



**ASBESTSİZ BAĞLAYICI İLE ÜRETİLEN FREN
BALATALARINDA DEMİR CÜRUFU
KULLANIMININ FRENLEME PERFORMANSINA
ETKİSİ**

Kamil AKDOĞAN

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU**

**ASBESTSİZ BAĞLAYICI İLE ÜRETİLEN FREN BALATALARINDA
DEMİR CÜRUFU KULLANIMININ FRENLEME PERFORMANSINA
ETKİSİ**

Kamil AKDOĞAN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU**

**KARABÜK
Eylül 2020**

Kamil AKDOĞAN tarafından hazırlanan “ASBESTSİZ BAĞLAYICI İLE ÜRETİLEN FREN BALATALARINDA DEMİR CÜRUFU KULLANIMININ FRENLEME PERFORMANSINA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 11/09/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. İbrahim MUTLU (AKÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Kamil AKDOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ASBESTSİZ BAĞLAYICI İLE ÜRETİLEN FREN BALATALARINDA DEMİR CÜRUFU KULLANIMININ FRENLEME PERFORMANSINA ETKİSİ

Kamil AKDOĞAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU

Eylül 2020, 99 sayfa

Bu çalışmada, asbestsiz bağlayıcı ile üretilen fren balatlarında demir cürufunun performansa etkileri incelenmiştir. Demir cürufu, fren balatlarında 3 kategoride kullanılmıştır. Bir adet cüruf kullanılmayan referans numune ile birlikte aşındırıcı, yağlayıcı ve dolgu maddesi, 3 farklı kategoride kullanılmıştır. Bir numunede ise cüruf, bu 3 kategorinin hepsinde kullanılmıştır. Toplamda, 5 farklı balata numunesi üretilmiştir. Balataların üretiminde, ilk aşamada, sıcak pres prosesi uygulanmıştır. Sonrasında, balatalar, ısıl işleme tabi tutularak sertlik kazandırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, cürufun 3 farklı kategoride aynı anda kullanıldığı numune, en yüksek sürtünme katsayısına sahiptir ($\mu = 0,5552$). Buna karşın, sürtünme düzensizliği fazladır. Sürtünme düzensizliği en düşük olan, en kararlı numune ise,

cürufun aşındırıcı olarak kullanıldığı numunedir. Cürufun yağlayıcı olarak kullanıldığı numune başarısız sonuçlar vermiştir. Cürufun dolgu maddesi olarak kullanılması balataya zarar sağlamamış, aksine faydalı olmuştur.

Anahtar Sözcükler : Frenleme performansı, Demir cürufu, Frenleme kararlılığı,
Fren balatası

Bilim Kodu : 91435

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF IRON SLAG ON BRAKING PERFORMANCE OF NON- ASBESTOS BONDED BRAKE PADS

Kamil AKDOGAN

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Selami SAGIROGLU

September 2020, 99 pages

In this study, effect of iron slag on non-asbestos brake pads were reviewed. Iron slag has been used in 3 different categories. One sample is produced without iron slag as reference results and other 3 samples are produced with iron slag as abrasive, lubricant and filler. One other sample are produced with iron slag as 3 of these categories. In total, 5 different brake pad samples are produced. At the first, hot pres process are used in production of brake pads. After that pads are applied to heat process for gaining hardness.

As the obtained results, the sample which uses iron slag as 3 of these categories together has the most coefficient of friction ($\mu= 0,4552$). However, friction irregularity has been observed too much. The sample with the lowest irregularity, and the most stable, is the sample, in which slag is used as abrasive. The sample which

used iron slag as lubricant has given the failed results. Usage of slag as filler has no harmful results in brake pads, unlike became beneficial.

Key Words : Blast furnace slag, Braking performance, Braking stability,
Brake pad

Science Code : 91435

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU'na sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Balata malzemelerini koőulsuz őartsız bana sağlayan Zem Kimya başta olmak üzere, SKC Karbon, Kardemir A.Ő. ve Karımsa firmalarına, üretim ve testlerimi doğru şekilde yapmamı sağlayan KBÜ MARGEM (Karabük Üniversitesi Malzeme Araőtırma ve Geliőtirme Merkezi)'ne desteklerinden dolayı minnettarım. Bu alıőma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araőtırma Projeleri Koordinatörlüğü Tarafından Desteklenmiőtir.

Sevgili aileme ve halen yanıda hissettiğim rahmetli babama maddi manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımıda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
BÖLÜM 3	15
FREN SİSTEMLERİ VE FREN BALATALARI.....	15
3.1. FREN BALATALARINDA KULLANILAN MALZEMELER	16
3.1.1. Yapısallar	17
3.1.2. Bağlayıcılar	18
3.1.3. Aşındırıcılar	20
3.1.4. Yağlayıcılar	21
3.1.5. Dolgu Malzemeleri.....	22
3.2. ZENGİNLESTİRİLMİŞ CÜRUF	23

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	25
MATERYAL VE METOD	25
4.1. MATERYAL.....	25
4.1.1. Balata Deney Numunelerinde Kullanılan Malzemeler	30
4.2. METOD	33
4.2.1. Balata Numunelerinde Kullanılacak Tozların Karıştırılması.....	33
4.2.2. Balata Numunelerinde Kullanılan Sıcak Pres Prosesi	35
4.2.3. Balata Numunelerinde Isıl İşlem Uygulaması.....	37
4.2.4. Balata Numunelerinin Tesler İçin Hazırlanması	38
4.2.5. Sürtünme – Aşınma Testleri.....	39
4.2.6. Sertlik Ölçümü.....	41
4.2.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	42
4.2.8. Aşınmış Yüzeylerin Mikroyapısının İncelenmesi	44
BÖLÜM 5	45
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	45
5.1. SÜRTÜNME – AŞINMA DEĞERLERİ	45
5.2. SERTLİK DEĞERLERİ.....	68
5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ	71
5.4. YÜZEY MİKROYAPI SONUÇLARI	74
BÖLÜM 6	87
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.1.	Fren balatası üretiminde kullanılan sıcak pres sistemi	26
Şekil 4.2.	Fren balatalarının ısııl işleminde kullanılan fırın	26
Şekil 4.3.	UTS tribometer sürtünme-aşınma cihazı	26
Şekil 4.4.	Balata yüzey sıcaklığını ölçmek için kullanılan lazer termometre	27
Şekil 4.5.	Balata numunelerinin tartılmasında kullanılan 1/10000 hassas terazi....	27
Şekil 4.6.	Fren balatalarında yapısal malzeme olarak kullanılan bronz talaşı	28
Şekil 4.7.	Fren balatalarında yapısal malzeme olarak kullanılan bakır tozu	28
Şekil 4.8.	Fren balatalarında aşındırıcı olarak kullanılan demir III oksit.....	29
Şekil 4.9.	Fren balatalarında aşındırıcı olarak kullanılan alüminyum oksit	29
Şekil 4.10.	Fren balatalarında yağlayıcı olarak kullanılan grafit tozu	30
Şekil 4.11.	Balata numunelerinin karıştırılmasında kullanılan türbülent tipi mekanik karıştırıcı	34
Şekil 4.12.	Sıcak pres prosesinde sıcaklık ve basıncın zamana bağlı değişimi.....	36
Şekil 4.13.	Balata numunelerinde uygulanan ısııl işlem prosesinde sıcaklığın zamana bağlı değişimi	38
Şekil 4.14.	Testlerin daha sağlıklı yapılabilmesi amacıyla bakalit gömme yapılmış balata numuneleri	38
Şekil 4.15.	Sürtünmeli yüzeylerde yüzey pürüzlülüğü ile meydana gelen sürtünme mekanizmasının gösterimi	43
Şekil 5.1.	Her bir numunenin farklı yüklerde sahip oldukları ortalama sürtünme katsayısı değerleri.....	46
Şekil 5.2.	Balata numunelerinin ortalama sürtünme katsayısı değerlerinin karşılaştırılması	47
Şekil 5.3.	REF kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	48
Şekil 5.4.	REF kodlu numunenin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	48
Şekil 5.5.	REF kodlu numunenin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	48
Şekil 5.6.	BT1 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	49
Şekil 5.7.	BT1 kodlu numunenin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	49
Şekil 5.8.	BT1 kodlu numunenin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	49

Şekil 5.9.	BT2 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	50
Şekil 5.10.	BT2 kodlu numunenin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	50
Şekil 5.11.	BT2 kodlu numunenin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	50
Şekil 5.12.	BT3 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	51
Şekil 5.13.	BT3 kodlu numunenin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	51
Şekil 5.14.	BT3 kodlu numunenin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	51
Şekil 5.15.	BT4 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	52
Şekil 5.16.	BT4 kodlu numunenin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	52
Şekil 5.17.	BT4 kodlu numunenin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimi ...	52
Şekil 5.18.	REF kodlu numunenin farklı yükler altında sürtünme katsayısının değişimi.....	53
Şekil 5.19.	BT1 kodlu numunenin farklı yükler altında sürtünme katsayısının değişimi.....	54
Şekil 5.20.	BT2 kodlu numunenin farklı yükler altında sürtünme katsayısının değişimi.....	54
Şekil 5.21.	BT3 kodlu numunenin farklı yükler altında sürtünme katsayısının değişimi.....	55
Şekil 5.22.	BT4 kodlu numunenin farklı yükler altında sürtünme katsayısının değişimi.....	55
Şekil 5.23.	REF kodlu numunenin 10N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	57
Şekil 5.24.	REF kodlu numunenin 20N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	58
Şekil 5.25.	REF kodlu numunenin 40N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	58
Şekil 5.26.	BT1 kodlu numunenin 10N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	58
Şekil 5.27.	BT1 kodlu numunenin 20N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	59
Şekil 5.28.	BT1 kodlu numunenin 40N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	59
Şekil 5.29.	BT2 kodlu numunenin 10N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	59

Şekil 5.30. BT2 kodlu numunenin 20N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	60
Şekil 5.31. BT2 kodlu numunenin 40N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	60
Şekil 5.32. BT3 kodlu numunenin 10N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	60
Şekil 5.33. BT3 kodlu numunenin 20N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	61
Şekil 5.34. BT3 kodlu numunenin 40N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	61
Şekil 5.35. BT4 kodlu numunenin 10N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	61
Şekil 5.36. BT4 kodlu numunenin 20N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	62
Şekil 5.37. BT4 kodlu numunenin 40N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi	62
Şekil 5.38. Özgül aşınma oranlarının karşılaştırılması	66
Şekil 5.39. Sertlik değerlerinin karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.40. Yüzeyi yeterince pürüzlü olan numunelerde birincil ve ikincil pürüzlülük seviyelerinin ölçülmesi.....	71
Şekil 5.41. Yüzey pürüzlülüğü ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişki.....	74
Şekil 5.42. REF kodlu balata numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü	76
Şekil 5.43. REF kodlu balata numunesinin yakınlatılmış aşınmış SEM görüntüsü.....	77
Şekil 5.44. BT1 kodlu balata numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü	77
Şekil 5.45. BT1 kodlu balata numunesinin yakınlatılmış aşınmış SEM görüntüsü.....	78
Şekil 5.46. BT2 kodlu balata numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü	78
Şekil 5.47. BT2 kodlu balata numunesinin yakınlatılmış aşınmış SEM görüntüsü.....	79
Şekil 5.48. BT3 kodlu balata numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü	79
Şekil 5.49. BT3 kodlu balata numunesinin yakınlatılmış aşınmış SEM görüntüsü.....	80
Şekil 5.50. BT4 kodlu balata numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü	80
Şekil 5.51. BT4 kodlu balata numunesinin yakınlatılmış aşınmış SEM görüntüsü.....	81
Şekil 5.52. REF kodlu numunenin yüzey aşınma mekanizmaları	82
Şekil 5.53. BT1 kodlu numunenin yüzey aşınma mekanizmaları	83

