kompozit sektörüne hâkim konumdadır. Cam elyafları termal ve aşınma direnci yüksek, maliyetleri düşük ve temin edilebilirliği kolay ve yerli üretim olan malzemelerdendir. Cam elyafının sağladığı bu olumlu özellikleri balata üretiminde elyaf olarak cam elyafı kullanılabilirliği ile ilgili yapılan çalışmalarının temelini oluşturmuş, bu çalışmada da balata üretimde cam elyaf kullanımı ve kullanım oranının sürtünme performansı üzerindeki etkileri üzerine yoğunlaşılmıştır.

Asbestsiz sürtünme malzemelerinde ana yapının mukavemetini arttırmak amacı ile %5-25 oranında cam elyafına yer verilebilmektedir. Ayrıca cam elyafın ısı iletiminin az olması asbest liflerine iyi bir alternatif olması ve eseklik özelliğinden ötürü sürtünme malzemelerinde kullanılabilir yapıya sahiptir (Mutlu, Öner 2002).

Bu çalışmada fren balata üretiminde cam elyafı kullanım oranının balatanın sürtünme performansı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kompozisyonların belirlenmesinde literatür çalışmalarından, balata üreticisi tavsiyelerinden faydalanılmış temin edilebilirlik, üretilebilirlik ve maliyet konuları dikkate alınarak balata üretiminde kullanılacak malzemeler belirlenmiştir. Literatürden belirlenen malzemelere özgü kullanım oranları belirlenmiş ve baz bir formül geliştirilmiştir. Bu formül üzerinde cam elyaf oranının değiştirilmesi ile 6 farklı kompozisyonda balata üretilmiş, sürtünme özellikleri incelenmiştir. Sürtünme özelliklerinin daha iyi değerlendirilmesi için numuneler üzerinde basma testi ve sertlik testi çalışmaları da gerçekleştirilmiştir.

Sürtünme testleri METİSAFE firması tarafından geliştirilen ve TS 9076 numaralı balata sürtünme testi standardına göre test yapabilen test cihazında, basma testleri MFL SYSTEME marka azami 20.000 kPa kapasitede çekme ve basma yapabilen test cihazında ve sertlik testleri HOYTOM test cihazında gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarının doğruluğun artırılması için her bir kompozisyon grubundan testler 5 kez tekrar edilmiş ve ortalamaları alınmıştır.

Sürtünme testlerinin sonucunda cam elyafının balatanın sıcaklıkla sürtünme katsayısı değişimini daha kararlı hale getirdiği, ağırlıkça %20 cam elyaf oranındaki balatanın en yüksek sürtünme katsayısı sergilediği görülmüştür. Sertlik ve basma testi sonuçlarına göre en yüksek değere sahip grup %20 cam elyaf içeren grup olduğu görülmüştür. En düşük sertlik ve basma değerlerini sergileyen grup ise hiç cam elyaf içermeyen grup olarak belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Mutlu İ., ve Öner C. 2002'de ağırlıkça %25, %10 ve %2 cam elyafına yer vermiş, %25 ve %10 oranında cam elyaf içeren numuneleri fırınlanmış ve fırınlanmamış olmak üzere 5 grup numunenin sürtünme ve aşınma karakteristiklerini incelemişlerdir. Mutlu ve Öner cam elyafının balata içersinde kullanılabileceğini, balatanın aşınmaya karşı direnç sağladığını ve sürtünme katsayısını düzgünleştirdiğini, fırınlanmış numunelerin daha kararlı sürtünme katsayısı sergilediğini, %25 oranında cam elyaf içeren numunenin fade başlangıcının 350ºC ve özgül aşınma oranının 0,002 mg/mm^2 olduğunu, %10 oranında cam elyaf içeren numunenin fade başlangıcının 150ºC olduğunu belirlemişlerdir.

Chan, D. ve Stachowiak G.W. 2004' de taşıt balatalarında kullanılabilen malzemeleri, kullanım oranlarını ve özeliklerini araştırmışlardır. Araştırmalarının neticesinde balatalarda 1970'li yılların ortalarında beri cam elyaf kullanılabildiğini, bağlayıcı olarak reçine kullanılmış cam elyaflı fren balatalarının fiziksel dayanımlarının yüksek olduğunu ve termal dirençlerinden dolayı fren balatalarında destekleyici fiber olarak kullanıma elverişli olduğunu tespit etmişlerdir.

Kevlar Techical Guide 1992, Kevlar'ın bulucusu ve üreticisi olan Dupont firması tarafından yayınlanmış ve Kevlar hakkında teknik bilgiler içeren bir kılavuzdur. Kılavuza göre kevlar ticari olarak kevlar 29 ve kevlar 49 adında iki farklı mekanik ve fiziksel özelliklerde kevlar üretildiğini, kevlar 29, 12 mikron çapında 1000 adet iplikten oluştuğu ve bu demetin çekme dayanımının 338N olduğu, kevlar 49, 12 mikron çapında 768 adet iplikten oluştuğu ve bu demetin çekme dayanımının 264N olduğu, kevlar elyafının deformasyon sıcaklığının 427-482ºC olduğu belirtilmiştir.

Guan Q.F. ve ark. 2004'de karbon fiber takviyeli fren balatalarının aşınma ve sürtünme özelliklerini incelemişlerdir. Guan Q.F. ve ark. ağırlıkça %12, %15 ve %18 oranında karbon elyaf içeren fren balatası üretmiş, sürtünme ve aşınma

karakteristiklerini belirlemişlerdir. Ayrıca Guan Q.F. ve ark. balatalarda kullanılabilen cam, karbon ve aramid elyafının sürtünme ve aşınma karakteristiklerini de karşılaştırmışlardır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre kompozisyon içerisindeki karbon elyaf oranı arttıkça (%18'e kadar) balatanın sürtünme katsayısının ve aşınma oranının arttığını belirlenmiştir. Ayrıca balata sıcaklığı 100ºC'den 300ºC'ye yükseldikçe karbon elyafının sürtünme katsayısı arttığı, buna rağmen cam ve aramid elyafının ise düştüğü gözlenmiştir.

Windhorst,T. ve Blount, G. 1997' de karbon kompozitlerinin üretimi, teknik özellikleri ve kullanım alanları ile ilgili detaylı bilgiler vermişlerdir.

Sulaiman, S. ve ark. 2008'de fenolik reçine matrisli ve karbon fiber takviyeli kompozitlerde hexaminin balatanın mekanik özelliklerinden sertliği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında hexamin içeren numuneler üretilmiş ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Numunelerin sertlik değerlerini sırası ile 83.9HRR, 83.5HRR ve 85.4HRR olarak belirlemişlerdir.

Jang H. ve ark. 2004'de fren balatalarında metal fiberlerin sürtünme performansına etkileri konusunda bir araştırma yapmışlardır. Araştırmalarında geliştirdikleri fren balatasında bakır, çelik ve alüminyum fiberler üzerinde yoğunlaşmışlardır. Jang H. ve ark. herbir elyaf grubundan %15 oranında elyaf içerecek şekilde ürettikleri numunelerin sürtünme karakteristiklerini belirlemiş ve kıyaslamışlarıdır. Bu çalışmaya göre en yüksek sürtünme katsayısını Alüminyum elyaf içeren numune, en düşük sürtünme katsayısını ise Bakır elyaf içeren numune sergilemiştir.

Holman, J.P. 2002'de çıkardığı eserinde cam elyafının ısıl iletkenlik katsayısı ile ilgili bilgiler de vermiştir. Bu esere göre cam elyafının ısıl ilekenlik katsayısı 0.04 W/mK dir.

Matejkaa V. ve ark. 2008'de yarı-metal fren balatalarında seramik karpitin balatanın aşınma direncine etkileri incelenmiştir. Ağırlıkça %0, %3.4, %5.6, %9, %14.6 oranlarında seramik karpit kullanarak üretilen numunelerin sürtünme ve

aşınma karakteristikleri belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre en düşük sürtünme katsayısını hiç seramik karpit içermeyen numune, en yüksek sürtünme katsayını da %9 ve %14.6 oranında seramik karpit içeren numuneler sergilemişlerdir. Ek olarak kompozisyon içerisindeki seramik karpit oranı %14.6'nın üzerine çıktığında da sürtünme katsayında düşüş olduğu saptanmıştır.

Tsang P.H.S. ve ark. 1985' de chase ve inertia adında iki tip fren test dinamometresini karşılaştırmışlardır. Birçok malzeme kombinasyonunun Chase ve atalet dinamometre makinelerindeki test verileri karşılaştırılmış, verilerin tutarsız olduğu gözlemlenmiştir.

Eriksson M. ve Jacobson S., 2000'de organik fren balatası geliştirmişler ve bu balatanın yüzeyini tribolojik açıdan değerlendirmişlerdir.

Liu Y. ve ark. 2006'da çelik ve mineral elyafları kullanan iki farklı tip kompozisyon geliştirmişler ve bu kompozisyon üzerinde nano kauçuk tozlarının balata performansına etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarının sonucuna göre nano kauçuk tozlarının balatanın sürtünme özelliklerini iyileştirdiğini ortaya çıkarmışlardır.

Arnab G. ve Raji G., 2008'de kendi belirledikleri bir fren balata kompozisyonu geliştirmiş ve sürtünme karakteristiklerini değişik yükler altında belirlemişlerdir. Bu çalışmanın sonucuna göre geliştirilen balatanın sürtünme katsayısı 4.5 kg lık yüke kadar azalma göstermiş, 4.5 kg'ın üstündeki yüklemelerde ise artış göstermiştir.

Öner C. ve Mutlu İ., 2003'de cam, kevlar ve taşyünü elyaflarını kullanarak balata kompozisyonu geliştirmişler ve bu kompozisyonların sürtünme karakteristiklerini belirlemişlerdir. Sonuçlara göre özgül aşınma miktarı cam elyaf katkılı numunelerde artırmıştır. Ayrıca deneysel çalışmalar, asbestsiz otomotiv fren balatası gelişiminde aşınmaya karşı direnç oluşturmada, sürtünme katsayısının düzgünleşmesinde cam elyaf, taş yünü ve kevlar kullanılabileceğini göstermiştir.

Gurunath, P.V. ve Bijwe J., 2007'de yeni geliştirdikleri bir reçineyi matriks olarak kullanarak özgün bir balata kompozisyonu geliştirmiş ve sürtünme özeliklerini geleneksel fenolik reçine ile kıyaslamışlardır. Geliştirdikleri reçine fenolik reçineye göre daha stabil sürtünme katsayısı sergilediğini belirlemişlerdir.

Hee K.W. ve Filip P. 2005'de seramik takviyeli ve fenolik reçine matriksli fren balatası geliştirmişler ve sürtünme karakteristiklerini belirlemişlerdir. Çalışmalarının sonuçlarına göre seramik takviyeli fren balatalarının daha kararlı sürtünme katsayısı sergilediği, seramik takviyesinin balatanın aşınma oranını arttırdığı ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslandığında kullanılan cam elyaf boyu, kompozisyonu oluşturan malzemeler ve oranları bakımından özgün çalışma niteliğinde olup çalışmada yaklaşık 1 mm boyunda cam elyaf, Fenolik Reçine, Grafit, Barit, Alümina ve Vermikülit kullanılarak formüller geliştirilmiştir. Bu konuda yapılmış çalışma olarak Mutlu ve Öner'in 2002'de yaptıkları çalışma gösterilebilir. Mutlu ve Öner'in Cam elyaflı fren balatalarının özellikleri konulu çalışmalarında kullandıkları cam elyafının boyu 3 ila 4,75 mm arasındadır ve Cam elyaf, Pik tozu, Grafit, SiC, Cashew, Barit, Fenolik Reçine, Sıvı Reçine ve Tanen malzemelerini kullanarak formüller geliştirmişlerdir.

3. BALATA MALZEMELERİ

Balata içerisinde kullanılan malzemeler temelde dört gruba ayrılır. Bunlar;

- Takviye edici elyaflar (cam, bor, kynol, taşyünü, metalik elyaflar, kevlar, carbon, seramik ve asbest gibi elyaflar),
- Bağlayıcılar (fenolik reçine, siyanat ester, epoksi takviyeli reçine gibi reçineler),
- Dolgu maddeleri (barit, kalsiyum karbonat, mika, vermikülit, kauçuk atıklar gibi maddeler),
- Sürtünme düzenleyici katkılardır (grafit, metal sülfid, metal oksit ve metal silikat vb malzemeler).

Bağlayıcıların amacı balatanın yapı bütünlüğünü, mekanik ve termal gerilmeler altında sürdürmesini sağlamaktır (Ertan Yavuz 2006). Dolgu maddeleri; balatanın maliyetini azaltmak ve üretilebilirliğini arttırmak için balata içerisine katılan maddelerdir. Sürtünme düzenleyici katkılar; sürtünme katsayısını ve aşınma oranlarını modifiye etmek için kullanılırlar. Balatada içerisinde kullanılan takviye edici elyaflar; balatanın yapısını güçlendirerek balataya mekanik dayanım sağlarlar.

a. Takviye Edici Elyaflar

i. Cam elyaflar

Cam elyaflar, seramik elyaflar gibi, ısıl iletkenliği azaltırken, yüksek sıcaklık dayanımını ve sürtünme katsayısını iyileştirirler. Cam elyaflar, balatalarda değişik boyutlarda ve oranlarda kullanılır. Mukavemet/ağırlık oranı yüksektir. Alüminyum alaşımlarına göre elastiklik modülleri büyük olurken, grafit ve aramit elyaflara göre düşüktür. Ucuz olmaları nedeniyle, ekonominin ön plana çıktığı uygulamalarda avantaj sağlarlar. İç yapıları amorf haldedir ve izotropik olarak düşünülürler. Cam elyafla kuvvetlendirilmiş plastiklerin rijitlik/yoğunluk oranı, metallerin

rijitlik/yoğunluk oranlarına göre daha düşüktür. Bu özellik, yapı malzemesi olarak kullanılmayı sınırlanan en önemli özelliktir. Cam elyafı yüksek kimyasal dirence sahiptir.

Cam elyafı genellikle 1500-1550 ºC sıcaklıkta eritilmiş cam karışımının basınçlı hava ile sıkıştırılması sonucu özel olarak yapılmış bölmelerden aşağı akıtılarak elde edilir. Bu işlem sırasında dolamit ve alümina katılarak istenilen fiziksel özelliklerde, çekilerek, çekim hızına bağlı 10-15 µm arası kalınlıklara sahip elyaflar elde edilir. Liflerin yoğunluğu 2,5-2,54 gr/cm^3 arasında değişir (Mutlu, Öner 2002). Cam elyafın ısıl iletkenlik katsayısı 0.04 W/mK dir (Holman 2002).

Camın ısıl genleşme katsayısı birçok plastikten, alüminyum ve çelik alaşımlarından daha düşüktür. Bundan dolayı cam elyafla kuvvetlendirilmiş plastiklerin ısıl genleşme katsayılarının düşürülmesi yönünde önemlidir ki, bu durumda malzeme boyutsal olarak daha kararlı (stable) hale geçer. Sıcaklık artarsa cam elyafların sünme direnci ve rijitliği azalır. Buna rağmen faydalı kullanım sıcaklığı yüksektir, cam 500 °C'ye kadar yumuşamaz.

Cam elyafları, E ve S ile gösterilen en önemli iki tipi yaygın olarak kullanılır. Üçüncü tipi de C (Corrosion Resistant) camıdır. E harfi elektriğe karşı dirençli (Electricity Resistance) olduğunu, S harfi kuvvetlere karşı dirençli (Strenght Resistance) olduğunu ve C harfi de korozyona karşı dirençli (Corrosion Resistance) olduğunu belirtir. Kompozit malzemelerde en yaygın olarak kullanılan cam elyaf, E camıdır. Şekil 3.1'de çekilmiş E-camı gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Kırpılmış E-Camı

ii. Bor elyaflar

Bor elyaflar, çok fazlı malzemeler grubuna girerler. Bu fazların bir veya bir kaçı kristal yapıdadır. Çok fazlı malzemeler grubuna bor, bor karbit, silikon karbit ve boritler de dahil edilirler. Bor elyaflar 3,45 GPa gibi üstün gerilme mukavemeti değerine ve 414 GPa elastiklik modülüne sahiptirler. Yoğunluğu, 2,6 g/cm^3 olmakla camlara yakındır. Bor elyafların özgül mukavemetleri camınkinden beş kat daha fazladır. Hatta metalik flamanlarınkinden de büyüktür. Berilyum bu durumda istisadır. Her ne kadar berilyum ve borun özgül modülleri birbirine yakınsa da berilyumun özgül mukavemeti borunkinin 1/3'ü kadardır.

Borun erime noktası 2050 °C'dir. Oldukça sert ve kırılgan bir malzemedir. Bu yüzden bor fiberlerin üretimi alışılmış fabrikasyon yöntemlerle pek uygun değildir. İleri kompozit malzemelerde kullanılan bor elyaflar kimyasal buhar kaplama yöntemiyle üretilirler. Bu işlemdeki bor buharı bor hidritlerin ısıl parçalanmasıyla bor ve hidrojen buharına dönüştürülerek elde edilir. Elde edilen bor buharı bir örnek üzerinde yoğuşturulur. Örnek malzemenin yüksek erime sıcaklığı ve yüksek ısıl kararlılığa sahip olması gerekir.

Kompozit malzemelerde kullanılan bor elyafların ortalama çapları 0,1 cm.'dir. Bor elyaflar ile epoksi veya polimit gibi reçine matrisler arasında birleşme bağları oldukça yüksek mukavemetlidir. Bor flamanlar yüksek sıcaklıklarda metallerle reaksiyona girebildikleri için alçak sıcaklıklarda eriyen metallerle kullanımları kısıtlıdır.

iii. Kynol elyaflar

Kynol Novaloid elyafları, kürlenmiş fenol-aldehit elyaf ve filamanlarıdır. Kendine özgü önemli avantajları, yüksek sıcaklık dayanımlarının yanında minimum duman emisyonu ve zehirli gaz (HCN veya halojen gibi) çıkarmamalarıdır. Asitlere beyazlatıcılara, çözücülere, yakıtlara ve diğer kimyasal maddeler ile bunların buharlarına karşı dirençlidirler. –196 °C'ye kadar elektrik ve ısıl iletkendirler.