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.54. BT2 kodlu numunenin yüzey aşınma mekanizmaları	84
Şekil 5.55. BT3 kodlu numunenin yüzey aşınma mekanizmaları	85
Şekil 5.56. BT4 kodlu numunenin yüzey aşınma mekanizmaları	86
Şekil 6.1. Numunelerin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimleri	90
Şekil 6.2. Numunelerin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimleri	90
Şekil 6.3. Numunelerin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimleri	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Kardemir A.Ş. yüksek fırınından elde edilen demir cürufunun içerisindeki bileşiklerin kütlece kimyasal oranları	23
Çizelge 4.1. Üretilen balata numunelerinde kullanılan kimyasalların kütlece yüzdesel kompozisyonları.....	32
Çizelge 4.2. Fren performans testlerinde cihaza kaydedilen test parametreleri	40
Çizelge 5.1. Her bir numunenin ortalama sürtünme katsayısı değerleri	46
Çizelge 5.2. Sürtünme katsayısı ortalaması ve sürtünme katsayısına bağlı sürtünme kararlılığı.....	56
Çizelge 5.3. Balata numunelerinin her bir test esnasında ulaştıkları maksimum sıcaklık değerleri	63
Çizelge 5.4. Balata numunelerinin test öncesi ve sonrası ağırlıkları ve aşınma kaybı.....	64
Çizelge 5.5. Özgül aşınma hesabında kullanılan değişken parametreler ve özgül aşınma oranları	66
Çizelge 5.6. Numunelerin ulaştığı maksimum çalışma sıcaklığı ile özgül aşınma oranlarının karşılaştırılması.....	68
Çizelge 5.7. Balata numunelerinde kullanılan malzemelerin mohs değerleri	68
Çizelge 5.8. Fren balatası numunelerinin ölçülen sertlik değerleri (Shore D)	69
Çizelge 5.9. Balata numunelerinde sertlik ile özgül aşınma oranlarının karşılaştırılması.....	70
Çizelge 5.10. Yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	73
Çizelge 6.1. TS555 standardına göre fren balata sınıfları	92
Çizelge 6.2. Üretilen balata numunelerinin TS555 balata sınıfları	92

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al_2O_3	: alümina
Fe_2O_3	: demir III oksit
SiO_2	: silisyum oksit
$CaCO_3$: kalsiyum karbonat
MgO	: magnezyum oksit
MnO	: manganez oksit
K_2O	: potasyum oksit
Na_2O	: sodyum oksit
Ti_2O	: titanyum oksit
COF	: coefficient of friction [Sürtünme katsayısı]
FS	: sürtünme kararlılığı yüzdesi
μ	: sürtünme katsayısı
m	: kütle [gr]
W	: özgül aşınma [cm^3/Nm]
f_m	: ortalama sürtünme kuvveti [N]
n	: dönüş sayısı [rpm]
F	: Fren basınç kuvveti [N]
L	: alınan yol [metre]
ρ	: yoğunluk [gr/cm^3]
kV	: kiloVolt

KISALTMALAR

TS555 : Türk Standardı (Karayolu taşıtları için sürtünmeli fren sistemleri)

SEM : Scanning Electron Microscope (taramalı elektron mikroskobu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Fren balataları, frenleme işlemi gerçekleştirilirken hareketi sağlayan tahrik kuvveti ile gelen dönel harekete karşı koymak için oluşturulan fren kuvvetinin sağlıklı bir şekilde iletilmesini sağlar. Bu esnada, fren tekerleğe bağlı disk veya kampanaya zarar vermek yerine frenleme kuvvetinin iletimini sağlayan fren balatası, oluşan bu sürtünme kuvvetini sönmölemek nedeniyle aşınır. Bu aşınmanın sebebi ise, sürtünmeye bağlı oluşan ısı enerjisidir. Fren balatalarında kullanılan malzemelerin amacı, bu ısı enerjisine optimum şekilde karşı koyarak aşınmayı en aza indirmektir. Buna karşın, fren balatasının maruz kaldığı sürtünme kuvvetini de en stabil şekilde tekerlekteki dönme hareketini engelleyecek şekilde, dolayısıyla fren diski veya kampanasına iletmesi amaçlanmaktadır. Fren kuvvetindeki stabilite yani kararlılık, frenleme esnasında taşıtın yol tutuşunu doğrudan etkilemektedir. Fren kuvvetinin yetersiz olması, planlanan frenleme hareketinin geç oluşmasına sebep olabilir. Fakat, frenleme kuvvetinin aşırı fazla olması da amaçlanan yavaşlama hareketi ile birlikte lastiklerin kilitlenmesine sebep olur. Bu da lastiklerin dönmemesine karşın taşıtın hareketine devam etmesine sebep olur ve taşıtın kontrolü kaybedilir. Bu en istenmeyen durumdur.

Yukarıda anlatılan etmenlerden dolayı, fren balatalarında birçok farklı malzeme kullanılır. Başlıca sürtünme kuvvetini oluşturacak malzemeler, aşındırıcılar başta olmak üzere, bağlayıcılar, yağlayıcılar, yapısal malzemeler ve dolgu maddeleri şeklinde 5 genel başlık altında incelenmektedir.

Aşındırıcı malzemeler, sürtünme kuvvetini oluşturarak balatanın asıl görevini yerine getirmesini sağlar. Aşındırıcı malzemeler, oksitli bileşiklerden oluşur. Bunlardan başlıca olanları, Alüminyum oksit, (Al_2O_3), Demir Oksit (Fe_2O_3), Silisyum Oksit (SiO_2), Magnezyum Oksit (MgO) olarak adlandırılabilir. Silisyum karpit, bütün

aşındırıcı sistemlerinde (taşlama, metal kesimi v.s.) temel aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Fakat fren sistemleri için silisyum karpit tozunun fazla kullanımı, sistemdeki karşı metal yüzeyin de fazla aşınmasına sebep olabileceğinden, silisyum karpit genellikle az miktarlarda kullanılmaktadır. Bakır tozu ise, sistemde oksitlenerek yapısal kuvveti desteklemesinin yanı sıra yumuşak yapısı ile sürtünme kuvvetini daha stabil hale getirmek amacıyla da kullanılmaktadır.

Bağlayıcılar, balata sistemindeki toz ve lif yapıdaki malzemeleri birbirine adhezyon kuvveti ile bağlamaktadır. Bağlayıcı malzeme, balata sisteminin temel yapıtaşlarından birisidir. Eskiden bağlayıcı malzeme olarak yüksek performans veren asbest kullanılmaktaydı. Asbest üretimden sonra katılaşıp malzemeleri bir arada tutar. Fakat asbest, frenleme esnasında oluşan aşınma tozları ile birlikte ortama salınır ve çevre sağlığı açısından zararlı emisyonlar oluşturmaktadır. Bu yüzden, sentetik olarak üretilen asbest yerine daha çok doğal malzemelerden üretilen özel reçineler kullanılmaktadır. Fren balatalarının üretiminde, genel olarak novolak reçineler kullanılır. Bu reçineler, büyük oranda doğal yollardan üretilir ve pek çok farklı alanda kullanılabilir. Toz halindeyken, diğer malzemelerle kolayca karışan reçine sıcak pres esnasında, yüksek basınç ve sıcaklık altında önce sıvı hale gelerek malzemelere yapışır, sonra soğuma esnasında katılaşıp diğer malzemelerin birbirine yapışmasını sağlar ve istenilen kalıbın şeklini almış olur.

Yağlayıcı malzemeler, balata sisteminde frenleme esnasında balatanın karşı yüzeye yapışmasını önler. Ayrıca bakır oksitle birlikte sürtünme kuvvetindeki kararlılığı artırarak, optimum frenleme işleminin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu sistemlerde kullanılan yağlayıcı malzemeler, ağır makine sanayisinde kullanılan katı yağlayıcılardır. Bu malzemelerin en kullanışlı olanı grafitir. Ayrıca çinko sülfat ve diğer metal sülfatlar da yağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Yağlayıcıların kullanılmasındaki en önemli amaçlardan birisi de balata yüzeyinde bir sürtünme filmi oluşturarak aşınmayı ciddi oranda azaltmaktır.

Sürtünme filmi, daha kaygan bir yüzey olmasına rağmen yüzey pürüzlülüğü daha fazladır. Bu sayede, daha pürüzsüz ama üzerindeki fren basıncına karşı daha dayanıklı bir yüzey oluşmaktadır.

Yapısal malzemeler, balata sistemi içerisinde bir ağ oluşturarak sistem içerisindeki kesme kuvvetlerine karşı bir direnç oluşturur. Yapıştırıcı ile birlikte, balata sisteminin bir arada tutunmasını sağlar. Özellikle yüksek sıcaklıklarda, bağlayıcı, reçine malzemesinin dağılmaya başlaması ile birlikte gereken birleştirici eksikliğini, yapısal lifli malzemeler sağlar. Ayrıca, yapısal malzemeler sürtünme kararlılığının da artmasına yardımcı olmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda yanmaya dayanıklı malzemeler (Çelik yünü, kaya yünü, aramid lifler v.b.) sürtünme kararlılığını artırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Dolgu malzemeleri, genellikle eksik kalan kütleyi tamamlamaktan veya balatanın yoğunluğunu dengelemekten ziyade ısı iletkenliğinin artırılması için porozif (delikli) yüzeyin oluşturulması amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, aşındırıcıya takviye olarak veya başka amaçla kullanılan malzemelere destek olması amacıyla kullanılabilir.

Demir cürufu, yüksek fırınlarda ham demir cevherinden demir üretimi esnasında açığa çıkan bir yan üründür. Yapısında toprağın temel bileşenleri olan silikatlar ve alüminyum oksit bol miktarda bulunmaktadır. Ayrıca, bir miktar demir ve kullanılan toprağın yapısına bağlı olarak farklı metalik bileşikler ve oksitleri de bulunabilmektedir. Buna ek olarak, yüksek fırınlarda cürufu toplamak için fırına eklenen CaCO_3 kireçtaşı da kalsiyum oksit bileşiğine dönüşerek cürufun yapısına katılmaktadır. Bu bileşiklerin birçoğu fren balatalarında kullanılmaktadır. SiO_2 , cerrahi operasyonlar gibi yüksek hassasiyet gerektiren aşındırıcıların temel yapıtaşını oluşturmaktadır. Alümina (Al_2O_3), ısı iletkenliği yüksek ve aşınması düşük bir aşındırıcı olarak bilinmektedir. Ayrıca, kalsiyum oksit tozu fren balatalarında kullanılan güvenilir bir dolgu maddesi olarak bilinmektedir. İçerisinde bulunan metal oksitlerin ve seramik tozlarının hâlihazırda fren balatalarında kullanılıyor olması, bu çalışmanın temel merak edilen alanıdır. Kolay toz haline getirilebilmesi, çimento yapısında bağlayıcı gibi çeşitli görevlerde bulunması ve kolay kalıplanabilmesi de üretim kolaylığını sağlamaktadır.

Çalışma içerisinde fren balatalarının performansına etki eden faktörler ve üretiminde kullanılan malzemeler birinci bölümde incelenmiştir. Literatür taraması ikinci bölümde açıklanmıştır. Fren sistemleri, fren balataları üretimi ve kullanılan malzemeler üçüncü bölümde açıklanmıştır. Materyal ve metod dördüncü bölümde ve deneysel sonuçlar beşinci bölümde, sonuçlar ve tartışma altıncı bölümde açıklanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, fren balatalarında demir cürufu kullanımının performansa etkilerini incelemektir. Bu sayede demir cürufunun fren balatası içerisinde hangi amaçlarla kullanılabilceği kanıtlanacaktır. Cürufun, sürtünme katsayısına ve stabilitesine faydaları, aşınmaya etkileri ve aşınmış balata yüzeyine fayda ve zararları incelenerek tartışılacaktır. Ayrıca, üretilen balataların hangi standartlara bağlı olabileceği de gösterilecektir. Üretilen balata numunelerinin içerisinde, hangisinin başarılı ve en kullanışlı olduğu da gösterilecektir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Ertan ve Yavuz'un 2010 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, fren balatalarında kullanılan yapısal malzemelerin balata performansına etkileri incelenmiştir. Bakır tozu, Kaya yünü ve Aramid lifleri 7 farklı balata numunesinde, farklı oranlarda karıştırılarak farklı kütleli kompozisyonlarda balata numuneleri oluşturulmuştur. Balataların yoğunluğu, yüzey pürüzlülüğü ve sertlik ölçümleri, sürtünme aşınma testlerinden sonra yapılmıştır. Sürtünme aşınma testleri, sıcaklığa bağlı olarak yapılmış, 205 °C sınır sıcaklık kabul edilerek bu sıcaklığın altındaki testler soğuk, üstündeki testler ise sıcak frenleme bölgesi olarak adlandırılmıştır. Ayrıca, SEM görüntüleme yardımıyla testlerin sonrasında sıcaklığa ve kullanılan yapısal malzemeye göre sürtünme filminin oluşumu ve sürtünme katsayısının stabilitesine etkileri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, her malzemenin sürtünme katsayısının fazlalığı, kararlılığı ve aşınma miktarının durumuna göre yorumlanmış ve her bir yapısal malzemenin farklı avantajları ve dezavantajları olduğu kaydedilmiştir [1].

Barros v.d. 2016 yılında yaptıkları çalışmada, elde ettikleri farklı balata numunelerinin sürtünme-aşınma testleri sonrası yüzeylerinin morfolojik analizleri yapılmıştır. Çalışmada, asbestsiz ve yarı metalik özelliklere sahip 2 farklı numune seçilmiştir. Testler, geliştirilen özel bir laboratuvar boyutundaki cihazda gerçekleştirilmiştir. Balata yüzeyinin morfoloji haritası özel bir mikroskop cihazı ile oluşturulmuştur. Test esnasında aracı, 7,7 m/s den 0 m/s hızına getirebilecek 600 N ve 1200 N frenleme kuvvetleri uygulanarak, gerçek şartlar simüle edilmiştir. Bu çalışmadaki asıl amaç, frenleme kuvvetinin balata yüzeyindeki sürtünme filminin üzerindeki etkilerini incelemektir. Sonuç olarak, yarı metalik fren balatası daha heterojen bir sürtünme yüzeyi oluşturmuş, buna karşın daha kararlı bir sürtünme katsayısı sağlamıştır. Ayrıca, asbestsiz bağlayıcı özelliğindeki fren balatası ise daha

dayanıklı bir sürtünme filmi oluşturarak aşınma oranı yarı metalik balataya göre daha az olmuştur [2].

Boz ve Kurt'un 2006 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, bronz tabanlı yarı metalik fren balatalarına sepiyolit takviyesi yapılmasının, frenleme performansına etkileri incelenmiştir. İki değişik aşamada gerçekleştirilen bu çalışmada, ilk olarak konvansiyonel bronz tabanlı numuneler üretilmiş, sonrasında ise aynı numuneler sepiyolit katkısıyla üretilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada yoğunluk, sinterleme öncesi ve sonrasında ölçülmüş ve malzemenin sinterleme öncesi ve sonrası yoğunlukları da gözlemlenmiştir. Aynı şekilde, sinterleme sonrası sertliğin aşırı artmasının, ani sıcaklık değişimine maruz kalan fren sistemlerinde, balata yapısında yüzeysel ve içsel çatlakları oluşturabileceği öngörülmüştür. Sürtünme katsayısındaki değişimin sebebini de frenleme esnasında sürekli bir yapışma ve bırakma durumunun tekrarlandığı şeklinde açıklanmıştır. Sepiyolit ilavesinin kütleli miktara bağlı olarak sertliği düşürdüğü, bu durumun yüksek sürtünme katsayısı ve buna karşın yüksek aşınma oranına sebep olduğu ispatlanmıştır [3].

Lagel v.d. 2016 yılında yaptıkları çalışmada, biyolojik hammaddelerden sentezlenen reçineler ve doğaya daha az zararlı malzemelerden, farklı balata numuneleri üretmişlerdir. Bu çalışmada, tanin içerikli 19 farklı balata numunesi üretilmiş, bir tanesi test esnasında kırılmıştır. Bu numunelerin Brinell sertlik ölçümleri yapılarak, sürtünme-aşınma testleri yapılmış, testler sonucunda ortaya çıkardıkları zararlı emisyonlar ölçülmüştür. Bu analizlerde ele alınan iki ana konu olan kalınlık ve ağırlık kaybını kısaca açıklamak gerekirse, aşınma miktarının analizidir. Bu çalışma sonucunda, organik reçinelerin ve diğer bazı malzemelerin petrokimyasalların yerine kullanılabilmesi kanıtlanmıştır [4].

Mutlu ve Öner'in 2002 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, cam elyafı takviyesinin disk fren balatalarındaki performans etkileri incelenmiştir. Cam elyafı içerisindeki oksitli bileşiklerin, aşındırıcı özelliklerine de katkı sağladığı öngörülmüştür. Cam elyafın yanı sıra, çalışmamıza benzer şekilde pik tozu ve sıvı reçine de kullanılmıştır. Aşındırıcı katkısı olarak da standart aşındırıcı malzeme olan silisyum karpit katkısı yapılmıştır.

Testler, çalışmamızda kullanılan pin on disk testine benzer bir test düzeneği ile TSE555 standardına uygun şekilde 0,7 MPa basınç altında ve balata yüzeyinin % 95'i diske temas edecek şekilde yapılmış, sıcaklık ölçümü ise balata numunesine yerleştirilen termik metal çifti ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sinterlenmiş balataların sinterlenmemiş balatalara oranla daha az aşındığı tespit edilmiştir. Sıcaklığa bağlı testler ise 50 °C ve 400 °C arasında 3 farklı aşamada incelenmiştir. Ayrıca, yüzey filmi oluşumu da SEM görüntüleme yardımıyla gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, doğru oranlarda ve yöntemlerde kullanılan cam elyafının asbestin yerine kullanılabilceği öngörülmüştür [5].

Mutlu v.d. 2007 yılında yaptıkları çalışmada, fenolik kompozitlerdeki borik asidin frenleme performansına etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, 10 farklı numunenin 5'inde % 10 oranda borik asit katkısı eklenmiştir. Numunelerin sadece yarısı 200°C sıcaklık altında 8 saat boyunca ısı işleme tabi tutulmuştur. Testler 1050 kPa ve 3000 kPa yük altında ve 23,4 km frenleme yolu altında yapılmıştır. Sürtünme-aşınma testleri sonrasında, Brinell sertliği ve yüzey pürüzlülüğü de ölçülmüştür. Bu çalışma sonucunda da bakır tozunun aşınmayı ve sürtünme katsayısını azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca borik asit katkısı ile birlikte, sürtünme katsayısının arttığı da kanıtlanmıştır. Bunun ana sebebinin de borik asidin yapısında tuttuğu suyun stabilizeyi arttırdığı şeklinde yorumlanmıştır. SEM analizleri sonucunda ise daha büyük tanecik boyutundaki malzemelerin, daha fazla mikro çatlaklara sebep olduğu gözlemlenmiştir. Isıl işlemin daha homojen numuneler elde edilmesine fayda sağladığı ve sertliği arttırıp yoğunluğu azalttığı kanıtlanmıştır [6].

Mutlu v.d. 2005 yılında yaptıkları çalışmada, fren balatalarında seramik katkısının, frenleme karakterizasyonuna etkileri incelenmiştir. Numuneler üretilirken 5 farklı amaç altında 14 farklı malzeme kullanılmıştır. Taş yünü seramik katkı olarak numunelere farklı oranlarda eklenmiştir. Buna karşın, kıyaslama amacıyla kevlar katkılı numuneler de üretilmiştir. Testler sürtünme-aşınma testi, yoğunluk, sertlik, yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve SEM yüzey mikro yapısı görüntülemesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca testler su, tuzlu su ve fren hidroliği sıvısı ortamlarında da yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, kevlar ve taş yününün benzer şekilde balata yapısı içerisinde güzel bir şekilde dağıldığı ve mikro yapıdaki çatlakları önlediği

kanıtlanmıştır. Sıcaklığın ve sertliğin de daha çok aşınma miktarını etkilediği gözlemlenmiştir [7].

Sugözü v.d. 2018 yılında yaptıkları çalışmada, üleksit ve boraks katkısının fren balatası üzerindeki etkileri incelenmiştir. Üretilen numunelerde boraks, sürtünme düzenleyici olarak kullanılmış, boraksın gerçekten de sürtünme kararlılığını arttırdığı kanıtlanmıştır. Bu numunelerde aşınma oranı yüksek ve sertliği düşük olan numunelerin, yüzey pürüzlülüğünün daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, sürtünme katsayısının sertlik ve yoğunlukla doğru orantılı olarak değiştiği de öngörülmüştür [8].