Kynol karbon elyafları, iplikçikleri, dokunmuş kumaşları ve keçeleri amorf yapıdadır. Bu nedenle bazı yüksek modüllü ve yüksek dayanımlı karbon elyaflara göre daha düşük modüle ve normal seviyede dayanıma sahiptir. Dokunmuş kynol karbon yapıları özellikle yüksek performans gerektiren uygulamalarda kullanılır. Şekil 3.2' de kynol elyaf gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Kynol elyaf

iv. Taş yünü

Bazalt, diyabaz, dolomit gibi kayaların ergitilerek püskürtüldükten ve bakalit ile karıştırılıp daha sonra özel işlemlerden geçirilmesi sonucu elde edilen mineral yün çeşididir. Taş yünü piyasada kaya yünü ve rockwool olarak ta bilinir. Şekil 3.3' de taş yünü gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Taş yünü

v. Metalik elyaflar

Metal takviyeli balata üretiminde kullanılan metal elyaflar yüksek erime noktasına ve aşınma direncine sahip oldukları için düşük oranlarda tercih edilirler. Balata içerisinde kullanım oranı arttıkça fren diskinin aşınma oranının artmasına neden olurlar. Bu elyaf tipleri çalışma esasında normalden fazla ses çıkarırlar. Metal elyaflar 1000ºC nin üstündeki sıcaklıklara karşı dayanabilmektedir (Chan, Stachowiak 2004). Metalik elyaflar, ve metalik sürtünme düzenleyiciler yüksek sıcaklıklarda dayanımı ve sürtünme katsayısını iyileştirirler. Isıl homojenizasyon ve malzeme sünekliği üzerinde olumlu etkileri vardır.

vi. Kevlar elyafı

Kevlar, çok hafif karbon kökenli çok sağlam liflerden oluşan organik elyaf grubuna giren aramit elyaflardır. Aramit elyaflar, balataların mukavemetini ve aşınma dayanımını iyileştirir. DuPont'un Kevlar® aramit elyafları gibi poli (p-fenilen tereftalamit) elyaflar, hafifliğinin yanında çok iyi mekanik özellik gösterebilmektedirler. Aramit elyafların performanslarının yüksek olması, mikro yapılarından kaynaklanmaktadır. Kevlar, lastik lifleri olarak da kullanılabilir. Bu faydalı özelliklerinden dolayı balistik dayanım gerektiren alanlarda ve helikopter pervanelerinde uygulama alanı bulmuştur. Dupont firması tarafından geliştirilen kevlar, Kevlar 29 ve Kevlar 49 olmak üzere iki farklı özelliklerde piyasaya sunulur. Kevlar-49'un elastiklik modülü daha yüksektir ve yüksek rijitliğinden dolayı takviye elemanı olarak daha yaygın kullanılır. Çizelge 3.1'de kevlar elyafının teknik özelikleri verilmektedir.

Çizelge 3.1: Kevlar Elyafının Teknik Özellikleri (Kevlar Techical Guide, 1992)

Özellik	**Kevlar 29**	**Kevlar 49**
Yoğunluk	1.44 gr/cm^3	1.44 gr/cm^3
Kopma dayanımı	2920 MPa	3,000 MPa
Gerilme modülü	75000 MPa	112400 MPa
Isıl iletkenlik	0.04 W/mK	0.04 W/mK
Deformasyon Sıcaklığı	427-482 ºC	427-482 ºC
Tercih edilen çalışma sıcaklığı	140-177 ºC	140-177 ºC

Şekil 3.4’ de balata imalatında kullanılabilen, kırpılmış kevlar elyafı gösterilmektedir.



Şekil 3.4: Kırpılmış kevlar elyafı

vii. Karbon elyaflar

Karbon fiber malzemeler genellikle CFRC (Carbon Fiber-Reinforced Carbon) olarak adlandırılır. Grafit fiber olarak da adlandırılan karbon fiberler içerisinde son derece küçük çapta (0.005–0.010 mm) karbon atomlarından oluşan fiberler içeren materyallerdir. Bu yapılarda karbon atomları birbirine mikrokristal yapıda bağlıdırlar ve fiber eksene boyunca dizilidirler. Bu diziliş fiberin, yüksek özgül dayanım, sertlik, kendi yağlama özelliği, düşük termal genleşme katsayı ve göze çarpan derecede ısıya dayanım gibi özelliklere sahip olmasını sağlar.

Değişik çalışma sıcaklıklarında karbon fiber balatalar içerisindeki karbon fiber oranları arttıkça balata ile disk arasındaki sürtünme katsayısı ve aşınma değerlerinin artar (Guan ve ark., 2004).

Karbon fiberlerin en önemli dezavantajlarından biri 320ºC’de oksidasyona uğramalarıdır (Windhorst, Blount, 1997). Yüksek sıcaklıklarda oksitleyici ortamdan korunmalıdır. Bunun için ya inert (soy) bir ortamda kullanılmalı (balataların kullanım ortamı inert değildir) ya da yüzeyi oksitlenmeye karşı kaplanmalıdır. Şekil 3.5’ de balata imalatında kullanılabilen toz karbon gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Toz karbon

viii. Seramik elyaflar

Seramik elyaflar genellikle alüminyum oksit gibi metal oksitlerden imal edilen elyaflardır. Yüksek termal dayanımları (1850-3000ºC), hafif olmaları ve yüksek dayanımı sahip olmaları onları sürtünme kompozitlerinde takviye malzemesi olarak kullanılmaya uygun hale getirmektedir (Chan, Stachowiak 2004). Balata içerisinde kullanılan seramik elyaflar balatanın sürtünme özelliklerini geliştirir. Disk ile balata arasındaki sürtünme katsayısı neredeyse balata içerisinde bulunan seramik elyaf oranında artar. Ayrıca balata içerisinde bulunana seramik elyafları aşınma oranlarını 250^0C 'ye kadar stabil kalmasını sağlar. Bu değerin üstündeki sıcaklıklarda aşınma oranları artar. Bu olay fenolik reçinenin bu sıcaklık üzerinde bağlayıcılık özelliğinin yitirmesinden kaynaklandığına dayandırılır (Matejka ve ark., 2008).

ix. Asbest elyafı

Asbest, hidratlanmış magnezyum silikattır $Mg_3SiO_5(OH)_4$. Balatalarda ağırlıkça %30-70 gibi geniş bir aralığında kullanılmıştır. Asbestin pozitif karakteristikleri; 500 °C'ye kadar ısıl olarak kararlıdır, kullanım esasında sürtünme yüzeyinin yeniden toparlanmasını sağlar, ısıl yalıtkandır, aşınma özelliği iyidir, ekonomiktir, elyaf yapısını 1400 °C'lere kadar korur, çekme dayanımı yüksektir, kimyasal ve ısıl kararlılığı yüksektir, elektrik iletkenliği düşüktür, elastisitesi yüksektir. Asbestin kanserojen bir madde olması en büyük dezavantajıdır. Bu nedenle 1920'lerden bu yana kullanımı yasaklanmıştır. Şekil 3.6' da asbest elyafı gösterilmektedir.



Şekil 3.6: Asbest elyafı

b. Bağlayıcılar

i. Fenolik reçine

Fenolik reçine genelde, fenol ve formaldehitten imal edilir. Bakalit (bakalite) olarak bilinen fenol ve formaldehit reçineleri, ısı ve basınç altında kalıplandıklarında, iyi ısıl ve kimyasal direnç, iyi elektrik kuvveti, iyi boyutsal kararlılık ve düşük maliyette kalıplaşabilme özelliğine sahip olurlar. Termoset reçine grubuna giren fenolik reçine genellikle yüksek basınç altında ve 140-180 ºC sıcaklıklarında kürlenir (Sulaiman ve ark., 2008). En yaygın ve kuvvetli bağlayıcıdır. Çok fazla kullanıldığında yüksek sıcaklıklarda sürtünme katsayısında büyük oranda düşmeye neden olur. Polimer çapraz bağlanma derecesi, sürtünme davranışını etkiler (Spurr 1972). Şekil 3.7’ de toz haldeki fenolik reçine gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Fenolik reçine (toz)

ii. Siyanat ester

Siyanat ester bifenol veya novalac türevi temelli bir kimyasal maddedir. Siyanat ester sıcaklıkla sertleşebilen bir maddedir. Siyanat esterde diğer termosetler

gibi çok yüksek sıcaklıklarda camlaşır, düşük dielektrik sabitine sahiptirler. Siyanat ester yüksek sıcaklık ve kimsayal tepkimelere karşı dirençli bir maddedir. Çalışma esasında balatada meydana gelen titreşimleri sönümleme özelliğine sahiptir (Chan, Stachowiak 2004).

iii. Epoksi takviyeli reçine

Epoksi, termosetler grubundan yapıştırıcı bir kimyasal reçinedir. Suya, aside ve alkaliye direnci çok iyidir, zamanla direnç özelliğini yitirmez. Epoksi, termosetler grubundan yapıştırıcı bir kimyasal reçinedir. Ayrıca epoksi reçinenin sıcaklık direnci fenolik reçineden daha iyidir. Şekil 3.8' de epoksi reçine gösterilmektedir.



Şekil 3.8: Epoksi reçine

c. Dolgu Maddeleri

Dolgu malzemeleri, sürtünme malzemelerinin kompozit yapısını tamamlarken, çeşitli fonksiyonları ile katkıda bulunurlar. Metalik, alaşım, seramik veya organik olabilirler.

i. Barit

Barit ($BaSO_4$) baryum sülfattan oluşan bir mineraldir. Genellikle beyaz ya da renksizdir, bazen de sarı ve gri olabilir. Yoğunluğu 4.2-4,48 g/cm^3 dür. Düşük maliyetli olduğu için balata endüstrisinde dolgu malzemesi olarak kullanılır. Barit

balatanın sürtünme katsayısını frenleme hızına bağlı olarak negatif şekilde etkilemektedir (Kim ve ark., 2004). Şekil 3.9’ da barit gösterilmektedir.



Şekil 3.9: Barit

ii. Kalsiyum karbonat

Kalsiyum karbonat, halk arasında kireç taşı olarak bilinen bir tür kimyasal bileşiktir. Bileşik formülü $CaCO_3$ şeklindedir. Baritin ucuz bir alternatifidir. Fakat yüksek sıcaklıklarda barit kadar kararlı davranış gösteremezler Kalsiyum karbonat plastiklerde sıklıkla dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kullanıldığı yere göre kompozitin mekanik dayanımını, elektriksel direncini ve rijitliğini artırmaktadır. Ayrıca atmosfer basıncı altında kalsiyum karbonat 898ºC de ayrışarak karbon dioksit gazı açığa çıkarır. Kalsiyum karbonat düşük maliyetinden ve yüksek sıcaklıklara dayanımından ötürü balata sektöründe de dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.10’ da kasiyum karbonat gösterilmektedir.



Şekil 3.10: Kalsiyum karbonat

iii. Mika

Mika, formülü FeO(OH) olan bir demir hidroksittir. Mika, çok kolay dilimlenebilen yapraksı bir silikat grubuna verilen isimdir. Özgül ağırlığı 2.7 ile 3.1 arasında değişmektedir. Mosh sertliği ise 2 ila 3 arasındadır (Vaccari, Brady, Clauser, 2002). Mika, ısıya karşı çok dayanıklı bir mineraldir. Bu nedenle fren balatalarında dolgu malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.11' de mika tozu gösterilmektedir.



3.11: Mika (toz)

iv. Vermikülit

Vermikülit, mikanın doğal aşınmasıyla oluşmuş magnezyum alümino slikat kil mineralidir. Sadece inorganik dolgu malzeme kategorisine girmez, tabakalı yapılarından dolayı yumuşak katı yağlayıcıları sınıfına da girer. Ayrıca elyaf yapıda olan vermikülit, takviye malzemesi olarak da kullanılır. Kompozit içinde ince pulcuklar halinde dökülmüş vermikülit, ısıl olarak kararlı ve son derece soy davranış gösteren dolgu malzemesidir. Ham vermikülit, aniden ısınmaya maruz kalırsa, lameller arası buhar oluşur, partikül boyutları 15-30 kat artar. Bu durumda malzemenin genleşmesi bozulur. Vermikülitin ince pulcuk hali yerel gerilmeleri abzorbe edebilme yeteneğinden dolayı kırılma direnci yüksektir. Isıl ve akustik izolatördür. Korozyona ve yanmaya karşı direnci yüksektir ve hafiftir. Şekil 3.12' de balata üretiminde kullanılan vermikülit gösterilmektedir.



3.12: Toz vermikülit

v. Potasyum titanat

İnert dolgu malzemesidir. Yalıtkandır ve asbestin etkisine alternatif olarak yapıya eklenir (Jang, Kim, 2000). Erime noktasının 2227°C olması nedeniyle 1927°C çalışma şartlarına dayanabilmektedir. Şekil 3.13' de potasyum titanat gösterilmektedir.



Şekil 3.13: Potasyum titanat

vi. Talk

Talk, $H_2Mg_3(SiO_3)_4$ yada $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ kimyasal formülüne sahip, hidratlanmış magnezyum silikadan oluşan bir mineraldir. Talk doğada yaygın olarak Amerika'nın batısı, Batı Avrupa İtalya ve Himalayalarda bulunur. Kompozit malzemenin fiyatını düşürür, elastiklik modülünü, sünme direncini artırır, yüzey

kalitesini iyileştirir, imalat aşamasındaki şekillenme süresini, ısıl genleşme katsayısını düşürür. Şekil 3.14’ de talk gösterilmektedir.



3.14: Talk

d. Sürtünme Düzenleyiciler

Sürtünme malzemeleri arasındaki sürtünme katsayısını iyileştirmek için kullanılırlar. Katı yağlayıcılar ve abrazifler olarak iki gruba ayrılır.

i. Katı yağlayıcılar

Katı yağlayıcılar, özellikle dökme demir olan karşı yüzey ile sürtünen ara yüzeyde çalışan TBL (third-body layer) üçüncü-gövde katmanı formasyonununa katkıda bulunurlar. Ara yüzeyin değişik sıcaklığa karşı sürtünme kararlılığını sağlarlar. Kayma-yapışma etkisini minimize veya optimize ederek balataların aşınma oranını düşürür. Sıcaklık aralığına bağlı olarak her bir yağlayıcı tek başına etkin olarak çalışabilir. Ancak ağır şartlar için tasarlanan yüksek enerji balatalarından seçilen yağlayıcılardan oluşan kombinasyon, verilen işletme rejimi aralığında özelliklerini koruyarak daha etkin çalışabilir.

Fren balatalarına katı yağlayıcı eklenmesinin bir dezavantajı, kompozit malzemelerin yüke dayanma kabiliyetini azaltmasıdır. Bu negatif etki, malzemeye eklenen elyaf takviyeler ile telafi edilebilir.

En yaygın kullanılan katı yağlayıcılar şunlardır;

1. Grafit

Grafit, yumuşak, yağlı, siyah renkli bir katı maddedir. Grafit çok yüksek sıcaklıklara dayanabilir, ayrıca çok iyi bir elektrik iletkenidir. Yoğunluğu 2.09–2.23 g/cm³, mosh sertliği 1-2 arasında değişmektedir. Maliyeti oldukça düşüktür ve temin edilebilirliği kolay bir maddedir. Grafit, taşıt balatalarında balata ile disk arasında katı yağlayıcılık yaparak stabil bir sürtünme katsayısı oluşturulmasında yardımcı olmaktadır. Şekil 3.15' de toz haldeki grafit gösterilmektedir.



Şekil 3.15: Toz grafit

2. Metal sülfid

Metal sülfidler 550ºC de eriyen, iyi bir yağlama özelliği olan bir maddedir. Metal sülfidlerin öz iletkenliği grafitten daha düşüktür. Bu özelliği sayesinde frenleme esasında oluşan ısıyı fren sisteminden uzak tutar. Böylece fren hidroliği gibi fren sistemi malzemeleri yüksek sıcaklıklardan korunmuş olur (Chan, Stachowiak 2004). Şekil 3.16' da metal sülfid gösterilmektedir.



Şekil 3.16: Metal sülfid

ii. Abrazifler

Abrazifler (aşındırıcılar), matlaşan sürtünme yüzeyinin temiz kalmasını sağlarlar ve sürtünme film yüzeyinin etkisini kaybetmesini engellerler. Ayrıca, özellikle yavaşlamanın başlama sürecinde sürtünmeyi artırırlar. Bu durum, ani frenlemenin gerektiği durumlarda negatif ivme etkisini artırarak bir avantaj sağlar. En yaygın kullanılan abrazifler şunlardır;

1. Alüminyum Oksit

Aşınma dayanımı ve yüzey parlatıcı olarak hidratlanmış olarak katılır, ancak fade etkisine (frenleme nedeniyle ısınan balatanın performansında düşme etkisine) neden olabilir. Susuz hali, daha aşındırıcıdır. Birleştirilmiş hali en aşındırıcı olanıdır. Şekil 3.17’ de alüminyum oksit gösterilmektedir.



Şekil 3.17: Alüminyum oksit

2. Demir Oksit

Hematit (Fe_2O_3) ve magnetit (Fe_3O_4) yumuşak aşındırıcılardır. Şekil 3.18’ de çeşitli renklerde demir oksit tozları gösterilmektedir.