Neis v.d. 2017 yılında yaptıkları çalışmada, mikro yapının, sürtünme yüzeyi filmi üzerindeki etkilerini anlamak amaçlanmıştır. Numuneler asbestsiz bağlayıcı ve metalik fiber yapıya sahip fren balataları şeklinde üretilmiştir. Bu çalışmada, özellikle numunelerin testten sonra yüzey özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve morfolojik yüzey haritaları çıkarılmıştır. Sonuç olarak, asbestsiz olarak üretilen fren balatalarının yüzeye tutunma kabiliyetinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın, metalik fiber yapıya sahip balataların ise daha yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu gösterilmiştir. Asbestsiz bağlayıcı kullanılan fren balatalarının ise daha kararlı bir sürtünme kuvveti oluşturduğu gözlemlenmiştir [9].

Polajnar v.d. 2017 yılında yaptıkları çalışmada, grafit bakımından zengin eğilebilir (ductile) demirin aşınma performansına kademeli olarak etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, numuneler üretilirken, farklı metal tozları toz metalürjisi ile üretilmiş, ısıl işlem sırasında bazılarının (özellikle silisyum ve demir) oksitlenerek aşındırıcı özellik kazanması amaçlanmıştır. Ayrıca, bu şekilde karbon takviyeli sürtünme yüzeyi elde edilmiştir. Testler, doğrusal ve dairesel iki farklı test cihazında yapılmıştır. Testler esnasında, sistemin sıcaklığı da ölçülerek sıcaklığın da etkileri gözlemlenmiştir. Sıcaklığa bağlı demir fazlarının birbirine dönüşmesi performansı etkilemiştir [10].

Singh v.d. 2015 yılında yaptıkları çalışmada, çimento fırını tozu katkısının fren balatası performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı kompozisyonlarda

üretilen numunelerde, çimento fırını tozu oranı sabit tutulmuş, buna karşın diğer malzemelerin oranları değiştirilerek optimum karışım keşfedilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, fenolik reçine ile üretilen numunelerin daha yüksek ve stabil bir sürtünme katsayısına sahip olduğu, diğer yandan tohumsal yağlarla bağlanan numunelerin daha yüksek bir aşınma direncine sahip olduğu gösterilmiştir [11].

Uyyuru v.d. 2007 yılında yaptıkları çalışmada, Alüminyum, Silisyum ve Silisyum karpit matrisli fren balatalarının aşınma ve sürtünme davranışları incelenmiştir. 3 farklı malzeme kompozisyonu ile üretilen numuneler, pin on disk test cihazı ile test edilmiş, standartlara bağlı sertlik, yoğunluk ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada asıl amaç malzemelerin etkilerinden ziyade yüke ve sıcaklığa bağlı frenleme davranışlarının incelenmesidir [12].

Topuz v.d. 2007 yılında yaptıkları çalışmada, trenler için kompozit fren balatalarının üretiminde bazı geliştirmeler deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, baryum sülfat, aramid fiber, lastik tozu, demir tozu ve alümina malzemeleri 3 farklı kimyasal kompozisyonda karıştırılarak, farklı özelliklere sahip 3 farklı fren balata numunesi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ticari olarak piyasada kullanılan bir demiryolu fren balatası ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Burada, kürlenme olarak adlandırılmış ısı işlem prosesinin aşınmaya etkisi olduğu kanıtlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çimento fırınlarındaki uçucu kül katkılı numunenin en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir [13].

Öztürk'ün 2018 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, alüminyum oksit, silisyum karpit ve baryum sülfat seramik tozlarının ve bu tozların tanecik boyutlarındaki değişimin fren balataları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Numunelerde, alümina tanecikleri 23 ve 60 mikron, silisyum karpit tanecikleri 53 ve 85 mikron, baryum sülfat tanecikleri ise 22, 85 ve 145 mikron olarak seçilmiştir. Bu sayede, 7 farklı balata numunesi elde edilmiştir. Numuneler, chase tipi test cihazında standartlara uygun bir şekilde test edilmiştir. Sonuçlara göre, en yüksek sürtünme katsayısı değeri 63 mikron tanecik boyutundaki alümina içeren numunede gözlemlenmiştir. En az aşınma miktarı ise 25 mikron tanecik boyutundaki alümina içeren numunede gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak, alümina tanecikleri iyi aşınma direnci ve sürtünme katsayısı performansı

göstermiştir. Tanecik boyutunun büyüklüğü, sürtünme katsayısını artırırken, aşınmayı da artırmaktadır [14].

Erdoğan'ın 2019 yılında yaptığı çalışmada, yüksek fırın cürufu takviyesinin epoksi kompozitler içerisinde kuru kayma özellikleri incelenmiştir. Yüksek fırın cürufu takviyesi alümina takviyesi ile karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufunda, % 40 oranda silisyum oksit bulunmaktadır. Buna karşın, kullanılan alüminyum oksitin saflık derecesi % 98 civarındadır. Elde edilen numuneler, 15 ve 20 N yük altında 300 rpm devir ile 300 metre boyunca test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yük artışı hacimsel kayıpların armasına sebep olmaktadır. Ayrıca, numunelerde kullanılan alümina tanecikleri 61, 91 ve 125 mikron olacak şekilde 3 farklı boyutta seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yüksek fırın cürufu takviyeli numuneler her koşulda daha az plastik deformasyona uğrayarak, daha az aşınma göstermektedir. Özellikle 125 mikron tanecik boyutundaki alümina takviyeli numunede, diğer numunelere nazaran daha fazla aşınma gözlemlenmiştir [15].

Gül ve Şenel'in 2010 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, alüminyum ve silisyum kompozitine takviye edilen silisyum oksitin, tanecik boyutu değişiminin aşınmaya etkileri incelenmektedir. Çalışmada, takviye malzemesi olarak kullanılan SiO₂ tanecik boyutları 80 ve 120 mikron olarak seçilmiştir. Testler esnasında, 10, 20 ve 30 N yük altında 60, 100, 220 ve 400 mesh zımpara kağıdı kullanılmıştır. Çalışmada ıslatılabilirliği artırmak olarak tabir edilen sürtünme düzenleyici olarak % 5 oranında Mg takviyesi yapılmıştır. 4 Farklı numunenin 2 tanesi kompozit diğer ikisi ise matris malzeme olarak üretilmiştir. Matris malzemelerin üretiminde % 9,01 silisyum içeren M2 kodlu numune malzemesi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, SiO₂ kompozit malzeme üretiminde homojen olarak dağılabilmektedir. Sertlik ve tanecik boyutunun, aşınma miktarında önemli değişiklikler ile sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Tanecik boyutunun artması, aşınma direncini azaltırken, sertliğin artması ise aşınmayı azaltmaktadır [16].

Sugözü v.d. 2011 yılında yaptıkları çalışmada, fren balataları üretiminde sinterleme süresinin performansa etkileri incelenmiştir. Aynı sıcak pres parametrelerine göre

preslenen aynı malzemelerden üretilen numuneler, 1, 3 ve 5 saat olmak üzere farklı ısıtma sürelerinde sinterlenmiştir. Alistırma sürecinde, 250 kPa basınç uygulanmış, deney aşamasında ise 1050 kPa yük 6 m/s hızda uygulanarak 3 km boyunca frenleme yapılmıştır. Testler esnasında, her 1 saniyede 1 sürtünme katsayısı değeri kaydedilmiştir. Burada ısıtma süresinin, özellikle sürtünme katsayısının stabilitesi üzerinde ciddi bir etkiye sahip olduğu açıkça ortadadır. Elde edilen sonuçlara göre, 1 saat sinterlenen numunenin stabil olmayan bir sürtünme davranışı sergilediği gözlemlenmektedir. En stabil sürtünme davranışı ise, 5 saat sinterlenen numunede görülmektedir [17].

Mutlu v.d. 2006 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, asbestsiz fren balatalarında yapısal malzeme olarak taş yünü, kevlar ve cam elyafın fren balatlarında kullanılabilirliği incelenmiştir. Numunelerin bir kısmı fırınlanmış, diğer kısmı ise fırınlanmamıştır. Balata üretimi aynı koşullarda gerçekleştirilmiş olup, testler esnasında sabit frenleme kuvveti uygulanmıştır. Test esnasında, balataların ulaştıkları maksimum sıcaklık miktarları kaydedilmiştir. Sonuçlara göre, frenleme esnasında en çok ısınan numune kevlar kullanılan numune olmuştur. Cam elyaf kullanılan fren balatasında, sürtünme katsayısının daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, sonuçlara göre fren balatalarında ısıtma prosesine gerek duyulduğu kanıtlanmıştır [18].

Akincioğlu v.d. 2019 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, bor oksit tozunun fren balatalarında kullanılabilirliği incelenmiştir. Üretilen balata numunesi, ticari bir fren balatası ile karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bor oksit katkılı balata numunesinin sertliği % 7 daha fazladır. Elde edilen numunenin sürtünme katsayısına göre, balata sınıfı G olmuştur. Sonuçlara göre, bor oksit tozunun fren balatalarında kullanımının uygun olduğu öngörülmektedir [19].

Sugözü ve Dağhan'ın 2015 yılında yaptıkları çalışmada, fren balatalarında ısıtma sürecinin performans etkileri incelenmiştir. Aynı malzemelere ve aynı kimyasal kompozisyonlara sahip tozlar, aynı sıcak pres parametrelerine göre preslenerek

şekillendirilmiştir. Isıl işlem esnasında, 140 °C, 180 °C ve 200 °C sıcaklıklarında 3 farklı üretim gerçekleştirilmiştir. Farklı olarak, ısıl işleme tabi tutulan bu 3 numune grubu karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 180°C sıcaklığında sinterlenen numuneler en kararlı sürtünme katsayısı değerini göstermektedir [20].

Wang v.d. 2016 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, polimer bazlı sürtünme malzemelerinde cürufun ağırlıkça etkisi araştırılmıştır. 5 Farklı balata numunesinden birisi referans olarak ele alınan cürufsuz numune iken, diğerlerinde sırasıyla kütlece % 13, % 23, % 33 ve % 43 oranında cüruf katkısı mevcuttur. Bu çalışmada, özellikle cürufun sürtünme esnasında porozif yapısı sebebiyle ısıyı ne kadar iyi dışarı atabildiği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, % 43 oranında cüruf içeren numune en az aşınan numunedir. Burada, cüruf ısıl iletkenliği artıran bir malzeme olması amacıyla kullanılmasına rağmen, yapısındaki alüminyum ve silisyumun aşındırıcı özelliğinin sürtünme ve aşınmaya da katkısı olduğu gözlemlenmektedir [21].

Zou v.d. 2018 yılında yaptıkları çalışmada, bakır-grafit kompozitinin güçlendirdiği silisyum oksit parçacıklarının, bakır kaplamasının aşınmaya etkileri incelenmiştir. Kompozite ekelenecek SiO₂ taneciklerinin bir kısmı elektroliz yöntemiyle bakır kaplanarak sürtünme malzemesine daha iyi tutunmasının sağlanması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ve yüzey morfolojileri SEM görüntüleme yapılarak incelenmiştir. Silisyum oksitin sertliği ve sürtünme katsayısını artırdığı gözlemlenmiştir. Buna karşın, elektroliz ile bakır kaplanan taneciklerin daha iyi tutunduğu ve daha az aşındığı da kanıtlanmıştır [22].

Tomasek v.d. 2008 yılında yaptıkları çalışmada, metalik olmayan sürtünme malzemelerinde, alüminanın etkisi incelenmiştir. Üretilen numuneler, fenolik bağlayıcı ile birleştirilen ve otomotiv fren balatalarında kullanılan malzemeler referans alınmıştır. 5 Farklı numunede sırasıyla hacimce, % 0, % 3,4, % 5,6, % 9 ve % 14,6 oranında alümina katkısı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak, % 5,6 alümina

içeren numune en kararlı sürtünme performansına ve en az aşınma oranına sahiptir. SEM görüntüleme ile incelenen yüzeyler de bu durumu kanıtlamaktadır. Özellikle çalışma sıcaklığının, aşınma miktarına etkisi bu çalışmada açık bir şekilde ispatlanmaktadır [23].

Lazım v.d. 2016 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, frenleme esnasında balata-disk yüzeyine silika kum dökülmesinin aşınma karakteristiği ve gürültü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma normal fren dinamometresi üzerine kurulan ve disk-balata temas noktasına silika tozunun dökülmesini sağlayan bir düzenek ile gerçekleştirilmiştir. Aynı özelliklere sahip piyasadan elde edilen ticari balatalar, kum dökülmeden çalıştırılarak yüzey topolojisi ve sürtünme katsayısı değerleri incelenmiştir. Ayrıca, silika kumlarının tanecik boyutunun da buradaki etkileri incelenmiştir. Özellikle, bu çalışmada değişken temas alanı sağlanması özgün bir durumdur. Küçük boyutlu taneciklerin, yüzeyden parçaları aşındırarak aşınma direncini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Buna karşın, büyük tanecik boyutundaki kum eklentisinde bu durum görülmemesine rağmen balatanın temas yüzey alanı azaldığından, sürtünme katsayısında önemli düşüş gözlemlenmiştir. Daha küçük tanecikler üçüncü boyut katmanlarının oluşmasına da katkı sağlamaktadır [24].

Mutlu'nun 2009 yılında yaptığı çalışmada, fren balatalarına pirinç samanı ve pirinç kabuğu tozu katkısının performansı incelenmiştir. Bu malzemenin seçilmesinin temel sebebi, içerisinde bol miktarda bulunan silisyum oksit aşındırıcı bileşenidir. Pirinç samanı ve kabuğu tozu sırasıyla birer numunede kütlece % 4 ve % 20 oranında katılmıştır. Bu şekilde, 2 farklı malzeme katkısından 4 farklı numune elde edilmiştir. Testler sırasında, balata yüzeyleri oda sıcaklığından 300 °C'ye kadar ısıtılarak sıcaklığın etkisi de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre pirinç kabuğu tozu ve pirinç samanının diğer balata malzemeleri ile birlikte sorunsuz kullanılabilirdiği kanıtlanmıştır.

% 20 oranında pirinç kabuğu tozu ve pirinç talaşı eklenen numunelerde, aşınma oranının daha fazla olduğu görülmektedir. Buna karşın % 20 pirinç kabuğu tozu eklenen numune en iyi ortalama sürtünme katsayısı değerini vermektedir [25].

Abhik v.d. 2014 yılında yaptıkları çalışmada, alüminyum-silisyum karpit matrixli fren balatalarında oluşturulan alaşım oranının, sürtünme performansına etkisi incelenmiştir. Burada, iki farklı numune elde edilmiştir. Bir tanesinde % 80 alüminyum ve % 20 silisyum karpit kullanılmış, diğesinde ise % 90 alüminyum ve % 10 silisyum karpit kullanılmıştır. Isıl işlemde önce ve sonra yoğunluk ölçümleri yapılarak, balatanın porozitesi ölçülmüş, brinell sertliği ile sertlik değişimi gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara bağli olarak, silisyum karpit toz katkısının yoğunluğu artırdığı, buna bağli olarak sertliği de artırdığı gözlemlenmiştir. Fakat porositenin düşmesi % 80 alüminyum ve % 20 silisyum karpit alaşımı katkılı balatanın aşınma oranının artmasına sebep olmaktadır [26].

Camacho v.d. 2015 yılında yaptıkları çalışmada, ticari disk ve kampanalı sistemlerde kullanılan fren balatalarının detaylı yüzey morfolojisi incelenmiştir. Aynı balatalar, aşınma öncesi ve sonrası detaylı bir SEM analizi ile incelenmiş, yüzeyde oluşan kırık, çatlak ve parça kayıpları gibi aşınma mekanizmalarının yanı sıra, üçüncü vücut katmanları, birincil aşınma katmanları da balata yüzeyinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Burada, aşındırıcı taneciklerin plastik deformasyona uğramadığı, fakat bütün halde koparak balatadan ayrıldığı gözlemlenmiştir. Diğere yandan, yumuşak metallerin balata yüzeyinde şekil değiştirerek varlığını koruduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada yapısal fiber malzemelerin balata aşınmasında ve performansında önemli etkilerinin olduğu kanıtlanmıştır [27].

BÖLÜM 3

FREN SİSTEMLERİ VE FREN BALATALARI

Fren sistemleri, taşıtların durmasını sağlayan mekanizmalara verilen genel adlandırmadır. Fren sistemleri, kuru ve yağlı olmak üzere iki farklı çeşitte sınıflandırılmaktadır. Yağlı frenler, hidrolik tahrik sistemlerinin tersine tahrik kuvvetini artırmak yerine azaltmak üzere kullanılmaktadır. Kuru frenler ise, balatanın karşıt bir yüzeye üzerine gelen baskı sayesinde oluşturduğu sürtünme kuvveti ile taşıtın durmasını veya yavaşlamasını sağlamaktadır. Temel anlamda, iki farklı çeşit kuru fren sistemi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, kampanalı fren sistemidir. Burada, şerit halindeki balata bir yay geometrisine sahip levha üzerine çakılmıştır. Karşıt yüzey olarak ise, bir tambur yani kampana bulunmaktadır. Fren merkezinden gelen basınç ile balata şeridi kampanaya sürtünme kuvveti uygulayarak aracın yavaşlamasına ve durmasına neden olmaktadır. Diğer fren sistemi ise, diskli fren sistemi olarak adlandırılmaktadır [1]. Diskli fren sisteminde tekerlekle birlikte dönen fren diskinin iki yüzeyine karşılık gelen, iki fren balatası bulunmaktadır. Hidrolik basınç ile merkezden gelen baskı sayesinde iki balata birbirine yaklaşır ve diske temas ettiğinde bir sürtünme kuvveti oluşturur. Burada tahrik kuvvetinden sönmölenen enerji ısı enerjisine dönüşmektedir [2].

Fren balatalarında aranan özellikler, büyük oranda kullanılan malzemelere bağlıdır. Balatada kullanılan her malzemenin farklı bir görevi vardır. Fren balatalarının, yüksek sürtünme katsayısının yanı sıra stabil bir sürtünme katsayısı değeri vermesi beklenmektedir. Bununla birlikte, sürtünme sonucu elde edilen ısı enerjisinin transferi de önemli bir konudur. Ayrıca, kullanılan malzemelerin de doğaya zararlı olmaması gereklidir. Bu sayede, kuru fren sistemlerindeki toz emisyonlarının azaltılması hedeflenmektedir.

3.1. FREN BALATALARINDA KULLANILAN MALZEMELER

Fren balatalarında kullanılan malzemelerin çeşidi oldukça fazladır. Her bir malzeme çeşidi fren balatalarına farklı bir özellik katmak amacıyla eklenmektedir. Balatanın daha az aşınması, sürtünme katsayısının yüksek olması, ısı transferinin yüksek olması, balatanın ortaya çıkardığı sürtünme katsayısı değerini her türlü değişken koşulda koruyabilmesi bunlardan bazılarıdır. Ayrıca, fren balatalarında operasyon ile birlikte üretim performansını da arttıracak malzemeler kullanılabilir. Kalıptan çıkarmanın kolaylığı, ısı işlem sırasında ani ısı değişimlerinde çatlamayı engelleme, Karıştırma esnasında topaklanmayı engelleme gibi durumları sağlamak amacıyla da fren balatalarına çeşitli malzeme katkıları yapılmaktadır.

Fren balatalarında kullanılan malzemelere göre fren balataları iki farklı gruba ayrılabilir. Bunlar asbestsiz organik ve yarı metalik olarak sınıflandırılmaktadır. Asbestsiz organik fren balatalarında, daha çok isminden de belli olduğu üzere doğal veya sentetik malzemeler kullanılmaktadır. Aramid lifler, kevlar yünü, elyaf, taş yünü, lastik tozu, çeşitli organik ürünlerden elde edilen karbonlar, çeşitli organik ve sentetik reçineler ve buna benzer çok farklı sayıdaki organik ürünler asbestsiz organik fren balatalarında kullanılabilir.

Yarı metalik fren balatalarında ise, genellikle metal ve ametal malzemeler kullanılır. Bu fren balatalarının üretimi toz metalürjisine benzemektedir. Yüksek sıcaklık ve daha düşük basınçlar altında, yumuşak metallerin eritilerek bağlayıcı gibi yapıyı birleştirmesi sağlanır. Bu sayede, alaşım benzeri ama alaşımlarda kullanılan malzemelere nazaran daha yumuşak bir ürün elde edilmektedir. Yarı metalik fren balatalarında aklımıza gelebilecek her türlü metal ve metal alaşımları kullanılabilir.

Genellikle metal oksitler, aşındırıcı özellikleri sebebiyle, fren balatalarında vazgeçilmez ürünlerdir. Bunlar toz veya fiber benzeri yün yapıda kullanılmaktadır. Çelik yünü, bakır, bronz, demir, silisyum, karbon, çinko gibi metaller, bu metallerin oksitleri ve çeşitli bileşikleri yarı metalik fren balatalarında kullanılmaktadır. Ayrıca, karma yapıdaki kompozit fren balataları da mevcuttur. Bu fren balatalarında hem organik hem sentetik hem de metalik malzemeler kullanılabilir. Organik veya sentetik bir bağlayıcı ile bu malzemeler sıcak pres prosesi ile şekillendirilip kürlenerek, kompozit malzeme benzeri fren balataları elde edilmektedir. Bu fren balatalarında, kullanılacak malzeme çeşidi oldukça fazladır. Bakır, bronz, çelik, demir, silisyum, karbonun yanı sıra aramid lif, kevlar, taş yünü ve başka birçok organik, metalik ve sentetik malzeme farklı kullanım amaçlarına göre kullanılmaktadır.