Şekil 3.18: Çeşitli renklerdeki demir oksitler

3. Metal oksit

Metallerin oksijen ile oluşturdukları bileşiklere metal oksitler denir. Metal oksitlerden Bakır oksit (Cu_2O) 1325ºC'de, Çinko oksit (ZnO) 1800ºC'de erir. Metal oksitler yüksek erime sıcaklıklarına ve sertliğe sahip oldukları için fren balatalarında sürtünme düzenleyiciler olarak kullanılırlar.

e. Yeni Nesil Sürtünme Materyalleri

Endüstriyel ürünlerde kullanımı yaygınlaşmaya başlayan nano teknoloji sayesinde çok daha spesifik özelliklerde ürünler üretilebilmektedir. Nano- teknoloji ultra ince/küçük malzemelerin kullanım birimidir. Malzemeler nano ölçekte, iri boyuttan çok farklı özellik ve davranışlar gösterirler. Nano malzemeler daha kuvvetli, daha hafif veya daha farklı şekilde ısı ve elektrik iletme özelliklerine sahiptir. Bu gibi nedenlerle nano teknoloji sürtünme materyallerinde de kullanılmaya başlamıştır. Literatürde Nano-graphit (grafit), Nano-filler (kauçuk vb dolgu malzemeleri), Nano-phenolic resin (fenolik reçine) gibi nano malzemelerin sürtünme materyallerinde de kullanılabildiği görülmektedir. Literatürde özellikle nano-grafit'in otomatik vites kutusu sürtünme materyallerinde kullanımının yaygın olduğu görülmüştür.

Zhang ve Dong 2009 yılında yaptıkları bir araştırmada %2 oranında nano-dolgu malzemesi kullanarak bir balata geliştirmişlerdir. Zhang ve Dong (2009)' a

göre balata içerisinde kullanılan bu nano-dolgu malzemesi balatanın 250ºC sıcaklıktan sonra sürtünme katsayısını artırmaktadır.

Yigun ve ark. 2006 yılında yaptıkları araştırmada 100-200 nm boyutlarında ve %5 oranında nano kauçuk tozları kullanarak bir balata formülü geliştirmişlerdir. Yigun ve ark. (2006)' na göre balata içerisinde kullanılan bu nano kauçuk tozları balatanın değişken sıcaklıklar altında sürtünme katsayısının stabil kalmasını sağlamakta ayrıca aşınma oranınında düşmesine neden olduğunu ve iyi bir sürtünme malzemesi olabileceğini kanıtlamıştır.

Nano malzemeler kullanıldığı ortama göre malzemenin yapısal özelliklerini çok fazla değiştirse de günümüzde yüksek üretim maliyetinden ötürü otomotiv fren teknolojisinde kullanımı yaygın değildir. İlerleyen yıllarda bu teknolojinin ucuza mal edilebileceği düşünülürse gelecekte sürtünme malzemelerinde nano teknoloji kullanımının yaygınlaşacağı kaçınılmaz bir gerçektir.

4. MATERYAL ve METOT

a. Malzeme Seçimi

Bu çalışmada balata üretiminde takviye edici malzeme olarak kullanılabilen cam elyafı kullanım oranının balatanın sürtünme performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Balata üretiminde yaygın olarak kullanılan, maliyeti düşük, üretilebilirliği ve temin edilebilirliği kolay olan malzeme grupları tercih edilmiştir. Numune balataların üretilmesinde takviye edici elyaf olarak cam elyaf, bağlayıcı olarak fenolik reçine, dolgu malzemeleri olarak baryum sülfat (barit), vermikülit ve sürtünme düzenleyici olarak grafit ve alüminyum oksit (alümina) malzemeleri tercih edilmiş ve bu malzemeler kullanılarak baz bir formül geliştirilmiştir. Kullanılan malzemelerin teknik ve fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1: E-Cam elyafının özellikleri

Özellik	**Değer**
Cam Tipi	E
Elyaf Çapı	13 µm
Akma Özellikleri	Çok iyi
Nem Miktarı	% 0,07
Reçine Uyumu	Fenolik
Kırpılma Boyu	~1 mm
Yoğunluk	2,54 gr/cm^3
Mosh Sertliği	6.5
Çekme Mukavemeti (22 ºC'de)	3448 MPa
Çekme Mukavemeti (371 ºC'de)	2650 MPa
Elastisite Modülü	72,4 GPa
Kopma Uzaması	% 4,8
Özgül Isı	0,197 kJ/kgK
Yumuşama Sıcaklığı	841 ºC

Çizelge 4.2: Fenolik reçine özellikleri

Özellik	**Değer**
Saflık	% 90
Max granül boyutu	63 µm
Max fenol miktarı	% 0,5

Çizelge 4.3: Barit'in özellikleri

Özellik	Değer
Saflık	% 92
Kızdırma kaybı	% 2,5
Yoğunluk (gr/cm^3)	4,2 gr/cm^3
Granül boyutu	~55 µm
Nem Miktarı	% 0,5

Çizelge 4.4: Vermikülit'in özellikleri

Özellik	Değer
Granül boyutu	~0,90 mm
Yoğunluk	~100 kg/m^3
Renk	Sarı, şeffaf
Isı iletkenliği	0,064 w/mK
Sinterleme sıcaklığı	1200 ºC
Ateşe dayanıklılık	Yanmaz
Kristal biçimi	Levhamsı, plaka şekilli kristaller halinde

Çizelge 4.5: Grafit'in özellikleri

Özellik	Değer
Saflık	% 85
Elek analizi	200 mesh
Nem	% 1,5

Çizelge 4.6: Alümina'nın özellikleri

Özellik	Değer
Saflık	% 98,5
Yoğunluğu	3,45 gr/cm^3
Elek analizi	250 mesh
1000 ºC'deki ateş zaiyatı	% 1

b. Baz Formülün Belirlenmesi

Literatür çalışmalarında balata üretiminde kullanılan malzeme gruplarının ağırlıkça yüzdesel dağılımı incelendiğinde, takviye edici elyafların ağırlıkça %20-25, bağlayıcıların %20-25, dolgu malzemelerinin %35-50 ve sürtünme düzenleyicilerinin de %5-10 civarlarında kullanıldığı görülmüştür (Blau 2001).

Balatanın baz formülünün oluşturulmasında literatür çalışmalarından ve balata üreticilerinin deneyimlerinden faydalanılmış, birkaç üretim denemesi yapıldıktan sonra baz formülün aşağıda belirtildiği şekilde olmasının uygun olacağı belirlenmiştir. Çizelge 4.7.'de baz formülü oluşturan kompozisyon verilmiştir.

Çizelge 4.7: Baz formülün kompozisyonu

Fonksiyon	**Malzeme**	**(Ağırlıkça %) Miktar**
Matris	Fenolik Reçine	20
Dolgu	Barit	40-65
	Vermikülit	2
Takviye edici elyaf	Cam Elyaf	0-25
Sürtünme Düzenleyici	Grafit	8
	Alümina	2

Cam elyafının ağırlıkça oranını % 5 değiştirerek, %0 ila %25 arasında cam elyaf içeren, 6 grup balata üretilmiştir. Elyaf oranının değişimiyle dolgu malzemelerinden barit dengeleme malzemesi olarak kullanılmıştır. Diğer malzemelerin oranları üzerinde oynama yapılmamıştır. Genellikle literatürlerde çoğunlukla etkileri belirlenmek istenen malzeme üzerinde oran değişiklikleri yapılmış, dengeleyici olarak balatanın özelliklerini etkilemeyecek dolgu malzemeleri tercih edilmiştir (Mutlu ve ark., 2007).

Numune grupları içerdikleri cam elyaf oranını belirtecek şekilde 0CE, 5CE, 10CE, 15CE, 20CE ve 25CE olarak kodlanmıştır. Çizelge 4.8' de numune grupları ve kompozisyonları hakkında bilgiler verilmektedir.

Çizelge 4.8: Numune gruplarında kullanılan malzemeler ve kütlesel oranları (%)

Malzemeler	**Kompozisyon İçerisindeki Oran (Ağırlıkça, %)**					
	0 CE	**5 CE**	**10 CE**	**15 CE**	**20 CE**	**25 CE**
Cam elyaf	0	5	10	15	20	25
Fenolik reçine	20	20	20	20	20	20
Barit	65	60	55	50	45	40
Alümina	5	5	5	5	5	5
Vermikülit	2	2	2	2	2	2
Grafit	8	8	8	8	8	8

Deneysel sonuçların doğruluğunu arttırmak için her bir grup balatadan 5 adet olmak üzere toplam 30 adet balata üretilmiş ve test edilmiştir.

c. Karışımın Hazırlanışı ve Numunelerin Üretimi

Üretim esasında malzeme oranlarını belirlemede hesaplama kolaylığı sağlaması için kütlesel oran esas alınmıştır. Balata kompozisyonlarını elde etmek için malzemeler hassas terazi ile karışım oranlarına göre tartılmıştır. Malzemeler daha sonra mikser ile 1'er dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işleminde cam elyafının mikser içerisine en son katılmasına dikkat edilmiştir. Bunun sebebi cam elyafının kırılgan yapıya sahip olması ve karıştırma işlemi esasında deforme olmaya yatkın olmasıdır.

Cam elyafı yalıtkan bir malzeme olduğu için karıştırma esasında meydana gelen elektrostatik yüklenmeden ötürü birbirlerine tutunmakta, bu da karışımın homojen olmasına engel olmaktadır. İdeal bir balata karışımında karışımın homojen olması gerektiği bilinmektedir. Literatürde cam elyafının karıştırılması esasında meydana gelen elektrostatik yüklenmeyi önlemek için karışım içerisine %4-5 oranlarında metil alkol, karışıma püskürtülerek ilave edilmiştir (Mutlu ve Öner, 2002). Bu çalışmada da bu yöntem kullanılmıştır.

Karışımın sahip olduğu nem balata performansını olumsuz etkilediği bilinmektedir. Karıştırma işleminden sonra karışımdaki alkol ve nemin buharlaşması için numuneler 50 ºC sıcaklık altında 10 dk nem alma işlemine tabi tutulmuşlardır. Nem alma işleminden sonra karışımlar kalıba dökülmüş ve kalıplama işlemine geçilmiştir.

Geliştirilen balata kompozisyonunda bağlayıcı olarak fenolik reçine seçildiği için üretim metodu olarak presle pişirme metodu kullanılmıştır. Deney numuneleri 10 mm kalınlık ve 20 mm çapında silindirik bir kalıp içerisinde üretilmişlerdir. Şekil 4.1'de üretilmiş numunenin fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4.1: Çapı 20mm, boyu 10mm boyutlarındaki numune

Balata üretim işlemi esasında malzemeler kadar üretim parametrelerinin de balata performansını etkilediği bilinmektedir. Kalıplama esasında kompozisyona uygulanacak basınç, sıcaklık ve süre bu parametrelerden en önemlileridir. Literatürde balata kompozisyonuna göre uygulanacak sıcaklık, basınç ve süre ile ilgili temel bilgiler mevcuttur.

Presleme parametrelerinin belirlerken üretici firmanın deneyimleri ve deneme üretimi sonuçları göz önüne alınmıştır. Birkaç aralıkta üretim denemeleri yapılarak presleme basıncının 100 Bar, sıcaklığın 150ºC ve presleme süresinin 20 dk olmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Presleme işleminden sonra numune içerisinde bulunan fenolik reçinenin bağlayıcılık özelliğini iyileştirmek için numuneler 250ºC sıcaklıkta 1 saat boyunca kürleme işlemine tabi tutulmuştur.

d. Test Cihazlarının Tanıtımı ve Numunelerin Teste Hazırlanışı

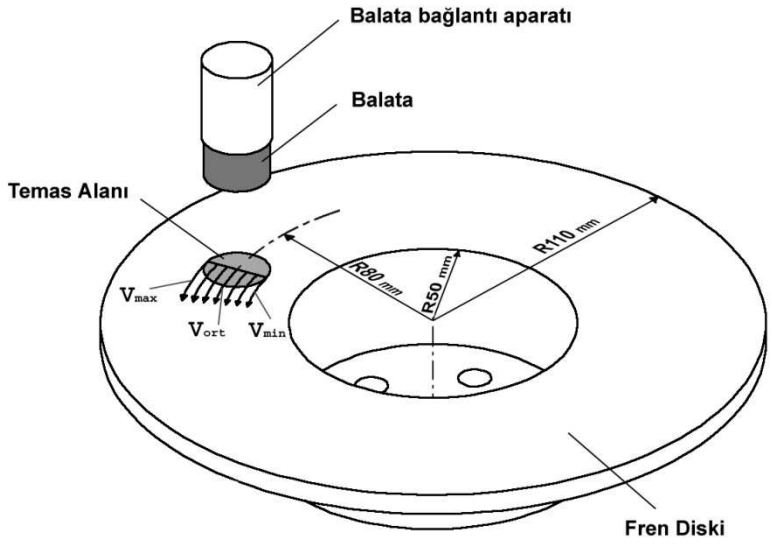
Sürtünme Test Cihazı; Numune balatalarının sürtünme özellikleri METİSAFE firması laboratuarında, firma personeli tarafından özel olarak geliştirilmiş, Şekil 4.2’ de gösterilen deney setinde, TS 9076 kodlu balata test standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deney seti elektrik motoru, hız kontrol

cihazı, fren sistemi ve ölçümleri yapabilmek için dijital basınçölçer, termometre ve torkmetre gibi ölçü aletlerine sahiptir. Deney esasında fren diskinin devri, frenleme basıncı, frenleme torku, sürtünme katsayısı ve sıcaklık deney seti üzerindeki göstergelerden okunabildiği gibi kayıt altına da alınabilmektedir.



Şekil 4.2: Sürtünme test cihazı

Aşağıda balata bağlantı şeklinin şematik görünümü ve standarttan test cihazına yapılan uyarlamalar hakkında bilgiler verilmiştir.



Şekil 4.3: Test cihazı diski ve balata bağlantı şeklinin şematik görünümü

TS 9076 numaralı balata numunelerinin sürtünme özelliklerini ve deney şartlarını belirleyen standartta testler 280 mm iç çapa sahip kampana için 310 ve 420 rpm kampana devirlerinde, yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada kullanılan test cihazında 160 mm ortalama temas çapına sahip fren diski kullanıldığı için gerekli devir düzenlemelerinin yapılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Aşağıda bu düzenleme ile ilgili bilgiler verilmektedir.

TS 9076 standardına göre 310 ve 420 rpm devrine karşılık gelen çevresel hızlar;

$$\omega = (n * 2 * \pi * r)/60 \qquad \text{(m/s)} \qquad [1]$$

Burada "ω" kampananın çevresel hızını (m/s), "n" kampana devrini (rpm), "r" kampana yarı çapı (m)'dır.

310 rpm kampana devri ve 0,14 m kampana yarıçapı değerlerini [1]'de yerine yazarsak;

$$\omega_{310} = (310 * 2 * \pi * 0{,}14)/60$$

$$\omega_{310} = 4{,}54 \text{ m/s}$$

olarak bulunur.

420 rpm kampana devri ve 0,14 m kampana yarıçapı değerlerini [1]'de yerine yazarsak;

$$\omega_{420} = (420 * 2 * \pi * 0{,}14)/60$$

$$\omega_{420} = 6{,}16 \text{ m/s}$$

olarak bulunur.

Deney numunelerinin temas yüzey alanı dairesel olduğu için fren diskinin devrinin hesaplanmasında etkin yarıçap olarak dairenin ağırlık merkezi dikkate alınabilir. Buna göre [2]'deki denklemde ω değerleri ve disk temas yarıçapı olarak 0,08 değerleri yeni yazılacak olursa disk devirleri;

$$n = (\omega * 60)/(2 * \pi * r) \qquad \text{(rpm)} \qquad [2]$$

$$n_1 = (4{,}54 * 60)/(2 * \pi * 0{,}08)$$

$n_1 = 542$ rpm

$$n_2 = (6{,}16 * 60)/(2 * \pi * 0{,}08)$$

$n_2 = 736$ rpm

olarak bulunur.

Numunelerin temas alanını da hesaplamak gerekirse;

$$A = (\pi * D^2)/4 \qquad (\text{mm}^2) \qquad [3]$$

Numunenin çapı 20 mm [3]'de yerine yazılırsa;

$$A = (\pi * 20^2)/4$$

$A = 314$ mm^2

olarak bulunur.

Numuneler sürtünme testine hazırlanırken test cihazının diski, her bir numune ile teste başlamadan önce, orta derece bir zımpara ile daha sonra su zımparası ile zımparalanmıştır. Bu işlem balata ile disk arasındaki uyumu sağlamak ve sağlıklı bir test sonucu elde etmek için yapılmıştır.

Zımparalama işleminin ardından sırasıyla, numuneler bağlantı aparatı ile test cihazına bağlanmıştır. Numuneler 7 bar frenleme basıncı altında 4,54 m/s'lik çevresel hıza denk gelecek disk devrinde ve 100ºC yi aşmayacak şekilde, sürtünme katsayısı sabit hale gelinceye kadar alıştırma işlemine tabi tutulmuşlardır. Böylece numune yüzeyleri sürtünme testine hazır hale getirilmiştir.

Basma Test Cihazı; Basma testleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalürji Eğitimi Bölümü Mekanik Ölçüm Laboratuarında, MFL SYSTEME marka test cihazında yapılmıştır. Cihaz 20.000 kPa kapasitede basma ve çekme testleri yapabilmektedir. Cihaz basma/çekme hızının ayarlanmasına imkan vermektedir. Ölçüm değeri cihaz üzerinde bulunan göstergeden doğrudan okunabilmektedir.

Sertlik Test Cihazı; Sertlik testleri Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Mekanik Ölçüm Laboratuarında, Rockwell, Brinell ve Vikers ölçme sistemlerine göre ölçüm yapabilen HOYTOM marka test cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçüm cihazı malzeme üzerine 3 kgf'den 187,5 kgf'e kadar yükleme yapabilmektedir. Test cihazının fotoğrafı Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4: Sertlik ölçme cihazı

Testler sonrasında batıcı ucun bıraktığı izin ölçülmesinde yine aynı laboratuarda bulunan, SCHERR TUMICO marka ölçüm mikroskobu kullanılmıştır. Mikroskop % 0,2 mm hassasiyette ölçüm yapabilmektedir. Mikroskobun fotoğrafı Şekil 4.5'de verilmiştir.