3.1.1. Yapısallar

Yapısallar, balata mikroyapısını bir ağ gibi örerek balatanın dayanıklılığını artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu malzemeler genellikle, lifli fiber yapıda olmakla birlikte bazı çalışmalarda kalıbın içine belli bir düzen ile yerleştirilerek daha düzenli bir ağ yapısı oluşturulmaktadır. Yapısal malzemeler, ayrıca bazı durumlarda sistem çalışırken aşındırıcı ve bağlayıcı görevi de üstlenmektedir. Yapısal malzemelerden beklenen özellikler, kopmaya karşı sağlam olması, sistem içerisindeki çatlaklar sebebiyle balatanın kırılmasını engellemesi, yüksek sıcaklıklarda ve ani sıcaklık değişimlerinde istenilen özelliklerini kaybetmemesi ve daha birçok farklı amaçla kullanılabilir.

Fren balatalarında, yapısal olarak kullanılan en yaygın malzemeler, çelik yünü, bronz talaşı, aramid lifler, kevlar yünü, taş yünü, cam yünü, fiberglas benzeri malzemelerdir. Çelik yünü, sürtünme katsayısını oldukça iyi bir şekilde arttırırken bu katsayı değerinin düzensiz olmasına neden olmaktadır. Aramid lifler, ince yapıda olduklarından sistem içerisine karıştırma esnasında daha fazla dağıldıklarından daha dayanıklı fren balataları elde etmek mümkündür. Fakat, bu özellik dışında sürtünme katsayısını artırma özellikleri mevcut değildir. Taş yünü de aynı şekilde sürtünme katsayısını artırabilir. Fakat aşınma direncini düşürmektedir. Cam yünü ise, balatanın

sertliğini artırdığından daha az aşınma sağlamaktadır. Fakat tozları doğaya zararlı olduğundan, kullanımı fazla tercih edilmemektedir. Fiberglas ise, yeni kullanılmaya başlanılan bir malzeme olduğundan pozitif ve negatif etkileri hakkında tam olarak kanıtlanmış kesin bir varsayım bulunmamaktadır. Bronz talaşı da fren balatalarında yapısal malzeme olarak kullanılabilir. Yumuşak bir malzeme olmasına rağmen, sürtünme esnasında sünekliği nedeniyle balata yüzeyine yayılarak kendi kendine bir sürtünme filmi oluşturmaktadır. Sürtünme katsayısını düşürmeye yönelik özelliklere sahip olsa bile sürtünme katsayısının stabilitesini tıpkı bakır gibi koruyarak daha düzenli çalışabilecek fren balatalarının oluşmasını sağlamaktadır [27].

3.1.2. Bağlayıcılar

Bağlayıcılar, birçok alanda adezyon kuvvetiyle birleştirme özelliğine sahip çeşitli ürünlerden oluşmaktadır. Farklı kimyasal bağlarla çalışan bu sistemlerin temel amacı, buldukları sistem içerisindeki bileşenleri güçlü bir kuvvetle bir arada tutmaktır. Genellikle, sıvı ve katı halde kullanılmaktadır. Bağlayıcılar sadece birleştirme için değil, izolasyon amacıyla da kullanılabilir. Fren balatalarında bileşenleri birleştirmek için novolak veya fenol formaldehit reçineler kullanılır. Ayrıca, balata yapısını fren sistemine bağlamak için bulunan alt plakayı balata ile birleştirmek amacıyla da sıvı reçineler kullanılmaktadır. Özellikle günümüzde kampanalı balata sistemlerinde, balatayı kampana tamburu ile birleştirmek amacıyla konvansiyonel perçin çakma yöntemi terkedilmiş, yerine bu bağlayıcılar ile yapıştırılarak fırınlama yöntemi tercih edilmektedir. Bu sayede balata, kampanaya birkaç bölgeden noktasal olarak değil tüm yüzeyden bölgesel olarak birleştirilmektedir [28].

Disk fren balatalarında ise, uzun süredir plakaya yapıştırarak balatayı sisteme ekleme işlemi uygulanmaktadır. Fakat balata malzemelerinin birleşmesinde kullanılan reçineler genellikle toz halde bulunmaktadır. Bu sayede, karıştırma esnasında reçine tozların arasındaki her yere daha homojen dağılmakta ve daha kuvvetli bir birleştirme sağlanmaktadır.

Geçtiğimiz yıllar içerisinde, fren balatalarında yüksek performans ve düşük maliyet sağlayan asbest kullanılmıştır. Asbest, doğadan lifli yapıda olarak elde edilir. Isıya, aşınmaya, kimyasal maddelere karşı ileri derecede dayanıklıdır. Ülkemizde de çıkarılabilen bu malzeme sağlığa oldukça zararlıdır. Otomotiv sektöründe fren balatalarının üretimi yanı sıra gemi, inşaat, kimya, inşaat ve özellikle izolasyon amacıyla da kullanılmaktaydı. Fakat ülkemizde 31.12.2010 tarihinde gelen yeni yasal yürürlüğe bağlı olarak asbest üretimi ve kullanımı bazı alanlarda kısıtlanmış ve fren balataları dahil olmak üzere bazı alanlarda kullanımı yasaklanmıştır. Bu yüzden, fren balatası konusunda çalışan uzmanlar günümüzde asbest kadar yüksek performans veren alternatif bağlayıcıların geliştirilmesi arayışı içerisinde.

Fren balatalarında, bağlayıcı olarak bazı organik ve sentetik reçinelerin yanı sıra lastik tozu da katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Fenol formaldehit reçineler, üre ve formaldehitin alkali ortamda polimerleşmesi ile üretilirler. Asbestten daha iyi ısı ve abrasif dayanım sağlayan türleri fren balatalarında kullanılmaktadır. Özellikle, fren balatası üretiminde kilit rol oynayan sıcak ortamda daha iyi ve daha düşük maliyette kalıplaşma yeteneği ile birlikte boyutsal kararlılığı da fren balatası üreticilerini fenolik reçine kullanımına yöneltmektedir. Aynı zamanda, neme karşı da dirençlidir ve ıslak çalışma koşullarından etkilenmemektedir.

Novolak toz reçineler ise, polyester ve epoksi reçinelerin kombinasyonundan oluşmaktadır. Epoksi reçineler gibi kuvvetli mekanik özelliklere sahip olmasının yanı sıra, polyester reçineler gibi kolay işleme özelliklerine sahiptir. Sentetik reçineler içerisinde en dayanıklı kimyasal özelliklere sahip reçinelerden birisidir. Yüksek sıcaklıklarda daha iyi mekanik test özellikleri gösterirler. Fenol formaldehit reçinelere nazaran maliyetleri daha yüksektir [29].

3.1.3. Aşındırıcılar

Aşındırıcılar, fren balatasının asıl amacı olan sürtünme kuvvetini oluşturan ve kuvveti arttıran malzemelerdir. Sürtünme katsayısını yükselterek, daha kuvvetli fren balalarının oluşturulmasında önemli rol oynamaktadırlar. Aşındırıcılar, fren balatasında oluşan sürtünme filmini ortadan kaldırırlar ve bu sayede daha yüksek sürtünme katsayıları elde edilebilir. Buna karşın, aşındırıcı miktarının fazla olması, sürtünme kuvvetini artırmakla birlikte disk veya kampana gibi karşı yüzeyin de aşınmasına sebep olabilmektedir. Aşındırıcılar, fren balatası sistemlerinde karmaşık bir rol oynar. Fren balatası, frenleme esnasında kapma-bırakma prensibine göre çalışmaktadır. Yani frenleme yapıldığında fren balatası bir süre sistemi yavaşlatırken, karşı yüzeye yapışma eğilimi göstermekte, fakat sürtünme filminin devreye girmesiyle, bu durum kayma olayına dönüşmektedir. Burada, aşındırıcının işlevi yüksektir. Aşındırıcı, eğer yüzey pürüzlülüğünü artırır ve karşı yüzeyi kapma eğilimi yüksek olursa, kontrolsüz ve güvenlik açısından zayıf bir frenleme gerçekleşebilmektedir. Fakat aşındırıcı tıpkı aşınma düzenleyici malzemeler gibi sürtünme filmi oluşumunu artırır, bu sefer fren balatasında kayma eğilimi daha yüksek olacağından, sistemde göreceli olarak daha düşük sürtünme katsayıları görülecektir. İşte bu iki durum arasındaki dengeyi sağlamak, fren sistemlerinde kararlılık dengesini oluşturmanın temel amacıdır. Bu durum da aşındırıcı ve aşınma düzenleyici miktarı farklı oranlarda eklenmiş farklı numunelerin test edilmesiyle elde edilen sonuçlar ışığında belirlenmektedir.

Fren balatalarında, aşındırıcı malzemeler geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO gibi birçok metal oksitlerin yanı sıra, bor karbür ve zirkon gibi seramik tanecikli aşındırıcılar da kullanılmaktadır. Bunların arasında en çok kullanılan ve balatalardaki sürtünme kuvvetini artırmak amacıyla katkı olarak bile kullanılabilen, silisyum karbür tanecikleridir. Üretimi, diğer seramik tabanlı aşındırıcılara nazaran daha kolay, diğer balata malzemelerine oranla daha sert bir yapıya sahip ve daha yüksek sürtünme katsayıları elde edilebilen bir malzemedir.

Metal oksitler, fren balatalarında aşındırıcı olarak kullanılabilen en geniş yelpazeli ürünlerdir. En yaygın olarak kullanılan Alüminyum oksit (Al_2O_3) aynı zamanda oksit seramikler grubuna da girdiğinden, her iki sınıfta da adlandırılabilir [30]. Termal değişikliklere karşı sürtünme kararlılığı yüksek olan bu bileşik, fren balatalarında bol olarak kullanılmaktadır. Demir oksit (Fe_2O_3) de fren balatasında kullanılabilen en uygun maliyetli malzemelerden birisidir [31]. Doğada kolay erişilebilirliği ve sürtünme kuvvetini artırıcı etkisi açısından kullanımı yaygındır. SiO_2 , sağlık sektöründe diş cerrahisinde dişlere yapılan operasyonlarda aşındırıcı olarak kullanılan sağlıklı bir aşındırıcı malzemedir.

3.1.4. Yağlayıcılar

Yağlayıcı malzemeler, literatürde genellikle sürtünmeye engel olmak amacıyla kullanılmaktadır. Fakat fren balatalarında kullanılmasının amacı, sürtünmeyi düzenli hale getirmek ve presleme esnasında kalıba yapışma durumunu engellemektir. Frenleme mekanizmasında görülen kapma – kayma olayında, kapma ve kayma mekanizmaları arasındaki dengeyi sağlamak amacıyla yağlayıcı malzemeler kullanılır. Fren balatalarındaki sürtünme filminin oluşmasında kilit rol oynayan yağlayıcı tozlar, balata yüzeyinin bazı bölgelerine yüzeysel biçimde yayılma eğilimi göstermektedir. Bu sayede balata yüzeyindeki aşındırıcıların oluşturduğu pürüzlü yüzeylerin % 100 olarak karşıt yüzeye kilitlemesini ve kapma olayını tam olarak gerçekleşmeden fren sisteminin kilitlemesini engellemektedir.