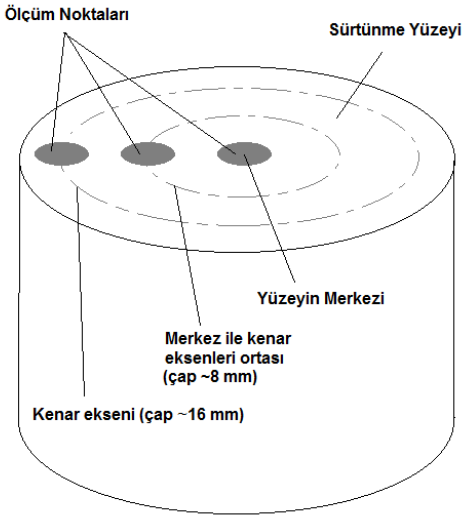
Şekil 4.5: Ölçüm mikroskobu

Numune yüzeyinde ve test cihazının tablasında bulunan yabancı cisimlerin ölçüm sonuçlarının doğruluğunu azalttığı bilinmektedir. Sertlik testlerine başlamadan önce numunelerin ve test cihaz tablasının temiz olmasına dikkat edilmiştir. Ölçüm mikroskobu ışık yansıma prensibine göre çalışmaktadır. Numuneler ışığı yansıtmadığı için sertlik testi sonrasında testin yapıldığı bölgeye yansıtıcı boya sürülerek iz ölçümü yapılmıştır.

e. Test Şartları ve Testlerin Yapılışı

i. Sertlik Testi

Presleme işleminden sonra balatanın mekanik yapısını ve sürtünme testi sonrasında sürtünme yüzeyinin mekanik yapısını incelemek için numuneler üzerinde sertlik testleri yapılmıştır. Sertlik testleri aynı kompozisyona sahip numunelerden 3 adet olmak üzere toplam 18 adet numune üzerinde yapılmıştır. Ölçümler sürtünme yüzeyinde ve sürtünme yüzeyine paralel olan diğer (sürtünme işlemi uygulanmamış) düzlemsel yüzeyde yapılmıştır. Numunenin sürtünme yüzeyinden alınan ölçüm noktalarının şematik görünümü Şekil 4.6'de verilmiştir.



Şekil 4.6: Ölçüm noktaları şematik görünümü

Balatalar ile ilgili literatürlerde sertlik ölçme metodu olarak rockwell ve brinell metotlarının kullanıldığı görülmüştür (Sulaiman ve ark., 2008). Numunelerin sertlik ölçümlerinde brinell metodu kullanılmıştır. Testler bilya çapı olarak 5 mm'lik bilya ve kuvvet olarak 125 kgf altında yapılmıştır. Numuneler test cihazına yerleştirdikten sonra batıcı uç yavaşça numune üzerine bırakılmış ve 30 s süre ile kuvvet uygulanmasına izin verilmiştir.

Batıcı uç tarafından meydana getirilen iz, ölçüm mikroskobu aracılığıyla ölçülmüştür. Ölçüm mikroskobu ışık yansıtma prensibine göre çalıştığı için üzerinde çalışılacak materyal ışığı iyi bir şekilde yansıtması gerekmektedir. Balatalar ise yansıtıcı özelliğe sahip değildir. Bu problemi ortadan kaldırmak için sertlik testi sonrasında numune yüzeyleri ince bir katman şeklinde ışığı yansıtıcı boya ile boyanmış ve ölçümler yapılmıştır.

ii. Basma Testi

Basma testleri her numune grubundan 3 adet olmak üzere toplam 18 adet numune üzerinden yapılmıştır. Numuneler test cihazının tablasına yerleştirilmeden önce tablanın ve numune yüzeyinin temiz olmasına dikkat edilmiştir. Numune test cihazı tablasının merkezine gelecek şekilde yerleştirildikten sonra test cihazının göstergesi sıfırlanmıştır. Ölçüm denemeleri neticesinde test cihazının maximum basıncının 4.000 kPa'a ayarlanmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Testler sonrasında her numune için elde edilen maximum yükleme değerleri kayıt altına alınmıştır. Kompozisyonu aynı olan numune sonuçlarının ortalama değeri alınarak sonuçlar bölümünde verilmiştir. Test sonuçlarının değerlendirilmesi için numunelerin fotoğrafları çekilmiş ve sonuçlar bölümünde verilmiştir.

iii. Sürtünme Testi

Numune balatalar, TS 9076 numaralı, Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları ile Değerlendirilmesi standardı şartlarına göre test edilmiştir. Bu standart Otomotiv Mühendisleri Topluluğu (SAE)'nun otomotiv balatalarında sürtünme

karakteristiklerinin belirlenmesi için uygun test metotlarını ve şartlarını ortaya koyan SAE J661 standardından uyarlanılarak hazırlanmıştır.

Bu standartta sürtünme testlerinin 6 aşamada gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu aşamalar ve deney şartları aşağıda belirtilmiştir.

- İlk Alıştırma: 4,5 m/s'lik çevresel hızda, 700 kPa basınç altında, disk sıcaklığı 200ºC de, sürekli olarak, temas yüzeyinin %95i temas edene kadar işlem devam eder,
- Son Alıştırma: 6,16 m/s'lik çevresel hızda, 1050 kPa basınç altında, disk sıcaklığı 100ºC de, 10 s yüklü 20 s yüksüz ve işlem 20 periyot devam eder,
- İlk Sürtünme: 6,16 m/s'lik çevresel hızda, 1050 kPa basınç altında, disk sıcaklığı 100ºC den 300 ºC ye kadar ilgili standardın belirlediği gibi artacak şekilde ve en çok 10 dk yüklü ve 20 s yüksüz olacak şekilde işlem uygulanır ve sürtünme katsayısı kayd altına alınır,
- İlk Dinlendirme: 6,16 m/s'lik çevresel hızda, 1050 kPa basınç altında, disk sıcaklığı 250ºC den 100 ºC ye kadar ilgili standardın belirlediği gibi azalacak şekilde işlem uygulanır,
- Son Sürtünme: 6,16 m/s'lik çevresel hızda, 1050 kPa basınç altında, 100ºC den 350 ºC ye kadar ilgili standardın belirlediği gibi artacak şekilde sürekli frenleme uygulanır ve sürtünme katsayısı kayd altına alınır,
- Son Dinlendirme: 6,16 m/s'lik çevresel hızda, 1050 kPa basınç altında, disk sıcaklığı 250ºC den 100 ºC ye kadar ilgili standardın belirlediği gibi azalacak şekilde 3 periyot olarak işlem uygulanır ve test sonlandırılır.

Testler sonucunda balatanın sıcak ve soğuk şartlarda ortaya koyduğu sürtünme performansı belirlenir ve balata bu performansa göre sınıflandırılır. Bu işlem; Son sürtünme aşamasında balatanın 100ºC, 150ºC, 200ºC, 300ºC ve 350ºC lerdeki sürtünme katsayılarının belirlenmesi ile yapılır. 100ºC, 150ºC ve 200ºC sıcaklıklarındaki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması balatanın soğuk sürtünme katsayısını verir. 300ºC ve 350ºC sıcaklıklarındaki sürtünme katsayılarının

aritmetik ortalaması da balatanın sıcak sürtünme katsayısını verir. Bu iki değer SAE J866a standardında belirtilen performans aralıklarıyla karşılaştırılır ve balatanın sürtünme performansı belirlenir.

İlk alıştırma işlemi tamamlanarak sürtünme testlerine hazır hale getirilen numune üzerinde son alıştırma, ilk sürtünme, ilk dinlendirme, son sürtünme ve son dinlendirme işlemleri sırası ile uygulanmıştır. Her numune için test dizisine başlamadan önce fren diskinin yüzeyi önce orta derece bir zımpara ile daha sonra su zımparası ile zımparalanmıştır (TS 9076, 1991).

İlk sürtünme ve son sürtünme testlerinde elde edilen sonuçlar excel programına aktarılmıştır. Aynı kompozisyona sahip numunelerden elde edilen sonuçlar birbiri ile kıyaslanmış, aşırı yüksek veya düşük veriler dikkate alınmamıştır. Diğer verilerin aritmetik ortalaması alınarak sonuçlar ortaya çıkarılmıştır.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

a. Sertlik Testi Sonuçları

Sertlik ölçümleri aynı kompozisyona sahip numunelerden 3 adet olmak üzere toplam 18 adet numune üzerinde yapılmıştır. Ölçümler sürtünme yüzeyinde ve sürtünme testine tabi tutulmamış olan ve sürtünme yüzeyine paralel olan diğer düzlemsel yüzeyde yapılmıştır. Ölçümler her yüzeyin merkezinde, merkez ile kenarı arasındaki bölgede ve kenar bölgesinde olmak üzere 3 noktasında yapılmıştır. Aynı kompozisyon ve ölçme noktasından alınan sertlik değerlerini aritmetik ortalaması alınmış, testler sonucunda elde edilen brinell sertlik değerleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Numunelerin Sertlik Testi Sonuçları

Komp. Adları	**Ölçümün Yapıldığı Yüzey/Ölçüm Noktası**							
	SY/M	**SY/M*K***	**SY/*K***	**SY Ortalaması**	**DY/M**	**DY/M*K***	**DY/*K***	**DY Ortalaması**
0CE	17,3 HB	17,7 HB	17,6 HB	**17,5 HB**	16,8 HB	17,0 HB	16,7 HB	**16,8 HB**
5CE	17,8 HB	17,3 HB	17,9 HB	**17,6 HB**	16,9 HB	16,7 HB	17,1 HB	**16,9 HB**
10CE	18,9 HB	19,6 HB	18,6 HB	**19,0 HB**	17,8 HB	18,2 HB	17,8 HB	**17,9 HB**
15CE	20,4 HB	21,7 HB	20,1 HB	**20,7 HB**	19,6 HB	19,9 HB	19,5 HB	**19,6 HB**
20CE	22,2 HB	22,7 HB	21,8 HB	**22,2 HB**	21,0 HB	21,8 HB	20,8 HB	**21,2 HB**
25CE	20,8 HB	21,1 HB	21,4 HB	**21,1 HB**	19,6 HB	20,9 HB	20,7 HB	**20,4 HB**

SY: Sürtünme Yüzeyi (Sürtünme Testine Tabi Tutulmuş Düzlemsel Yüzey)
DY: Diğer Yüzey (Sürtünme Testine Tabi Tutulmamış Düzlemsel Yüzey)
M: Merkez (Düzlemsel Yüzeyin Merkez Noktası)
MK: Merkez-Kenar (Düzlemsel Yüzeyin Merkez ile Kenarı Arasındaki Bölge)
K: Kenar (Düzlemsel Yüzeyin Kenar Bölgesi)

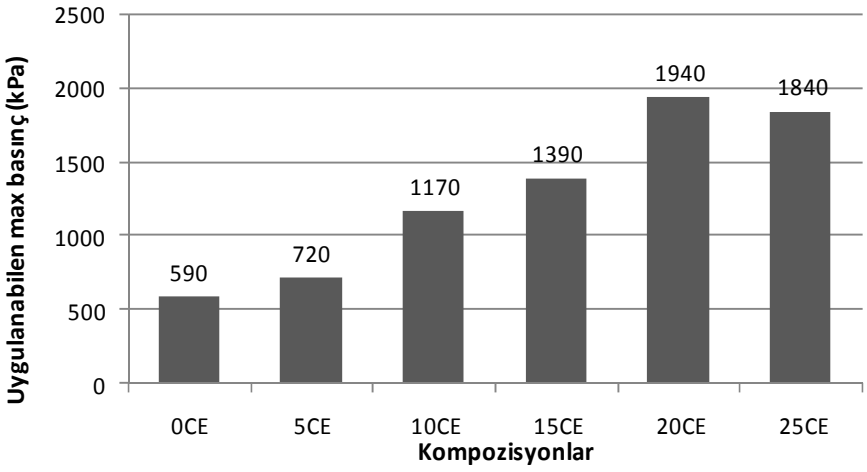
* Kastedilen ölçüm noktalarının şematik görünümü önceki bölümde verilmiştir.
* Ölçüm metodu Brinell, Ölçüm ucu 5 mm çelik bilya, Uygulanan kuvvet 125 kgf, Uygulama Süresi 30 s'dir.

Sertlik testi sonuçlarına göre; 0CE numuneleri en düşük sertlik değerlerine, 20CE numuneleri ise en yüksek sertlik değerlerine sahiptir. Test sonuçlarına göre kompozisyon içerisindeki cam elyafı oranı arttıkça sertlik değerlerinde arttığı görülmüştür. Sürtünme işlemi uygulanmış yüzeylerin sertlik değerleri sürtünme işlemi uygulanmamış yüzeylere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Sürtünme işlemi esasında açığa çıkan sıcaklık balatanın sürtünme yüzeyinin mekanik yapısını

değiştirmiştir (Wang ve ark., 2008). 25CE numunelerinin testlerinde aynı noktalardan alınan sertlik değerleri arasında belirgin farklar ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni; numunelerin üretimi esasında kompozisyon içerisindeki cam elyaf oranının fazla olması neticesinde homojen yapının sağlanamamış olmasıdır.

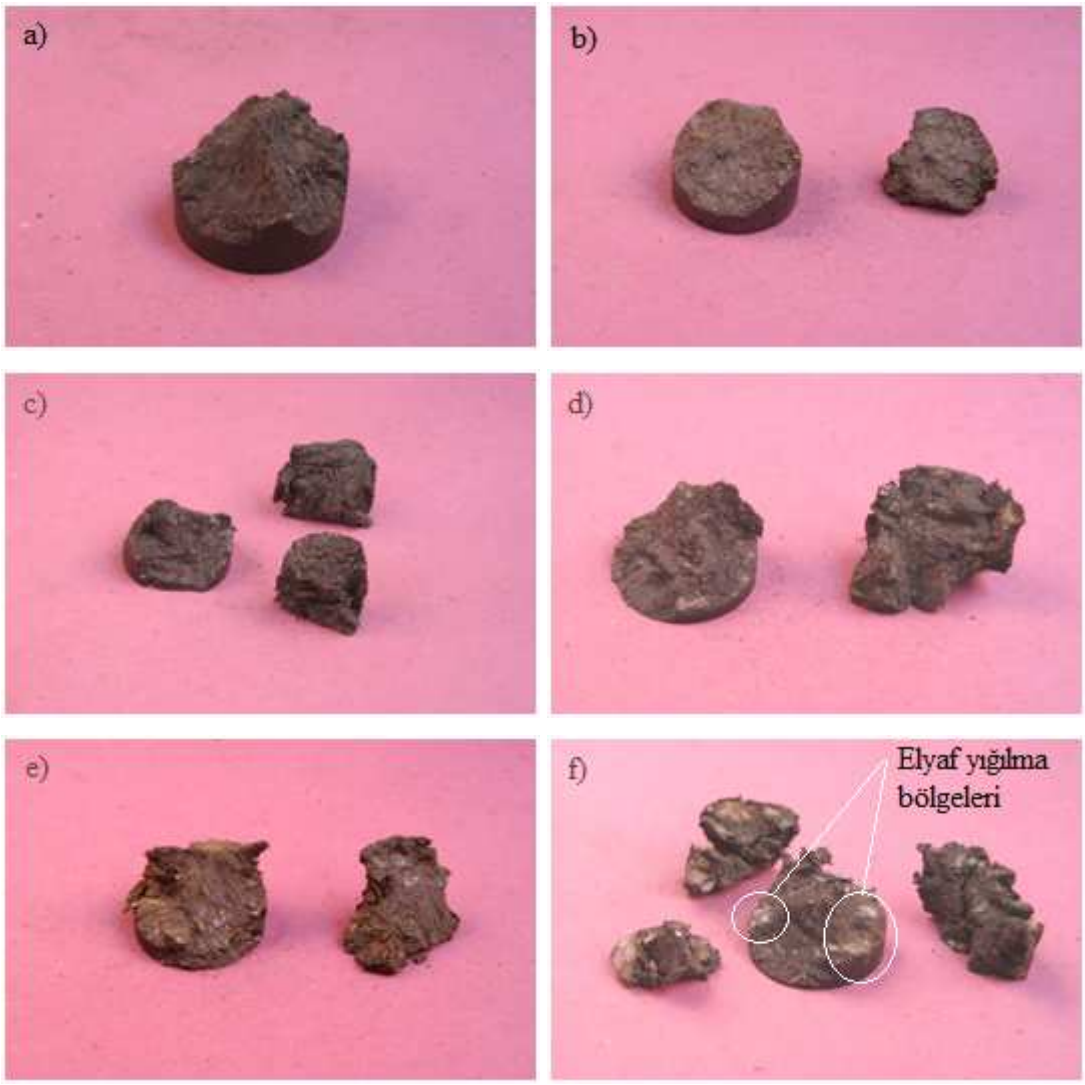
b. Basma Testi Sonuçları

Kompozisyonların basma dayanımlarını belirlemek ve üretim sonrasındaki iç yapılarını incelemek için her kompozisyondan 3'er adet olmak üzere toplam 18 adet numune üzerinde basma testi yapılmıştır. Aynı kompozisyona sahip numunelerin test sonuçları birbirine yakın olduğu için aritmetik ortalamaları alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Grafik 5.1.'de verilmiştir. En yüksek sonuç 20CE, en düşük sonuç ise 0CE kompozisyonlarında elde edilmiştir.



Grafik 5.1: Numunelerin Basma Testi Sonuçları

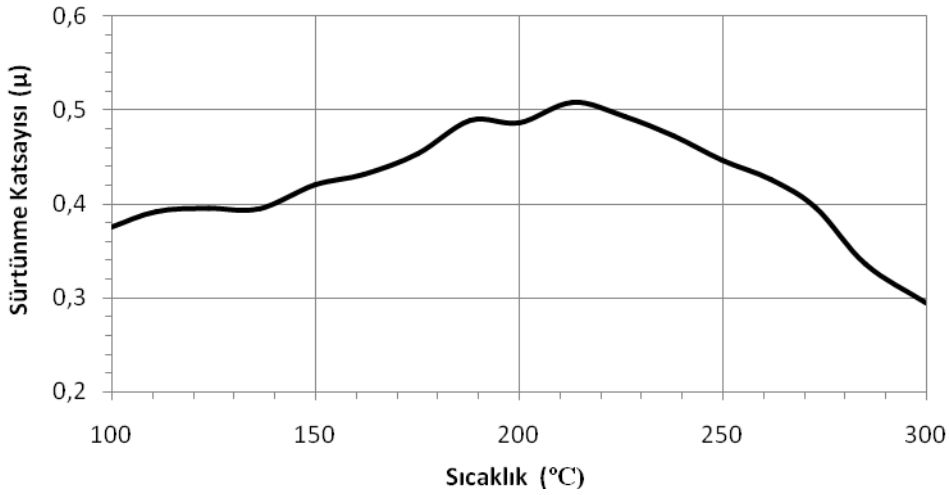
Basma testleri sonrasında farklı kompozisyonlara sahip numuneler fotoğraflanmış ve Şekil 5.1'de verilmiştir. Kompozisyon içerisindeki cam elyaf oranı arttıkça numune yapısının homojensizleştiği görülmüştür. Özellikle 25CE numunesinde bu durum oldukça belirgindir. Elde edilen sonuçlar literatür verileri ile uyuşmuştur (Mutlu ve Öner, 2002). Şekil 5.1.f'de elyaf yığılma bölgeleri görülmektedir.



Şekil 5.1: Numunelerin Basma Testi Sonrasındaki Görünümleri a)0CE Numunesi b)5CE Numunesi c)10CE Numunesi d)15CE Numunesi e)20CE Numunesi f)25CE Numunesi

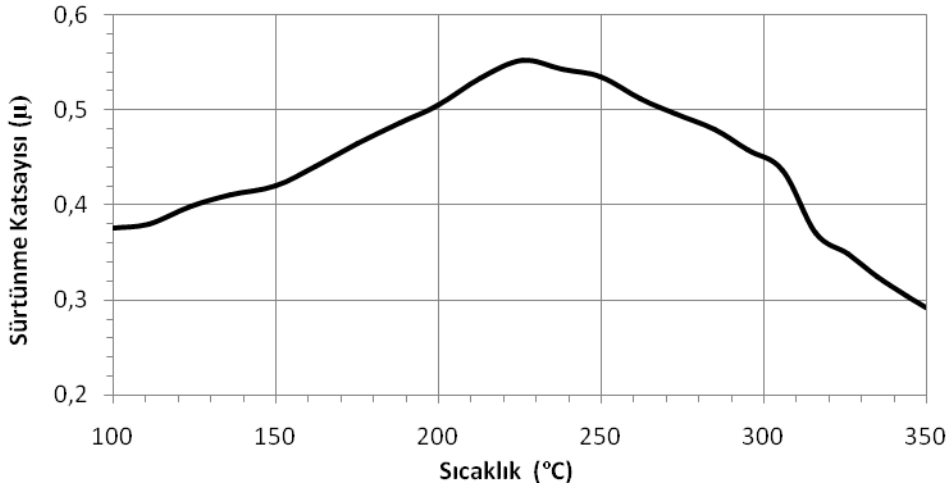
c. Sürtünme Testi Sonuçları

i. 0CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları



Grafik 5.2: 0CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu

Grafik 5.2.' de verilen ilk sürtünme testi sonucunda balatanın sürtünme katsayısında 220 ºC' ye kadar artış, bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında ise düşüş gözlenmiştir. Bunun nedeninin balata içerisindeki fenolik reçinenin 180 ºC civarında özelliklerinin yitirmesi ve bu sıcaklığın üzerinde balata yüzeyinde plastik akışın başlamasıdır (Wang ve ark., 2008).



Grafik 5.3: 0CE numunesinin son sürtünme test sonucu

Grafik 5.3’ de verilen son sürtünme testi sonucunda ilk sürtünme testi sonucuna oranla daha yüksek sıcaklıklara çıkıldığı için 300 ºC’den sonra sürtünme katsayısında ani bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu sıcaklıklarda fenolik reçine bağlayıcılık özelliğini büyük ölçüde yitirdiği bilinmektedir (Wang ve ark., 2008).

Bu numunenin sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi stabil olmadığı gözlenmiştir. Bunun nedeni balata içerisinde takviye edici elyaf içermemesi ve balatanın mekanik yapısının tamamen fenolik reçine tarafından sağlanmasıdır. Çizelge 5.2.’de 0CE numunesinin TS 9076 standardına göre sürtünme karakteristiği verilmiştir.

Çizelge 5.2: 0CE numunesinin TS 9076’a göre sürtünme karakteristikleri

Sıcaklık (ºC)	**İlgili Sıcaklıktaki Sürtünme Katsayısı (µ)**	**Soğuk ve Sıcak Sürt.Kat.* (µ)**	**SAE J866a’ya göre sınıfı**
100	0,375		
150	0,420	Soğuk = 0,433	F
200	0,504		
300	0,457	Sıcak = 0,379	E
350	0,301		

***** Soğuk Sürtünme Katsayısı 100,150 ve 200 ºC’deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması, Sıcak Sürtünme Katsayısı ise 300 ve 350 ºC’deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması

0CE numunesinin soğuk ve sıcak sürtünme katsayıları SAE J866a standardına göre değerlendirildiğinde FE sınıfına girmektedir. Bu standarda göre sınıflandırmada ilk yazılan harf soğuk, ikinci harf ise sıcak sürtünme karakteristiğini belirtmektedir.

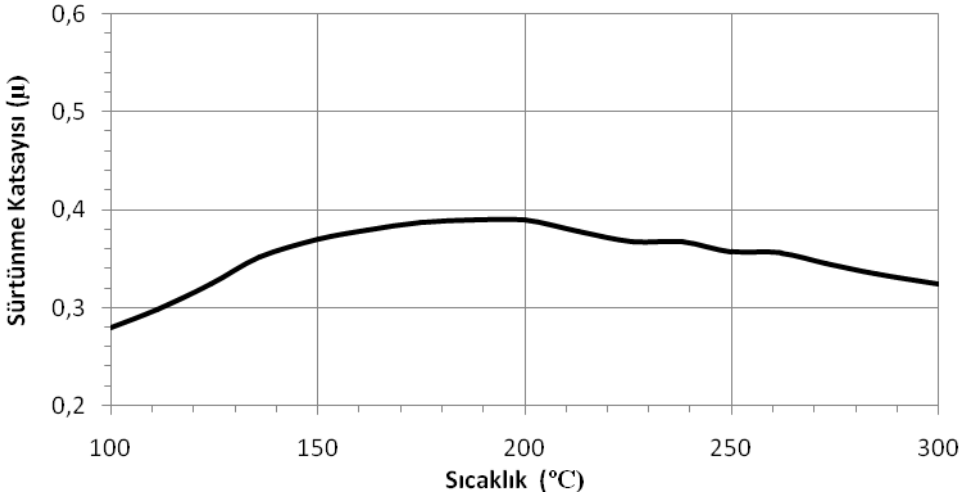
Sürtünme testi sonucunda 0CE numunesinin yüzeyi fotoğraflanmıştır. Bu numunenin sürtünme testi sonrasındaki yüzey fotoğrafı Şekil 5.2.’de verilmiştir.



Şekil 5.2: 0CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü

0CE numunesi hiç cam elyaf içermediği ve cam elyaf haricindeki balata ham maddelerinin tamamı toz olduğu için imalat esasında karışım oldukça homojen olmuştur. Karışımın homojen olması balatanın yüzey kalitesini olumlu yönde etkilemiştir. Yüzey kalitesi Şekil 5.2.'de de görülmektedir.

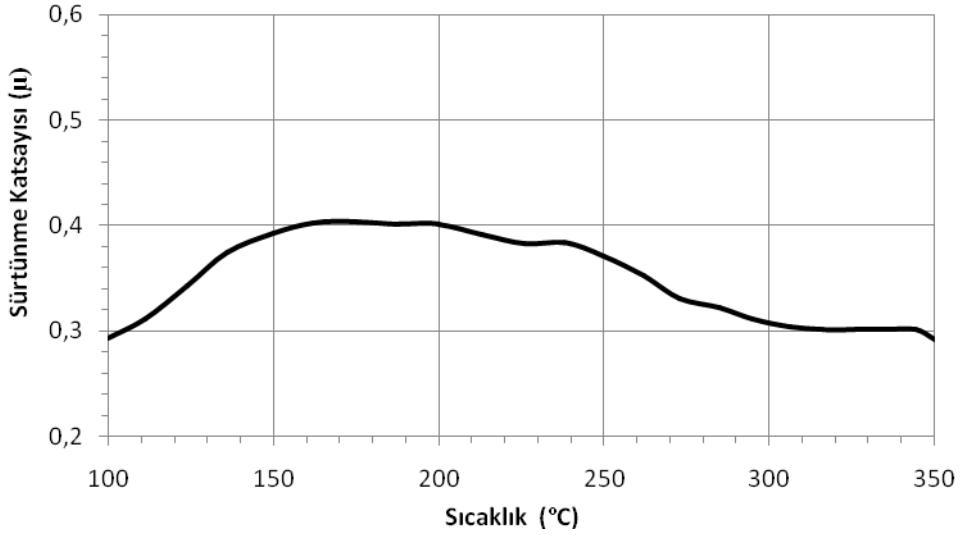
ii. 5CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları



Grafik 5.4: 5CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu

Grafik 5.4.' de verilen ilk sürtünme testi sonucunda balatanın sürtünme katsayısında 200 ºC' ye kadar arttığı, bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında ise düştüğü gözlenmiştir. 0CE numunesinin sürtünme testi sonucu ile karşılaştırıldığında

sıcaklıkla daha az değişen bir sürtünme karakteristiği elde edilmiştir. Bu sonuç balata içerisine takviye edici elyaf ilave edilmesi ve balatanın mekanik yapısının artmaya başlaması neticesinde ortaya çıkmıştır.



Grafik 5.5: 5CE numunesinin son sürtünme test sonucu

Grafik 5.5.' de verilen son sürtünme testi sonucunda sıcaklığın 300 ºC'nin üzerine çıkmasıyla sürtünme katsayısındaki düşüş eğilimi de azalmaktadır. Bu numunenin sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi 0CE numunesine göre daha stabil olduğu gözlenmiştir. Çizelge 5.3.'de 5CE numunesinin TS 9076 standardına göre sürtünme karakteristiği verilmiştir.

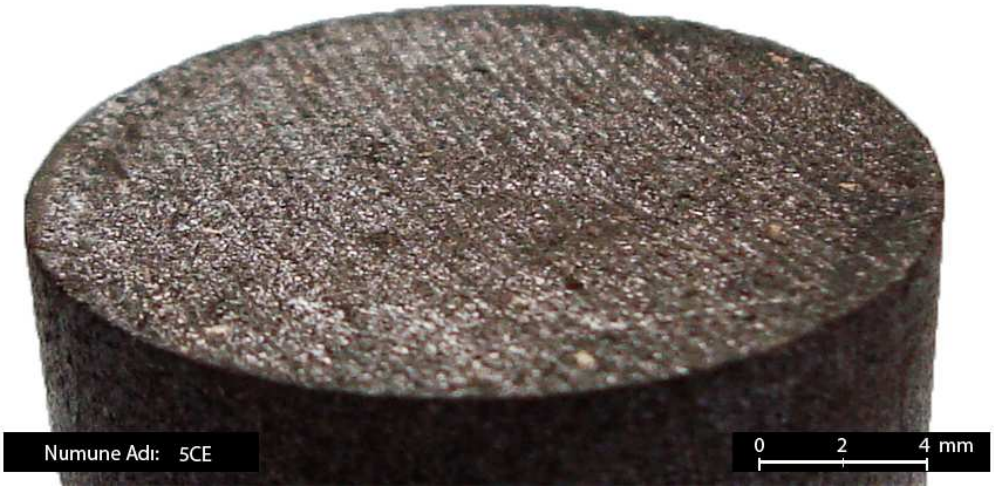
Çizelge 5.3: 5CE numunesinin TS 9076'a göre sürtünme karakteristikleri

Sıcaklık (ºC)	**İlgili Sıcaklıktaki Sürtünme Katsayısı (µ)**	**Soğuk ve Sıcak Sürt.Kat.* (µ)**	**SAE J866a' ya göre sınıfı**
100	0,293		
150	0,392	Soğuk = 0,362	F
200	0,401		
300	0,311	Sıcak = 0,301	F
350	0,292		

***** Soğuk Sürtünme Katsayısı 100,150 ve 200 ºC'deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması, Sıcak Sürtünme Katsayısı ise 300 ve 350 ºC'deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması

5CE numunesinin soğuk ve sıcak sürtünme katsayıları SAE J866a standardına göre değerlendirildiğinde FF sınıfına girmektedir.

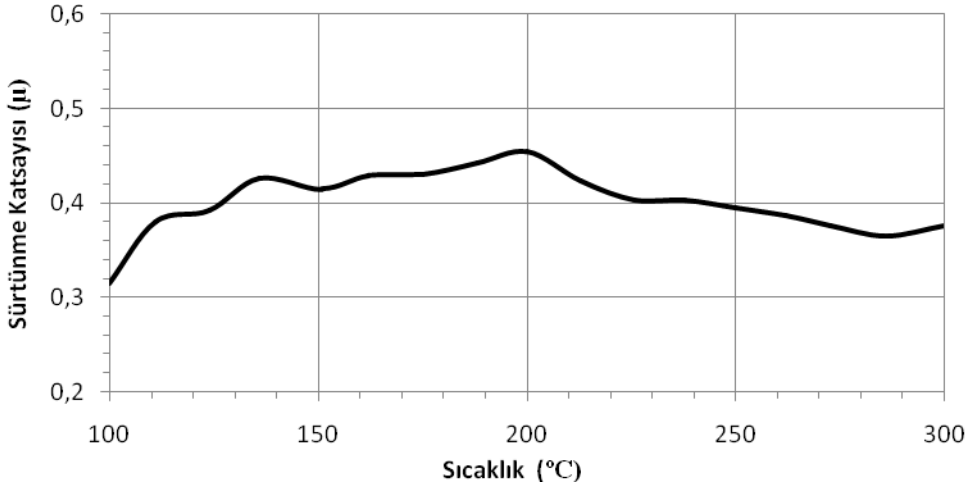
5CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey fotoğrafı Şekil 5.3.'de verilmiştir.



Şekil 5.3: 5CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü

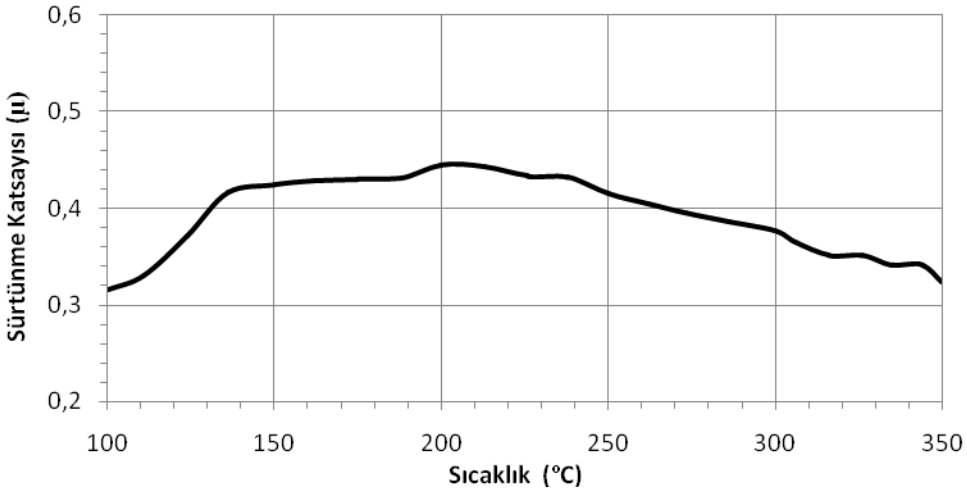
5CE numunesi düşük seviyede cam elyaf içerdiği için imalat esasında karışım homojen olmuş, karışım ve kalıplama esasında problemle karşılaşılmamıştır.

iii. 10CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları



Grafik 5.6: 10CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu

Grafik 5.6.’de verilen 10CE numunesinin ilk sürtünme testi grafiğinde sıcaklığın 100ºC’den 200ºC’ye kadar artmasıyla sürtünme katsayısı da artmış, sıcaklık 200ºC ‘nin üzerine çıkmasıyla sürtünme katsayısında azalma olmuştur.



Grafik 5.7: 10CE numunesinin son sürtünme test sonucu

Grafik 5.7.’de %10 Cam elyaf içeren 10CE numunesinin son sürtünme test sonucu verilmiştir. Bu testte elde edilen sonuç ilk sürtünme testine oranla daha stabil sürtünme karakteristiği elde edilmiştir.

10CE numunesinin test sonuçlarında dikkat edilmesi gereken nokta soğuk ve sıcak sürtünme katsayılarının 5CE numunesine göre biraz daha yüksek olduğudur. Bu numunede de 5CE numunesinde olduğu gibi; çalışma sıcaklığının değişmesine rağmen sürtünme katsayısı oldukça stabil olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 5.4.’de 10CE numunesinin TS 9076 standardına göre sürtünme karakteristiği verilmiştir. 10CE numunesinin soğuk ve sıcak sürtünme katsayıları SAE J866a standardına göre değerlendirildiğinde FF sınıfına girmektedir

.