Yağlayıcı malzemelerin en önemli özelliklerinden birisi ise, gürültüyü azaltma özellikleridir. Kuru sürtünme mekanizması sonucu oluşan ısı enerjisinin yanı sıra, vibrasyon ile birlikte ses enerjisi de açığa çıkmaktadır. Çıkan bu yüksek şiddetli sesler, fren balatalarında gürültü olarak tabir edilmektedir. Ve bu durum sürüş konforu ve mekanizmanın çalışma sağlığı açısından istenmeyen bir durumdur. Yağlayıcı malzemeler, bu kuru sürtünme durumunu azaltarak gürültü oluşumunu engellemektedir.

Yağlayıcı malzemelerin birçoğu, ağır makine sanayisinde kullanılan katı yağlayıcı tozlardan ibarettir. En önemlisi grafit olmak üzere, çinko sülfür, kok kömürü, molibden disülfür, bakır disülfür, tungsten sülfür gibi birçok metal sülfür yağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Genellikle malzeme özelliklerine göre, farklı tanecik boyutlarında kullanılarak balata içerisinde oluşturulan sürtünme filminin boyutu da bu şekilde ayarlanmaktadır.

Fren balatalarında yağlayıcı olarak grafit de kullanılmaktadır. Kullanılan grafitin en iyi yağlama performansını sağlaması amacıyla % 95 saflıkta olması gereklidir. Grafit hexagonal şekilde sıralanmış karbon atomlarından oluşur. Tanecik yapısı tam olarak bir yağlayıcıya benzeyen yassı levhalar şeklindedir. Bu yassı levhalar, birbirleri arasında rahatça hareket ederek kayabilmektedir. Grafit, yüksek performanslı yağlama özelliğine sahiptir. 700 °C Sıcaklıkta yanmasına rağmen fren balatalarında yağlayıcı olarak kullanılabilir [32].

3.1.5. Dolgu Malzemeleri

Dolgu malzemeleri, fren balatalarında bulunan boşlukları doldurmak ve balata üretim maliyetini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, kullanılan malzemenin özelliğine göre fren balatalarında daha düşük maliyetlerle bazı performans etkilerine katkı sağlaması beklenir. Özellikle, yüksek termal iletkenlik sayesinde açığa çıkan ısının balataya zarar vermeden dışarı atılması bu durumların başlıca etmenleri arasında yer almaktadır. Aşındırıcı özelliğe sahip dolgu maddeleri de bulunmaktadır. Hatta, bazı dolgu maddelerinin bağlayıcı maddenin homojen bir şekilde yayılmasına katkı sağladığı da incelenmiştir. Piyasada kullanılan bazı dolgu malzemelerinin balatanın rengini değiştirmek amacıyla da kullanıldığı görülmüştür.

Fren balatalarında dolgu malzemesi olarak sönmemiş kireç (CaCO_3) kullanılabilir. Maliyet avantajı, sürtünme performansına katkı sağlaması ve üretimde kullanım kolaylığı açısından kireç, balata numunelerinde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır [33]. Kirecin fren balatası üretimi esnasında, kolay karıştırılabilirliği bu durumu kanıtlamaktadır [34]. Ayrıca cürufun yapısındaki kirecin inşaat sektöründe yapılarıdaki bağlayıcı özelliği incelendiğinde fren

balatalarındaki bağlayıcı sistemlerine de katkısı bulunabileceği görülmektedir [35]. Ayrıca balata yapısında bulunan metal oksitlerin aşındırıcı görevi de görebilir olması bu durumu kanıtlamaktadır.

3.2. ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ CÜRUF

Çizelge 3.1’de, cürufun yapısındaki bileşikler gösterilmektedir [36]. Cüruf, yüksek fırın ocaklarında yan ürün olarak açığa çıktığı için içerisinde az miktarda demir bulunur. Buna karşın, yapısında kıymetli bazı metaller ve bunların oksitleri, ayrıca seramik silikatlar mevcuttur. Bu metallerin ayrıştırılarak kullanılması büyük ve kazançlı bir ekonomidir. Bu yüzden, cüruf zenginleştirme işlemi yapılır. Burada cürufun zenginleştirilmesi için yapılacak reaksiyonların daha hızlı ve verimli olması amacıyla cürufun yüzey alanı artırılmaktadır. Bunu gerçekleştirmek için ise, cüruf özel makinelerde öğütülerek granüle hale getirilir.

Çizelge 3.1. Kardemir A.Ş. yüksek fırınından elde edilen demir cürufunun içerisindeki bileşiklerin kütlece yüzdesel oranları [36].

Yüksek Fırın Cüruf Analizi										
SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	S	Fe	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Diğer
36.26	35.72	11,20	8.230	1.172	0.737	0.137	0.840	0.2	1.226	4.278

Öğütme işlemi esnasında, döner tamburlu bir makine kullanılır ve makine içerisindeki ağır çelik bilyeler, dönme esnasında taş cürufu zamanla kırarak granüle toz haline getirmektedir [37]. Aynı zamanda, bu granüle tozlar çimento yapımında ve portland çimentosuna katkı olarak da kullanılmaktadır [38]. Öğütülmüş ve toz haline getirilmiş cürufun kullanım alanı oldukça geniş ve gün geçtikçe de genişlemektedir [39]. KARÇİMSA A.Ş’den alınan çimentolarda bağlayıcılığı artırmak amacıyla mineral katkı malzemesi olarak kullanılan zenginleştirme amacıyla öğütülmüş demir cürufu kullanılmaktadır.

Tanecik boyutu 5 – 50 mikron arasındaki farklı taneciklerden oluşmaktadır. Açık gri renkli çimentoya benzer ince toz bir yapıya sahiptir. Toz metalürjisi üretimi için uygundur.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

4.1. MATERYAL

Bu çalışmada kullanılan materyaller aşağıda sırasıyla şekil ve çizelgelerle gösterilmiştir.

Fren balatası üretiminde;

- Şekil 4.1’de gösterilen sıcak pres cihazı kullanılmıştır.
- Şekil 4.2’de gösterilen ısıl işlem fırını kullanılmıştır.

Fren performans testlerinde ise;

- Şekil 4.3’de gösterilen UTS tribometer cihazı kullanılmıştır.
- Sıcaklık ölçümü için, Şekil 4.4’de gösterilen lazer termometre kullanılmıştır.
- Aşınma hesabı için ağırlık ölçümü Şekil 4.5’de gösterilen 1/10 000 hassasiyetinde terazi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için lazerli profilmetre cihazı kullanılmıştır.
- Sertlik ölçümü için Shore D sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Fren balatası üretiminde kullanılan malzemelerde;

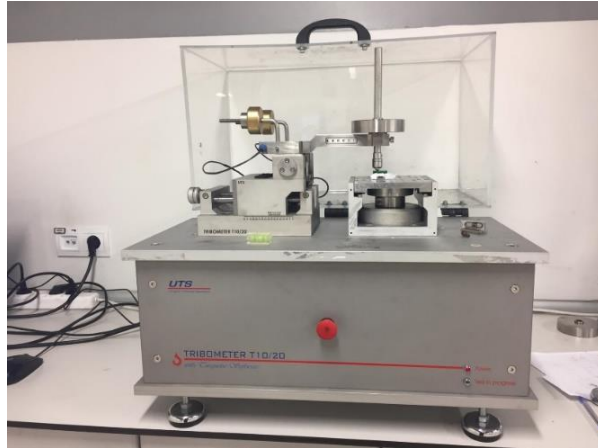
- Yapısal malzeme olarak Şekil 4.6’da gösterilen bronz talaşı ve Şekil 4.7’de gösterilen bakır tozu kullanılmıştır.
- Aşındırıcı olarak Şekil 4.8’de gösterilen demir oksit ve Şekil 4.9’da gösterilen alüminyum oksit kullanılmıştır.
- Bağlayıcı olarak novolak reçine kullanılmıştır.
- Yağlayıcı olarak Şekil 4.10’da gösterilen grafit tozu kullanılmıştır.
- Dolgu maddesi olarak kalsiyum karbonat kullanılmıştır.
- Ayrıca farklı numunelerde farklı görevlerde kullanılmak üzere deney malzemesi olarak demir cürufu kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Fren balatası üretiminde kullanılan sıcak pres sistemi



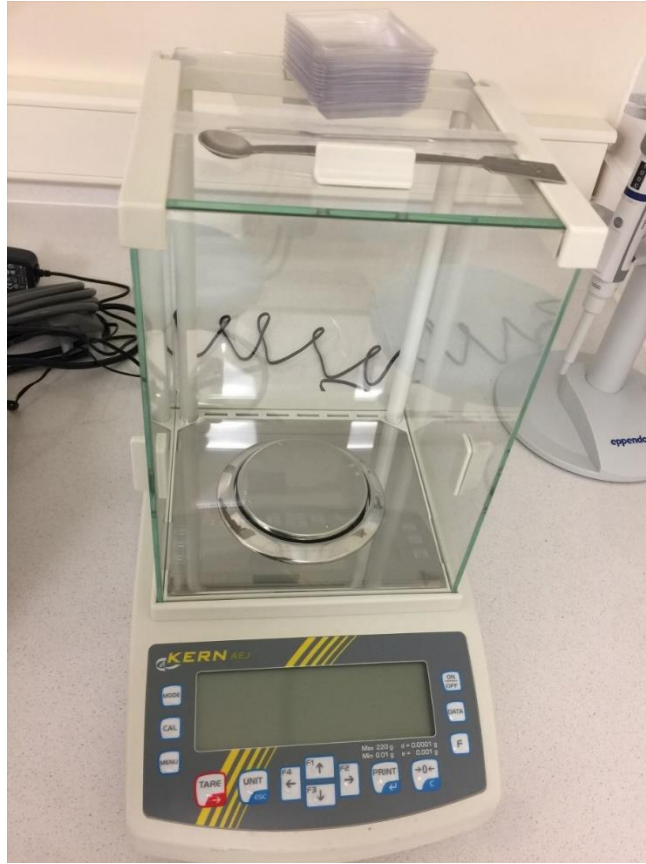
Şekil 4.2. Fren balatalarının ısıl işlem prosesinde kullanılan fırın.



Şekil 4.3. UTS tribometer sürtünme-aşınma test cihazı.



Şekil 4.4. Balata yüzey sıcaklığını ölçmek için kullanılan lazer termometre.



Şekil 4.5. Balata numunelerinin tartılmasında kullanılan 1/10 000 hassas terazi.



Şekil 4.6. Fren balatalarında yapısal malzeme olarak kullanılan bronz talaşı.



Şekil 4.7.. Fren balatlarında yapısal malzeme olarak kullanılan bakır tozu.



Şekil 4.8. Fren balatlarında aşındırıcı olarak kullanılan demir III oksit.



Şekil 4.9. Fren balatlarında aşındırıcı olarak kullanılan alüminyum oksit.



Şekil 4.10. Fren balataalarında yağlayıcı olarak kullanılan grafit tozu.