Çizelge 5.4: 10CE numunesinin TS 9076'a göre sürtünme karakteristikleri

Sıcaklık (ºC)	**İlgili Sıcaklıktaki Sürtünme Katsayısı (µ)**	**Soğuk ve Sıcak Sürt.Kat.* (µ)**	**SAE J866a' ya göre sınıfı**
100	0,315		
150	0,424	Soğuk = 0,394	F
200	0,444		
300	0,376	Sıcak = 0, 350	F
350	0,323		

***** Soğuk Sürtünme Katsayısı 100,150 ve 200 ºC'deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması, Sıcak Sürtünme Katsayısı ise 300 ve 350 ºC'deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması

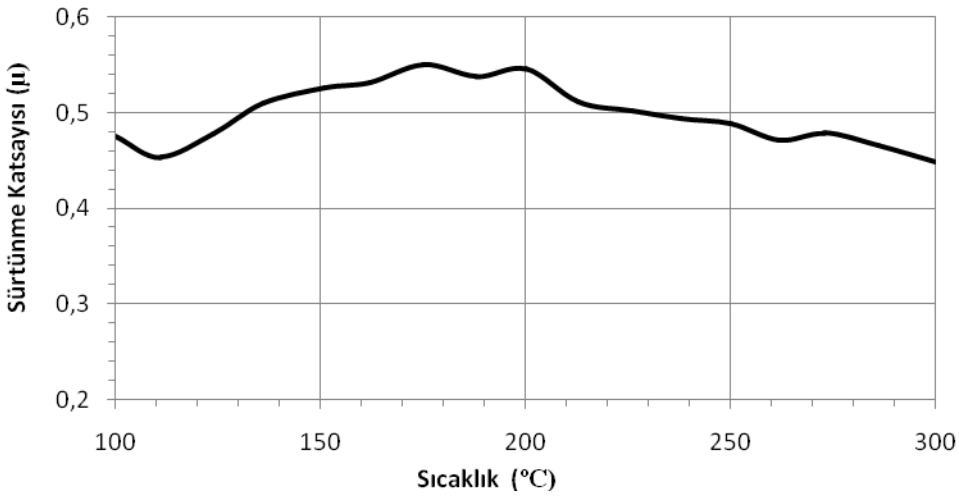
Bu numunenin sürtünme testi sonrasındaki yüzey fotoğrafı Şekil 5.4.'de verilmiştir.



Şekil 5.4: 10CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü

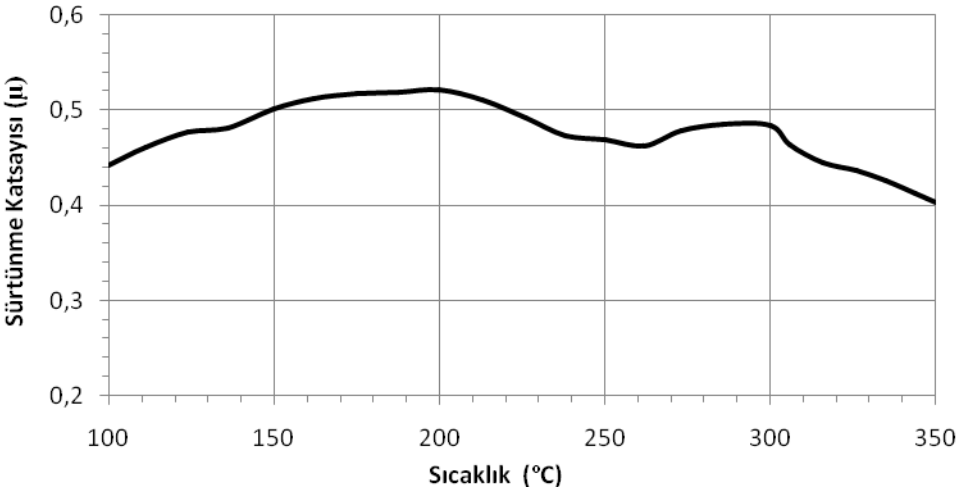
10CE numunesi ağırlıkça %10 oranında cam elyaf içermektedir. Bu numunenin sürtünme testi sonrasındaki yüzeyi incelendiğinde yüzeyde bozulma başlangıçlarının olduğu görülmektedir. Bunun nedeni balata içerisindeki cam elyaf oranının artması ve balata imalat aşamasında oluşan karışım homojenliğinin kısmen azalmasıdır.

iv. 15CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları



Grafik 5.8: 15CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu

Grafik 5.8.'de verilen 15CE numunesinin ilk sürtünme testi grafiğinde sıcaklık 100ºC'den 110ºC'ye çıktığında sürtünme katsayısı biraz düşmesine rağmen sıcaklığın 200ºC'ye kadar artması ile sürtünme katsayısı da artmış, 0,55 seviyelerine erişmiştir. Bu sıcaklığın üzerinde ise doğrusal bir düşüş göstererek 0,45 seviyelerine kadar azalma göstermiştir.



Grafik 5.9: 15CE numunesinin son sürtünme test sonucu

Grafik 5.9.'de ağırlıkça %15 oranında cam elyaf içeren, 15CE numunesinin son sürtünme test sonucu verilmiştir. Bu testte elde edilen sürtünme karakteristiği ilk

sürtünme testine oranla 200-220ºC daha stabil olduğu, bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında ise dalgalı olarak değişim gösterdiği gözlenmiştir.

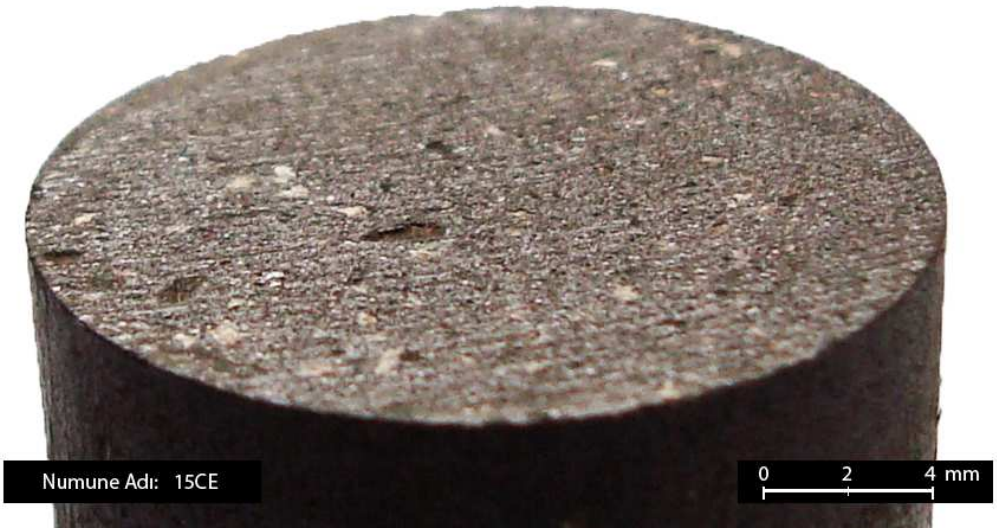
Çizelge 5.5.'de 15CE numunesinin TS 9076 standardına göre sürtünme karakteristiği verilmiştir. 15CE numunesinin soğuk ve sıcak sürtünme katsayıları SAE J866a standardına göre değerlendirildiğinde GF sınıfına girmektedir.

Çizelge 5.5: 15CE numunesinin TS 9076'a göre sürtünme karakteristikleri

Sıcaklık (ºC)	**İlgili Sıcaklıktaki Sürtünme Katsayısı (µ)**	**Soğuk ve Sıcak Sürt. Kat.* (µ)**	**SAE J866a' ya göre sınıfı**
100	0.442		
150	0.501	Soğuk = 0, 488	G
200	0.521		
300	0.484	Sıcak = 0, 444	F
350	0.403		

***** Soğuk Sürtünme Katsayısı 100,150 ve 200 ºC'deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması, Sıcak Sürtünme Katsayısı ise 300 ve 350 ºC'deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması

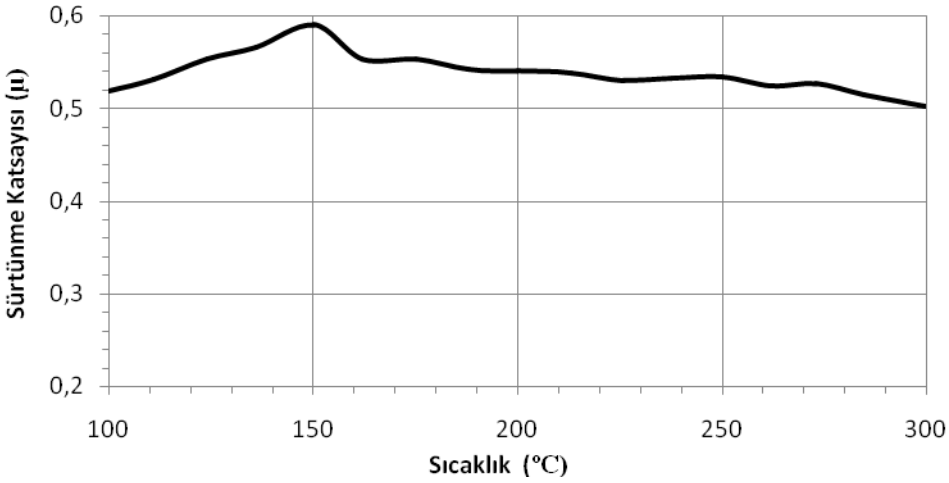
15CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey fotoğrafı Şekil 5.5.'de verilmiştir.



Şekil 5.5: 15CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü

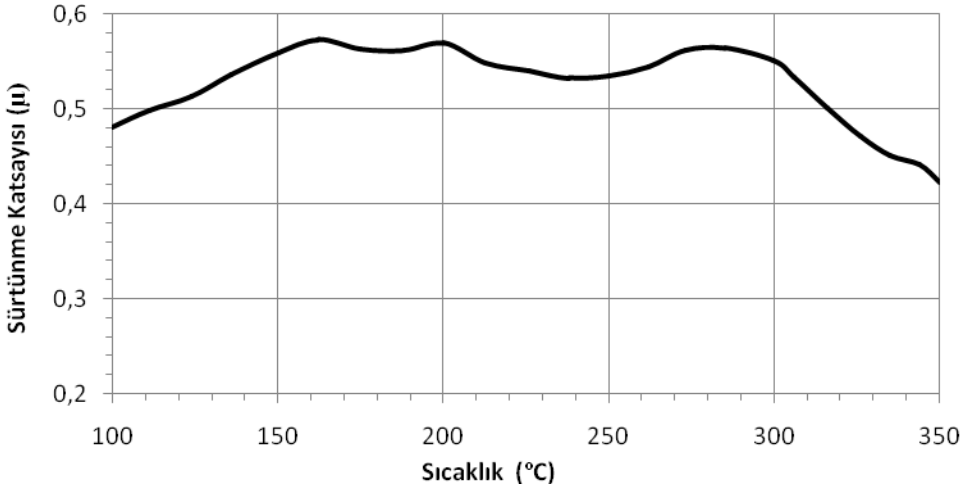
15CE numunesi ağırlıkça %15 oranında cam elyaf içermektedir. Bu numunenin sürtünme testi sonrasındaki yüzeyi incelendiğinde yüzeyde kısmi deformasyonlar olduğu görülmektedir. Bunun nedeni balata içerisindeki cam elyaf oranının artması ve balatanın tane yapısının homojenlikten heterojenliğe doğru geçmesidir.

v. 20CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları



Grafik 5.10: 20CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu

Grafik 5.10.'da verilen 20CE numunesinin ilk sürtünme testi grafiğinde sıcaklık 100ºC'den 150ºC'ye çıktığında sürtünme katsayısı 0,51'den 0,58 seviyelerine kadar artmış, bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında ise biraz düşmüş ve test süresince seviyesini 0,53 civarlarında korumuştur. Bu numunenin testinde sürtünme katsayısı oldukça kararlı ve yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Grafik 5.11: 20CE numunesinin son sürtünme test sonucu

Grafik 5.11.'da ağırlıkça %20 oranında cam elyaf içeren, 20CE numunesinin son sürtünme test sonucu verilmiştir. Bu numunenin sürtünme katsayısı 300ºC' ye kadar dalgalı olarak, 0,49-0,55 arasında değişmiş, 300ºC'nin üzerine çıkıldığında ise ani bir düşüş göstererek 0,55 seviyelerinden 0,42 seviyelerine düşmüştür.

Kompozisyon içerisindeki cam elyaf oranı arttıkça önceki bölümlerde de belirtildiği gibi karışım esasında yaşanan problemler neticesinde balatanın tane yapısındaki homojenlik azalmaya başlamaktadır. Bu sonuç neticesinde balatanın sürtünme yüzeyinin kalitesi düşmekte ve sürtünme katsayısının stabilliği azalmaktadır. 20CE numunesinin son sürtünme testi sonucunda da söz konusu durum gözlenmektedir.

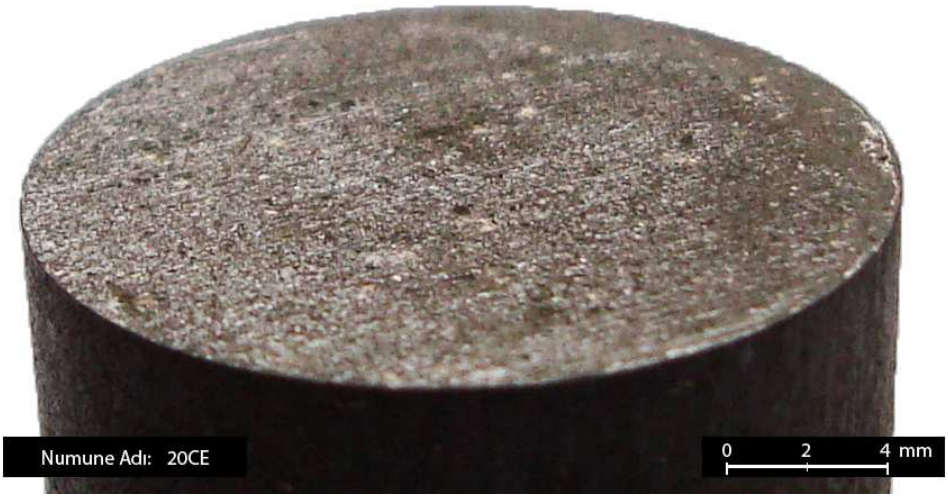
Çizelge 5.6.'de 20CE numunesinin TS 9076 standardına göre sürtünme karakteristiği verilmiştir. 20CE numunesinin soğuk ve sıcak sürtünme katsayıları SAE J866a standardına göre değerlendirildiğinde GG sınıfına girmektedir.

Çizelge 5.6: 20CE numunesinin TS 9076'a göre sürtünme karakteristikleri

Sıcaklık (ºC)	İlgili Sıcaklıktaki Sürtünme Katsayısı (µ)	Soğuk ve Sıcak Sürt. Kat.* (µ)	SAE J866a' ya göre sınıfı
100	0,480		
150	0,559	Soğuk = 0, 536	G
200	0,569		
300	0,551	Sıcak = 0, 487	G
350	0,423		

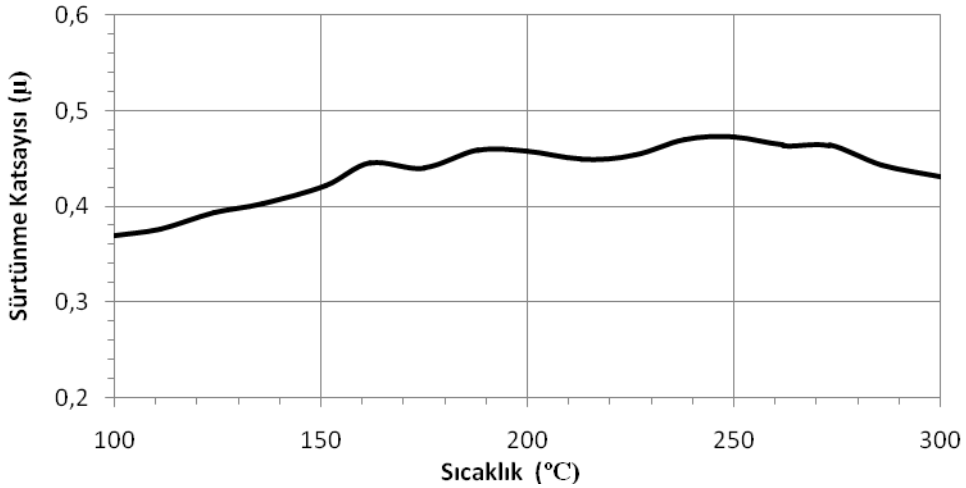
***** Soğuk Sürtünme Katsayısı 100,150 ve 200 ºC'deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması, Sıcak Sürtünme Katsayısı ise 300 ve 350 ºC'deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması

Bu numunenin sürtünme testi sonrasındaki yüzey fotoğrafı Şekil 5.6.'de verilmiştir.



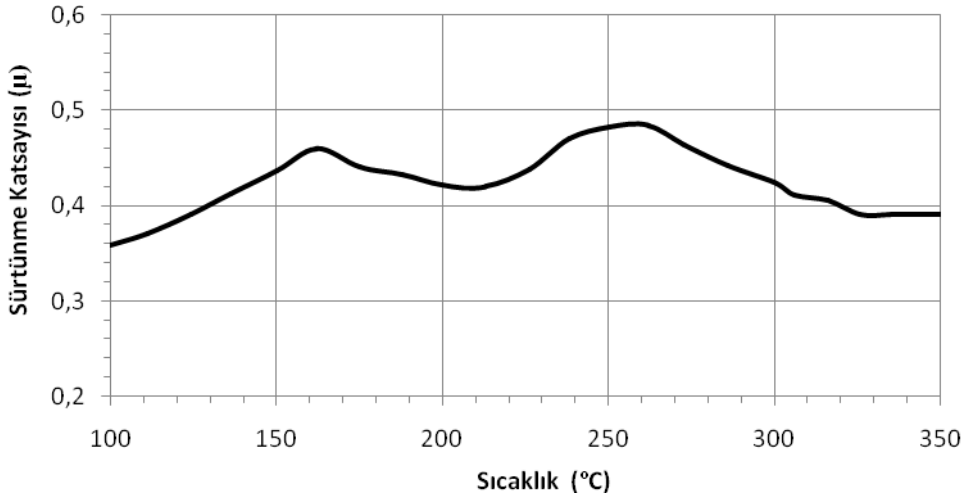
Şekil 5.6: 20CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü

vi. 25CE Numunesinin Sürtünme Testi Sonuçları



Grafik 5.12: 25CE numunesinin ilk sürtünme test sonucu

Grafik 5.12'de verilen 25CE numunesinin ilk sürtünme testi grafiğinde sıcaklık 100ºC'den 250ºC'ye çıktığında sürtünme katsayısı 0,36'den 0,47 seviyelerine kadar artmış, bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında ise biraz düşüş göstererek 0,43 seviyesine inmiştir.



Grafik 5.13: 25CE numunesinin son sürtünme test sonucu

Grafik 5.13'de ağırlıkça %25 oranında cam elyaf içeren, 25CE numunesinin son sürtünme test sonucu verilmiştir. Bu numunenin sürtünme katsayısı 260ºC' ye

kadar dalgalı olarak, 0,39-0,50 arasında değişmiş, 260ºC'nin üzerine çıkıldığında ise düşüş göstererek 0,50 seviyelerinden 0,40 seviyelerine düşmüştür. Bunun nedeni numune içerisindeki cam elyaf miktarı çok fazla olması ve balatanın tane yapısının homojen olmamasıdır. Karışım içerisindeki cam elyaf oranı arttıkça karıştırma işlemi esasında yaşanan problemler sonucunda karışım homojen olmamıştır. Balatanın homojenliğini bozan bu bölgeler Şekil 5.7.'da verilen numune yüzey fotoğrafında da açık bir şekilde görülmektedir.

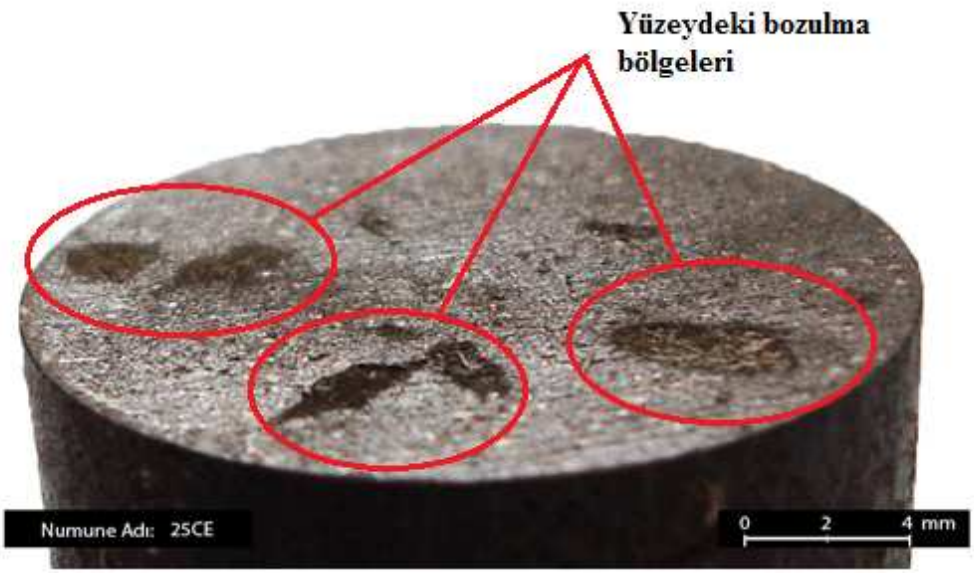
Çizelge 5.7.'de 25CE numunesinin TS 9076 standardına göre sürtünme karakteristiği verilmiştir. 25CE numunesinin soğuk ve sıcak sürtünme katsayıları SAE J866a standardına göre değerlendirildiğinde FF sınıfına girmektedir.

Çizelge 5.7: 25CE numunesinin TS 9076'a göre sürtünme karakteristikleri

Sıcaklık (ºC)	**İlgili Sıcaklıktaki Sürtünme Katsayısı (µ)**	**Soğuk ve Sıcak Sürt. Kat.* (µ)**	**SAE J866a' ya göre sınıfı**
100	0.358		
150	0.436	Soğuk = 0, 405	F
200	0.421		
300	0.424	Sıcak = 0, 407	F
350	0.391		

***** Soğuk Sürtünme Katsayısı 100,150 ve 200 ºC'deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması, Sıcak Sürtünme Katsayısı ise 300 ve 350 ºC'deki sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması

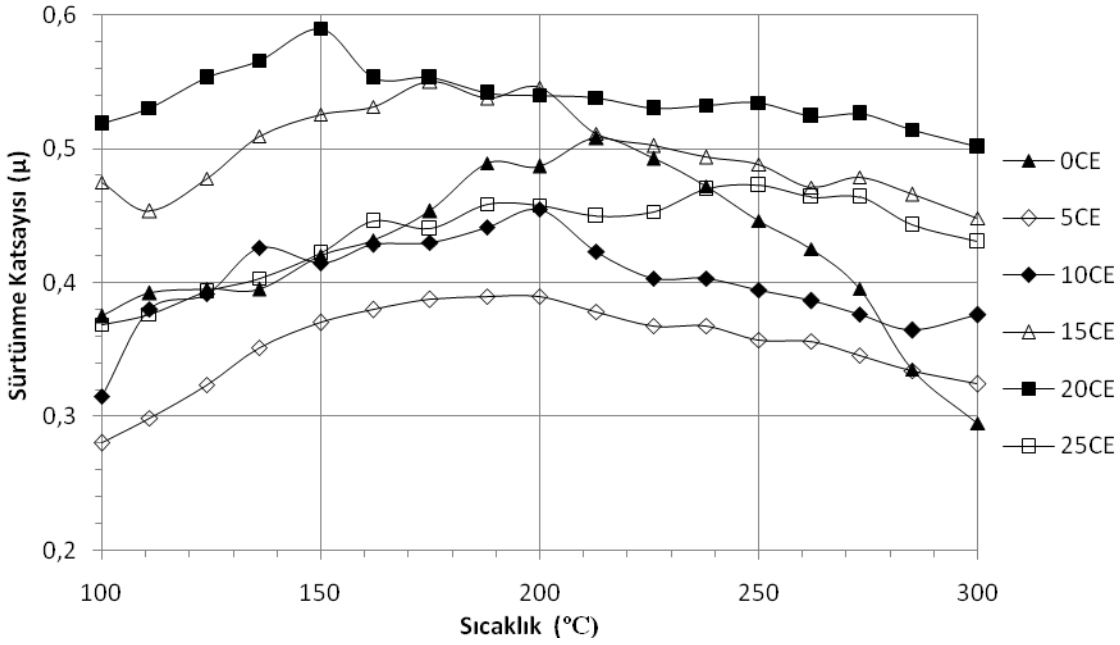
25CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey fotoğrafı Şekil 5.7.'de verilmiştir.



Şekil 5.7: 25CE numunesinin sürtünme testi sonrasındaki yüzey görünümü

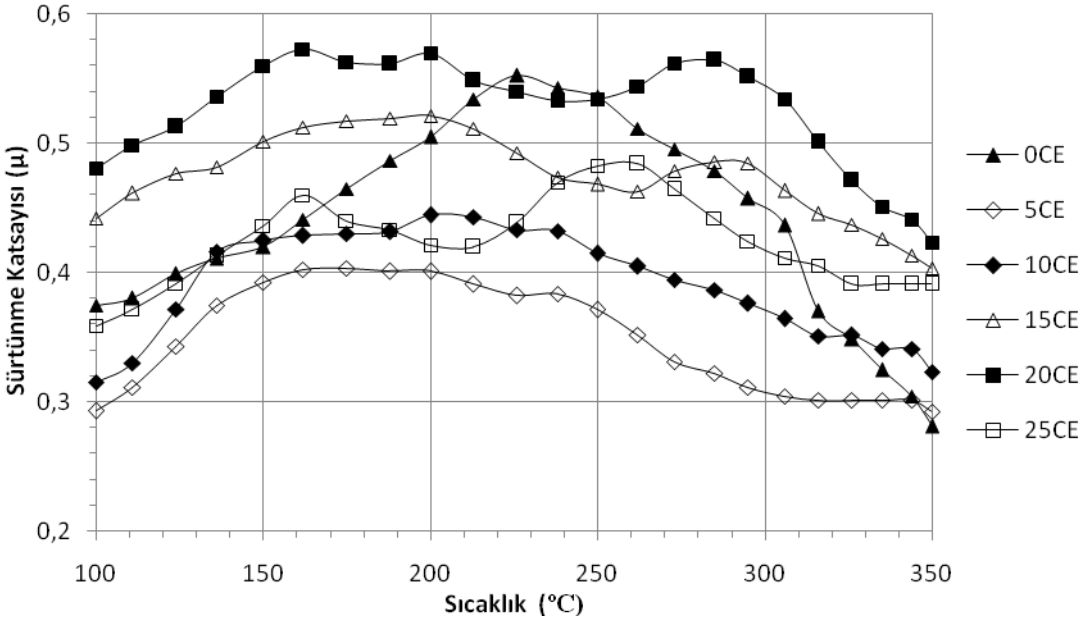
Numune yüzeyinde homojen karışımın yapılamaması sonucu oluşan yüzey çukurlukları görüntülenmektedir. Cam elyafı yalıtkan malzeme olduğu için karışım esasında elektrostatiklenerek birbirlerine tutunmakta ve cam elyaf topakları oluşturmaktadır. Oluşan bu topaklar fenolik reçine ile temas edememektedir. Bu nedenle bu bölgelerde imalat esasında tam olarak bir yapışma sağlanamamaktadır. Böylece sürtünme testleri esasında bu bölgelerdeki cam elyafları kolayca koparak balatadan uzaklaşır, çukurluklar oluşur ve balatanın sürtünme yüzey alanı küçülür. Ayrıca balata yapısından kopan bu parçacıklar balata ile disk arasındaki üçüncü faz yapısını artırır. Bu nedenlerle balatanın sürtünme katsayısında dalgalanma ve azalma olmaktadır (Wang ve ark., 2008).

vii. Sürtünme Testi Sonuçlarının Birbirleri ile Karşılaştırması



Grafik 5.14: Numunelerin ilk sürtünme test sonuçlarının karşılaştırılması

Grafik 5.14.'de verilen ilk sürtünme testi sonuçlarını karşılaştıran grafikte; 0CE numunesinin sıcaklıkla sürtünme katsayısının değişimi diğer numunelere oranla daha değişken olduğu görülmektedir. İçerisinde cam elyaf içeren numunelerin sürtünme katsayıları ise daha kararlı haldedir. Grafikte numunelerin sürtünme katsayısı değerleri cam elyaf miktarının artması ile artış göstermiştir. 25CE numunesi en fazla cam elyaf oranına sahip olmasına rağmen sürtünme katsayısı değerleri 20CE numunesine göre daha düşüktür.



Grafik 5.15: Numunelerin son sürtünme test sonuçlarının karşılaştırılması

Grafik 5.15.'de verilen son sürtünme testi sonuçlarını karşılaştıran grafikte; 0CE numunesinin sıcaklıkla sürtünme katsayısının değişimi diğer numunelere oranla yine daha değişkendir. Son sürtünme testinde de 25CE numunesi en fazla cam elyaf oranına sahip olmasına rağmen sürtünme katsayısı değerleri 20CE numunesine göre daha düşüktür.

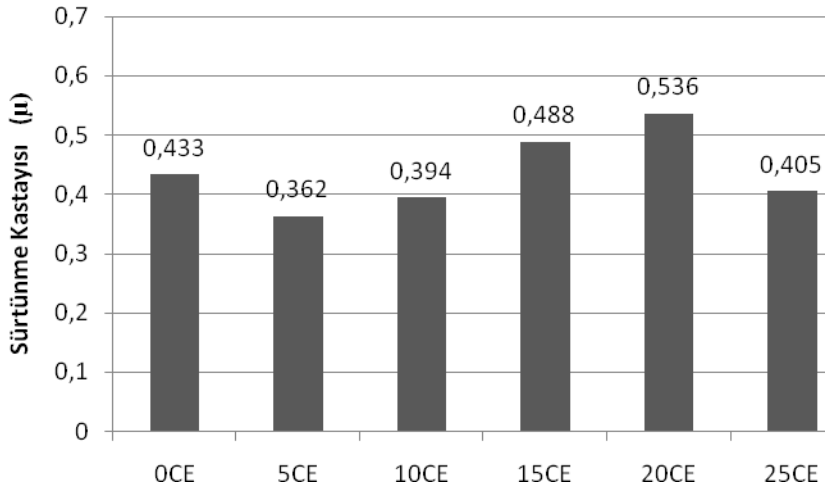
viii. Balataların Soğuk Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması

Testler sonucunda balatanın sınıflandırılması sıcak ve soğuk şartlarda ortaya koyduğu sürtünme performansı belirlenerek yapılmaktadır. Performansı belirlemek için balatanın soğuk ve sıcak sürtünme katsayıları TS 9076 standardına göre belirlenir, bu sonuçlara göre SAE J866a standardına göre sınıflandırma yapılmaktadır. Sınıflandırma için ayrıntılı bilgi önceki bölümde verilmiştir.

Soğuk sürtünme katsayısı; son sürtünme testi esasında balatanın 100ºC, 150ºC ve 200ºC sıcaklıklarında sergilediği sürtünme katsayılarının aritmetik

ortalamasıdır (TS 9076, 1991). Taşıt balataları için sürtünme testleri 100ºC'den 350ºC'ye kadar yapıldığı ve yukarıdaki bahsedilen sıcaklıklar da bu sıcaklık aralığının ilk yarısını oluşturduğu için bu bölge soğuk sürtünme adını almıştır.

Grafik 5.16.'de 6 adet kompozisyonun sürtünme testleri sonrasında ortaya çıkan soğuk sürtünme katsayıları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre en yüksek değer 0,536 ile 20CE numunesine aittir. En az değer ise 0,362 ile 5CE numunesine aittir.



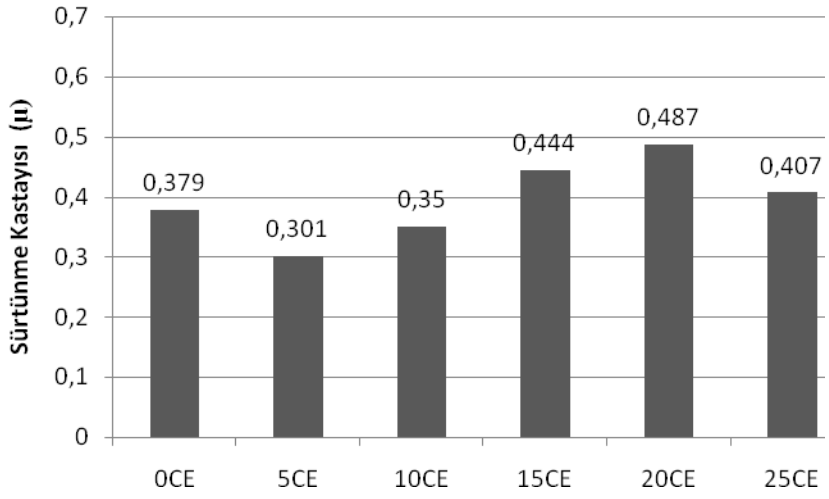
Grafik 5.16: Numunelerin Soğuk Sürtünme Katsayılarının karşılaştırılması

ix. Balataların Sıcak Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması

Sıcak sürtünme katsayısı; son sürtünme testi esasında balatanın 300ºC ve 350ºC sıcaklıklarında sergilediği sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır (TS 9076, 1991). Taşıt balataları için sürtünme testleri 100ºC'den 350ºC'ye kadar yapıldığı ve yukarıdaki bahsedilen sıcaklıklar da bu sıcaklık aralığının son yarısını oluşturduğu için bu bölge sıcak sürtünme adını almıştır.

Grafik 5.17.'de 6 adet kompozisyonun sürtünme testleri sonrasında ortaya çıkan sıcak sürtünme katsayıları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre en

yüksek değer 0,487 ile 20CE numunesine aittir. En az değer ise 0,301 ile 5CE numunesine aittir.



Grafik 5.17: Numunelerin Sıcak Sürtünme Katsayılarının karşılaştırılması

6. TARTIŞMA

Literatürde de belirtildiği gibi cam elyafı yalıtkan bir malzeme olduğu için karıştırma esasında elektrostatik olarak yüklenmeden dolayı numune üretimleri esasında karıştırma problemleri ile karşılaşılmıştır (Mutlu ve Öner, 2002). Karıştırma işlemi esasında karışım içerisine %3-4 oranında metil alkol katılarak bu problem kısmen azaltılabilmektedir. Bu yöntem laboratuar çalışmalarında alternatif olarak görünse de endüstriyel üretimde maliyet ve üretim süresi konularını etkileyeceği için mümkün görünmemektedir.

Sertlik ve basma testi sonuçlarına göre; cam elyafı kullanım oranı ile numunelerin sertliği ve basma dayanımları arasında doğru bir orantı olduğu görülmüştür. Bu bağıntı numune içerisindeki elyaf oranı ağırlıkça %20 seviyelerine kadar geçerlidir. Bu değerin üzerine çıktığında karıştırma probleminden dolayı homojen bir yapı elde edilemediği için sertlik ve basma dayanım değerleri düşmekte ve istikrarsızlık göstermektedir. Cam elyaf içeren numunelerin sertlik değerleri 16,9 ile 22,2 HB arasında, basma dayanımları ise 590 ila 1940 kPa arasında değişmektedir.

Literatürde cam elyaf içeren balataların sertlik değerlerine rastlanamamış, ancak kıyaslama yapmak için; karbon fiber ve fenolik reçine kullanılmış bir çalışmada 85 HRR (Sulaiman ve Ark., 2008), Metal elyaf, taş yünü ve fenolik reçine kullanılmış bir çalışmada 62 HR değerleri elde edilmiştir (Liu ve Ark., 2006).

Sürtünme testi sonuçlarına göre; elyaf içermeyen numuneler stabil bir sürtünme katsayısı sergileyememiş, kompozisyon içerisine cam elyafı dahil edilmesiyle sürtünme katsayısında elyaf içermeyen numunelere göre daha stabil sonuçlar elde edilmiştir. Ağırlıkça %5'den %20 cam elyaf oranına kadar numune içerisindeki elyaf oranı arttıkça numunelerin soğuk ve sıcak sürtünme katsayılarının da arttığı gözlenmiştir. %20 oranının üzerine çıkıldığında ise soğuk ve sıcak sürtünme katsayılarının düştüğü, ayrıca sürtünme katsayısının stabilliğinin azaldığı gözlenmiştir.

%25 cam elyaf içeren numunelerin sürtünme sonrasındaki sürtünme yüzeyleri incelendiğinde yüzeyde çukurlukların oluştuğu görülmüştür. Bu bölgeler yukarıda belirtilen nedenden dolayı balata tane yapısının homojen olmamasından kaynaklanmaktadır. İmalat esasında bu noktalarda cam elyaf yumakları oluşmakta ve karıştırma işleminde fenolik reçine bu elyaf yumaklarının içerisine nufüs etmekte zorlanmaktadır. Bu nedenle %25 elyaf içeren numunelerde homojen ve sağlıklı bir mekanik yapı elde edilememiştir. Sürtünme esasında oluşan bu çukurlar balatanın sürtünme yüzey alanını azaltmış, neticesinde testler esasında balataya uygulanan kuvvet sabit kaldığı için de balatanın göstermiş olduğu frenleme performansı düşmüştür.

Sürtünme katsayısı sonuçlarına göre; en düşük soğuk sürtünme katsayısını 0,362 değeri ile 5CE numune grubu, en yüksek soğuk sürtünme katsayısını ise 0,536 değeri ile 20CE numune grubu sergilemiştir. En düşük sıcak sürtünme katsayısını 0,301 ile 5CE numune grubu, en yüksek sıcak sürtünme katsayısını ise 0,487 değeri ile 20CE numune grubu sergilemiştir. Sonuçlar incelendiğinde bütün numunelerin sıcak sürtünme katsayı değerleri soğuk sürtünme katsayısı değerlerine göre düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni fenolik reçinenin 200ºC ve üzeri sıcaklıklarda bağlayıcılık özelliklerinin kötüleşmesidir. Sıcaklıkla sürtünme katsayısının değişim mekanizması temel olarak literatürdeki fenolik reçine matriksli balatalarla uyum sağladığı görülmüştür (Kim ve Ark., 2008).

Sürtünme testlerinden sonra numunelerin yüzeyleri amatör olarak fotoğraflanmıştır. Önceki bölümde verilen bu fotoğraflar incelendiğinde genel olarak numune içerisindeki cam elyaf oranı arttıkça numunelerin yüzey kalitesinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca; testler esasında bazı numunelerin sesli çalıştığı gözlenmiştir. Literatürde de bu problemden bahsedilmiştir (Mutlu ve ark., 2002).

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Cam elyafının taşıt fren balatalarının sürtünme özelliklerini nasıl etkilediğini incelenmesini amaçlayan bu çalışmada 6 farklı kompozisyonda numune balatalar üretilmiş ve test edilmiştir.

Test sonuçlarına göre ağırlıkça %5'den %20 cam elyaf oranına kadar numune içerisindeki elyaf oranı arttıkça numunelerin mekanik ve sıcaklıkla değişen sürtünme özelliklerinin iyileştiği, %20 oranının üzerine çıkıldığında bu özelliklerin kötüleştiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar özetlenirse cam elyafının;

- Sürtünme ile oluşan yüksek sıcaklık aralığında(300-350ºC) balatanın sürtünme katsayını iyileştirdiği ve balataya daha stabil sürtünme katsayısı sergilettirdiği,
- Balata üretiminde ağırlıkça %20 seviyelerine kadar cam elyafı kullanılabileceği,
- Üretim esasında karıştırma probleminin olduğu ve bu problemin laboratuar ortamında ortadan kaldırılabilmesine rağmen büyük ölçekli veya endüstriyel üretimde kaldırılmasının güç olduğu,
- Balatanın sesli çalışmasına neden olduğu,
- Diskin hızlı aşınmasına yol açtığı,

sonuçları ortaya çıkmıştır.

Sürtünme testlerinde kararlı sürtünme özellikleri elde edilse de sadece bu nedenler balata üretiminde cam elyafının kullanılabileceğini kanıtlamak için yeterli değildir. Balata üretiminde balatanın sürtünme performansı kadar, üretilebilirliği, sessiz çalışması, fren diski ile uyumu da önemlidir. Cam elyafı sürtünme performansı açısında iyi bir seçenek olsa bile diğer unsurlar dikkate alındığında balata üretiminde tek başına kullanılması uygun görülmemektedir.

Cam elyafı balata içerisinde aramid elyaflarla kullanıldığı taktirde balata yüksek sıcaklıklardaki sürtünme performansını iyileştirebileceği ve daha karalı sürtünme karakteristiğine sahip bir balata ortaya çıkabileceği düşünülmektedir.

Balata üretiminde kullanılabilen kauçuk ürünleri ile bunların atıklarının balatanın sessiz çalışmasına katkı sağladığı bilinmektedir. Cam elyafının neden olduğu ses problemini önlemek için karışım içerisine kauçuk tozu konularak kompozisyonlar geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Cam elyaf içeren kompozisyonların karışımı esnasında ortaya çıkan elektostatik yüklenmeyi önlemek ve neticesinde daha homojen bir karışım elde etmek için toz reçineler yerine sıvı reçinelere yer verilerek olumlu sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Arnab G., Raji G., 2008 Asbestos free friction composition for brake linings, Pp19-22 Bull. Material Science Vol 31 No 1

Blau P.J., 2001 Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives, Pp 1-23, ORNL/TM-2001/64

Chan, D., Stachowiak, G.W., 2004 Review of automotive brake friction materials, Pp 953-966, IMechE (Institution of Mechanical Engineers) 2004

Kevlar Techical Guide 1992 DuPont Advenced Fibers Systems, www.kevlar.com

Cho M.H. Kim S.J., Bash R.H., Fash J.W., Jang H., 2003 Tribological study of gray cast iron with automotive brake linings: The effect of rotor microstructure, Pp 537-545, Tribology Inernational 36

Cho M.H., Kim S.J., Kim D., Jang H., 2005 Effects of ingredients on tribological characteristics of a brake linning: an experimental case study, Pp 1682-1687, Wear 258

Eriksson M., Jacobson S., 2000 Tribological surfaces of organic brake pads, Pp 817-827, Tribology Inernational Vol 33 Iss 12

Ertan R.G., Yavuz N., 2006 Polimer matriksli fren balata malzemelerinin kompozisyon ve üretim parametreleri açısından değerlendirilmesi, Mühendis ve Makine, Cilt 47 sayı 553 Şubat 2006

Guan Q.F., Li G.Y., Wang H.Y. ve An J., 2004 Friction-wear characteristics of carbon fiber reinforced friction material, Pp 641-643, Journal of Material Science 39

Gurunath, P.V. Bijwe J., 2007 Friction and wear studies on brake-pad materials based on newly developed resin, Pp 1212-1219, Wear 263

Hee K.W., Filip P. 2005 Performance of ceramic enhanced phenolic matrix brake lining materials for automotive brake linings, Pp 1088-1096, Wear 259

Holman, J. P. 2002 Heat Transfer, 8th edition, Pp. 641–642 McGraw-Hill, Singapor

Jang H., Kim S.J., 2000 The effects of antimony trisulfide and zirconium silicate in the automotive brake friction material on friction characteristics, Pp-229-236, Wear 239 Vol 239

Jang H., Ko K., Kim S.J., Basch R.H. ve Fash J.W. 2004 The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials, Pp-406-414, Wear 256

Kim Y.H., Cho M.H., Kim S.J., Jang H., 2008 The effect of phenolic resin, potassium titanate, and CNSL on the tribological properties of brake friction materials, Pp-204-210, Wear 264

Liu Y., Fan Z., Ma H., Tan Y., Qiao J., 2006 Application of nano powdered rubber in friction materials, Pp-225-229, Wear 261

Matejkaa V., Lub Y., Fanb Y., Kratosovaa G. ve Leskova J. 2008 Effects of silicon carbide in semi-metallic brake materials on friction performance and friction layer formation, Pp-1121-1128, Wear 265

Mutlu, İ., Öner, C., 2002 Cam elyaf takviyeli disk fren balatalarının özelliklerinin incelenmesi, Sayfa 89-96, TEKNOLOJİ Sayı 3-4

Mutlu İ., Öner C., 2003 Asbestsiz disk fren balatalarında sıcaklık-sürtünme katsayısı-zaman ilişkisinin incelenmesi, Pp 121-127, Teknoloji 2003, Sayı 1-2

Mutlu İ., Öner C., Cevik İ., Fındık F., 2007 Wear performance of some phenolic composites with boric acid, Pp-38-45, Industrial Lubrication and Tribology, 59/1

Sulaiman, S. Yunus, R. Ibrahim, N.A. Rezae, F. 2008 Effect of hardener on mechanical properties of carbon fibre reinforced phenolic resin composites, Pp 78-86, Journal of Engineering Science and Technology Vol 3 No 1

Spurr R.T., 1972 Fillers in Friction Materials, Pp 367-372, Wear Vol 22

TS 9076. 1991, Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları İle Değerlendirilmesi, Türk Standartları Enstitüsü

Tsang P.H.S., Jacko M.G., Rhee S.K., 1985 Comparison of Chase and Inertia Brake Dynamometer Testing of Automotive Friction Materials, Pp 129-137, ASME Wear of Materials

Vaccari J.A., Brady G.S., Clauser H.R., 2002 Materials Handbook 2nd Ed, McGraw Hill, Singapor

Wang X., Wang S., Zhang S., Wang D., 2008 Wear mechanism of disc-brake block material for new type of drilling rig, Pp 10-16, Front. Mech. Eng. China 2008

Windhorst T. ve Blount G. 1997 Carbon-Carbon composites: A summary of recent developments and applications, Pp 11-15, Material & Design Vol 18 No 1

EK-A

TİPİK KOMPOZİSYONLAR

a. Tsang (1985)'ın kompozisyonu

Tsang, asbestsiz balatalar konusunda birçok test yapmıştır. Aşağıda üç örneği verilmektedir;

Asbestsiz Malzeme – I:

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça %)Miktar	Yorum
Bağlayıcı	Reçine	13-18	Termoset
Elyaf Takviye	Fiberglas	6-24	
	İnorganik Elyaf	8-16	
Sürtünme Tozu	---	0-20	
Elastomer	Polimer	0-20	
Karbon/Grafit	Karbon	1-4	
İnorganikler	---	12-32	
Metaller/Oksitler	---	0-19	

Asbestsiz Malzeme – II:

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça %)Miktar	Yorum
Bağlayıcı	Reçine	8-14	Termoset
Elyaf Takviye	Fiberglas	14-16	
	İnorganik Elyaf	10-16	
Sürtünme Tozu	---	0-7	
Elastomer	Polimer	0-7	
Antioksidan	Karbon/Grafit	18-34	
Dolgu Malzemesi	Baryum Sülfit	30	
İnorganikler	---	7-24	
Metaller/Oksitler	---	4-22	
Diğer	---	0-10	

Asbestsiz Malzeme – III:

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça %)Miktar	Yorum
Bağlayıcı	Reçine	10-20	Termoset
Metal Elyaf	Çelik	0-70	
Metal Tozu	Demir	20-70	
Sürtünme Tozu	---	0-18	
Elastomer	Polimer	0-18	
Antioksidan	Karbon/Grafit	10-30	
Dolgu Malzemesi	Baryum Sülfit	0-15	
İnorganikler	---	0-10	

b. Jang (2000)'ın Kompozisyonu

Dökme demirden yapılmış disk yüzeyler üzerinde çalışmak üzere dizayn edilen pabuç bileşimidir;

Fonksiyon	Malzeme	(Hacimsel %)Miktar	Yorum
Bağlayıcı	Fenolik Reçine	20	
Dolgu Malzemesi	Aramit Pulpası	6	
	Baryum Sulfat	20	
Elyaf	Seramik Elyaf	3	
	Cu Elyaf	3	
Katkı – vb.	Kalsiyum Hidroksit	3	
	Mahun Parçacıkları	10	
	Vermikülit	3	
	Mika	3	
Elastomer	Kauçuk	3	
Sürtünme Düzenleyici	MoS_2	3	
	Grafit	5	
	Sb_2S_3	2-6	
	$ZrSiO_4$	2-6	

c. Eriksson (2000)'un Kompozisyonu

Volvo 850 fren balatalarının tipik yapısı şu şekildedir;

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Bağlayıcı Malzeme	8	
	Diğer	11	
Dolgu	Kil ve Demir Oksit	8	
Elyaflar	Çelik, Aramit, Cam	30	
Sürt. Düzenl.	Pirinç/Bronz	15	
	Grafit	15	
	Metal Sülfit	8	
Abrazif	Kuartz	5	

d. Liu ve ark. (2006)'nın Kompozisyonu

Mineral ve çelik elyaf kullanılarak üretilen iki adet kompozisyon şu şekildedir;

Asbestsiz Malzeme I

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	12	Termoset
Dolgu	Nano Kauçuk Tozları	5	100 nm partikül boyutu
	Diğer	35	
Elyaflar	Çelik Elyaf	8	
	Mineral Elyaf	15	
Sürt. Düzenl.	Diğer	20	

Asbestsiz Malzeme II

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	16	Termoset
Dolgu	Nano Kauçuk Tozları	5	100 nm partikül boyutu
	Diğer	30	
Elyaflar	Çelik Elyaf	15	
	Mineral Elyaf	31	
Sürt. Düzenl.	Demir Tozları	3	

e. Arnab ve Raji (2008)'nin Kompozisyonu

Asbestsiz olarak geliştirdikleri kompozisyon şu şekildedir;

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	21	
	Silikon Takviyeli Reçine	3	
	Epoksi Takviyeli Reçine	23	
	Şellak	3	
Dolgu	Silikon Karpit	5	
	Kaju fıstığı kabuğu	14	
Elyaflar	Çelik Elyaf	16	
Sürt. Düzenl.	Grafit	5	
	Silika tozu	10	

f.Mutlu ve Öner (2003)'in Kompozisyonu

Asbestsiz olarak geliştirilen üç farklı kompozisyon şu şekildedir;

Asbestsiz Malzeme I

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	21	
Dolgu	Silikon Karpit	3	32µm partikül boyutu
	Cashew atıkları	11	
Elyaflar	Cam Elyaf	25	
Sürt. Düzenl.	Grafit	7	
Diğer		33	

Asbestsiz Malzeme II

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	21	
Dolgu	Silikon Karpit	3	32µm partikül boyutu
	Cashew atıkları	11	
Elyaflar	Kevlar Elyaf	25	Kevlar 49
Sürt. Düzenl.	Grafit	7	
Diğer		33	

Asbestsiz Malzeme III

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	21	
Dolgu	Silikon Karpit	3	32µm partikül boyutu
	Cashew atıkları	11	
Elyaflar	Taş yünü	25	
Sürt. Düzenl.	Grafit	7	
Diğer		33	

g. Mutlu ve Öner (2002)'in Kompozisyonu

Cam elyaf kullanılarak geliştirilen üç farklı komposizyon şu şekildedir;

Kompozisyon I

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	21	
Dolgu	Barit	5	
	Cashew Atıkları	11	
	Pik Tozu	15	
	Silikon Karpit	3	32µm partikül boyutu
Elyaflar	Cam Elyaf	25	
Sürt. Düzenl.	Grafit	7	
Diğer		13	

Kompozisyon II

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	10	
	Sıvı Reçine	10	
Dolgu	Barit	15	
	Cashew Atıkları	11	
	Pik Tozu	18	
	Silikon Karpit	3	32µm partikül boyutu
Elyaflar	Cam Elyaf	10	
Sürt. Düzenl.	Grafit	7	
Diğer		16	

Kompozisyon III

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	21	
Dolgu	Barit	5	
	Cashew Atıkları	11	
	Pik Tozu	35	
	Silikon Karpit	3	32µm partikül boyutu
Elyaflar	Cam Elyaf	2	
Sürt. Düzenl.	Grafit	7	
Diğer		16	

h. Cho ve ark. (2005)'nın Kompozisyonu

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	20	
Dolgu	Barit	20	
	Vermükilit	3	
	Cashew atıkları	10	
	Kauçuk tozları	3	
Elyaflar	Taş yünü	3	
Sürt. Düzenl.	Grafit	5	
	Potasyum titanat	9	
Diğer		27	

i. Matejka ve ark. (2008)'nın Kompozisyonu

Ağırlıklı olarak çelik elyaf kullanılarak geliştirilmiş fren balata kompozisyonu şu şekildedir;

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	15	
Dolgu	Kalsiyum Silikat	3	
	Kauçuk tozları	19	
	Silikon karpit	6	
Elyaflar	Çelik elyaf	39	
	PAN elyaf	7	
Diğer		11	

j. Gurunath ve Bijwe (2007)'nin Kompozisyonu

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	10	
Dolgu		37	Belirtilmemiş
Elyaflar	Aramid Elyaf		
	Cam Elyaf		
	PAN Elyaf		
	Çelik Elyaf	36	
Sürtünme Düz.		17	Belirtilmemiş

k. Hee ve Filip (2005)'in Kompozisyonu

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	20	
Dolgu	Barit	9	
Elyaflar		47	Belirtilmemiş
Sürtünme Düz.		24	Belirtilmemiş

l. Jang ve ark. (2004)'nın Kompozisyonu

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	20	
Dolgu	Barit	26	
	Kalsiyum Hidroksit	4	
	Cashew Atıkları	5	
Elyaflar	Bakır, Çelik, Alüminyum	15	
	Aramid Elyaf	15	
Sürtünme Düz.	Grafit	7	
	Molibden sulfid	4	
	$ZrSiO_4$	4	

m. Cho ve ark. (2003)'nın Kompozisyonu

Fonksiyon	Malzeme	(Ağırlıkça%) Miktar	Yorum
Matris	Fenolik Reçine	15	
Dolgu	Barit	20	
	Kalsiyum Hidroksit	4	
	Cashew Atıkları	10	
	Demir Tozları	6	
Elyaflar	Çelik Elyaf	15	
	Taş yünü	5	
	Aramid Elyaf	10	
Sürtünme Düz.	Grafit	10	
	$ZrSiO_4$	5	