4.1.1. Balata Deney Numunelerinde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, üretilen balata deney numunelerinde kullanılan malzemelerin seçimi kolay ulaşılabilirlik, maliyet ve kullanım yaygınlığı açısından belirlenmiştir. Demir cürufu ise, fren balataalarında kullanılabilir alternatif bir malzeme olarak öngörüldüğünden kullanılan malzemelerin bazılarının yerine cüruf kullanılarak farklı numunelerin elde edilmesi sağlanmıştır. Referans numunedeki aşındırıcı, yağlayıcı ve dolgu maddelerinin kütlece yüzde oranları farklı numunelerde yarıya indirilerek, yeni numuneler üretilmiştir. Bu yeni numunelerin, referans numuneye göre, cürufun yerine kullanıldığı malzemenin özellikleri açısından kıyaslama yapılmıştır. Sadece bağlayıcı reçine ve yapısal birleştirici olan bronz talaşı, tüm numunelerde aynı miktardadır. Numunelerde kullanılan cüruf, çimentoda kullanılan zenginleştirilmiş ve granüle edilmiş demir cürufudur.

Üretilen numunelerin tümünü kütlece % 30 yapısal, % 20 bağlayıcılar, % 15 yağlayıcılar, % 15 aşındırıcılar ve % 20 dolgu maddeleri oluşturmaktadır.

- Yapısal malzeme olarak bakır tozu ve bronz talaşı kullanılmıştır.
- Bağlayıcı malzeme olarak sentetik novolak reçine kullanılmıştır.
- Yağlayıcı olarak grafit tozu kullanılmıştır.
- Aşındırıcı olarak demir III oksit (Fe_2O_3) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanılmıştır.
- Dolgu maddesi olarak kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) kullanılmıştır.

Referans numune dışındaki diğer 4 farklı numunede demir cürufu bulunmaktadır. Demir cürufu, yukarıda belirtilen malzemelerden yağlayıcı, Aşındırıcı ve dolgu maddelerinin kütlece yarısının yerine eklenerek yeni deney malzemeleri üretilmiştir. Bu numunelere 5 farklı kod verilmiştir.

- Referans olarak ele alınan ve içerisine cüruf bulunmayan numune "REF"
- Yağlayıcının yarı kütlesi yerine cüruf katkısı yapılan numune "BT1"
- Aşındırıcıların yarı kütlesi yerine cüruf katkısı yapılan numune "BT2"
- Dolgu maddesinin yarı kütlesi yerine cüruf katkısı yapılan numune "BT3"
- Yağlayıcı, aşındırıcı ve dolgu maddeleri çıkarılarak yerine cüruf eklenen numune "BT4"

Şeklinde kodlanmaktadır. Çizelge 4.1'de karışım oranları ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Üretilen balata numunelerinde kullanılan malzemelerin kütlece kimyasal kompozisyonları.

Kütlece Kimyasal Kompozisyon (%)						
Türü	Malzemeler	REF	BT1	BT2	BT3	BT4
Yapısal	Bronz Talaşı	15	15	15	15	15
	Bakır Tozu	15	15	15	15	15
Bağlayıcı	Fenolik Reçine	20	20	20	20	20
Yağlayıcı	Grafit tozu	15	<u>7,5</u>	15	15	<u>yok</u>
Abrasif	Alümina (Al ₂ O ₃)	10	10	<u>5</u>	10	<u>yok</u>
	Demir oksit Fe ₂ O ₃	5	5	<u>2,5</u>	5	<u>yok</u>
Dolgu	CaCO ₃	20	20	20	<u>10</u>	<u>yok</u>
Cüruf	Deney malzemesi	<u>0</u>	<u>7,5</u>	<u>7,5</u>	<u>10</u>	<u>50</u>

Yukarıda da belirtildiği gibi BT4 kodlu numunede yağlayıcı, aşındırıcı ve dolgu maddesi yerine tamamen cüruf kullanılmıştır. Varsayıma göre bu numunenin kalıptan bile çıkamayacağı öngörülmekteydi. Fakat kullanılan grafit kalıp sayesinde bu numune de üretilebilir hale getirilmiştir.

Görüldüğü üzere, REF kodlu referans olarak alınan numunede cüruf bulunmamaktadır. BT1 kodlu numunede grafit tozu oranı yarıya indirgenerek % 7,5 oranında kullanılmıştır. Buna karşın, numuneye % 7,5 cüruf eklenmiştir. BT2 kodlu numunede alümina oranı % 2,5 ve demir oksit oranı % 2,5'e indirgenerek yerine % 7,5 cüruf eklenmiştir. BT3 kodlu numunede ise kalsiyum karbonat oranı % 10'a indirgenerek yerine % 10 cüruf eklenmiştir. Bu sayede demir cürufunun fren balatası içerisinde farklı görevlerde kullanılmasının performans etkileri incelenmiştir. BT4 kodlu numunede ise yağlayıcı, aşındırıcı ve dolgu maddeleri tamamen çıkarılarak yerlerine % 50 oranında demir cürufu eklenmiştir. Ayrıca, bu malzemelerin bir kısmı cürufun kimyasal kompozisyonunda bulunan malzemelerden seçilmiştir.

4.2. METOD

Bu çalışmada, fren balataları numuneleri için tozlar karıştırıldıktan sonra, sıcak pres ve ısıtma işlem yöntemleriyle üretilmiştir. Belirlenen parametrelerde sürtünme aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Sonrasında sertlik ölçümü, yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve SEM yüzey mikroyapısı görüntülemesi yapılmıştır.

4.2.1. Balata Numunelerinde Kullanılacak Tozların Karıştırılması

Fren balatasında, tıpkı toz metalürjisinde olduğu gibi toz malzemeler sıcak pres aşamasından önce mümkün olan en homojen şekilde karıştırılmaktadır. Bu çalışmada, yüksek hızlı türbülent mekanik karıştırıcı kullanılarak karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işleminden önce, tozlar gereken farklı numune tiplerine göre farklı kimyasal kompozisyonlar ile birleştirilip karıştırıcıya konulmuştur. Kimyasal kompozisyon kütleli olarak ele alınmıştır.

Numuneler, beş farklı numune tipine göre, 5 farklı karışım içerisinde aynı malzemelerin farklı kütleli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Kütleli ölçümü, test sonuçlarının yeterince sağlıklı olması amacıyla 1/10000 hassasiyetindeki terazide tartılarak karışım hazırlanmıştır. Fren balatası üretiminde kullanılan malzemelerin hepsi toz ve kuru yapıda olduğu için, topaklanma olayı görülmemiştir. Bu yüzden alkol ve su gibi çeşitli kimyasal çözücülerin kullanımına gerek duyulmamıştır. Karıştırıcı, 2000 devir/dakika hızına ayarlanarak ve 3 farklı eksende dönerek içerisindeki bıçakların da yardımıyla öngörülen en sağlıklı karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için literatürde öngörülen optimum karıştırma süresi olarak 10 dakika süreyle uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya göre 10 dakikadan daha az karıştırma süresi, balatanın stabilitesi için yeterli olmamakta ve 10 dakikadan fazlası ise stabilizeye bir faydası olamamaktadır. [40]. Her karıştırma işleminden sonra, karıştırıcının haznesi basınçlı hava ile temizlenerek bir sonraki numune kompozisyonunun kütleli oranının değişmemesi sağlanmıştır.

Karıştırma prosesinde Şekil 4.11'deki mekanik turbulent karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırma esnasında, taneciklerden bazılarının yapısı değişmiş olabilmektedir. Daha büyük yapıdaki tozlar kırılarak küçülmüş, imal edilirken düz bir hat şeklinde olan sünek metal lifleri bıçaklara çarparak eğilmiş ve karıştırma esnasında toz halinde bile olsa yapışkan bir halde olan novolak reçine sıcak presten önce dahi bazı diğer tozlara yapışmış olabilmektedir. Bu da balatanın üretimindeki kaliteyi artırır ve liflerin şeklinin değişmesi sadece 2 ekseninde değil başka farklı eksenlerde de yapısal dayanımı artırarak, balata yapısındaki frenleme esnasında oluşan çatlakları ve kırıkları azaltabilmektedir. Ayrıca, topaklanmanın gerçekleşmemesi de üretim kolaylığı ve homojenlik açısından bir avantaj teşkil etmektedir.



Şekil 4.11. Balata numunelerindeki tozların karıştırılmasında kullanılan turbulent tipi mekanik karıştırıcı.

4.2.2. Balata Numunelerinde Kullanılan Sıcak Pres Prosesi

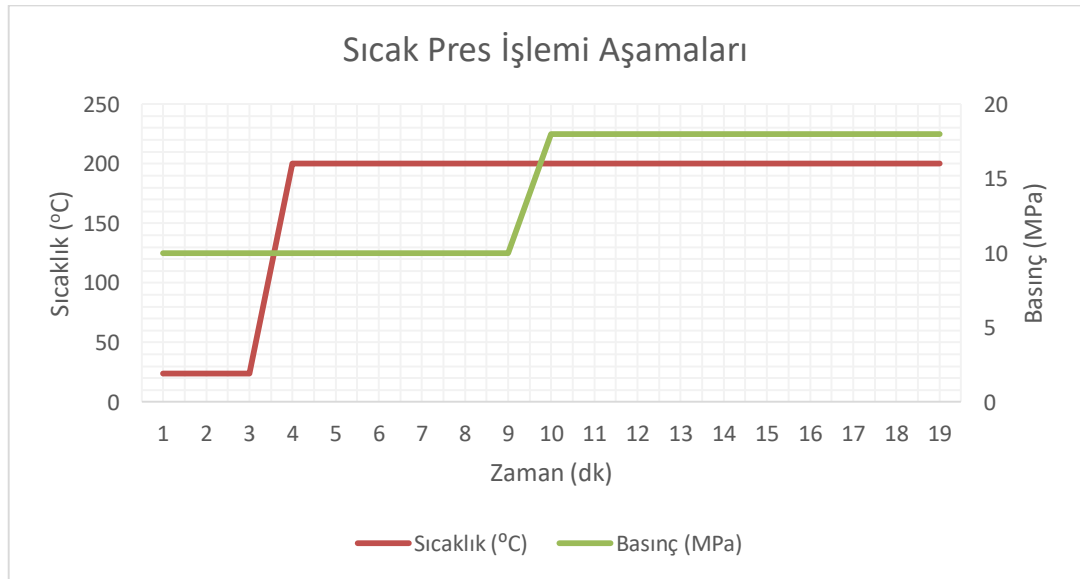
Sıcak pres işleminde, normal presten farklı olarak basıncın yanında kalıpla birlikte preslenen malzeme ısıtılarak içerisinde çeşitli kimyasal reaksiyonların oluşması sağlanmaktadır. Sıcak presleme yapılırken, sadece basınçla değil, sıcaklık ile de malzemenin öngörülen şekle, boyuta ve yoğunluğa ulaşması sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, sıcak pres kullanılmasının amacı balatanın şekillendirilmesinin yanı sıra, balata tozlarına karıştırılan ve birleşme sağlayacak novolak reçinenin toz halden sıvı hale geçip tozların arasındaki boşluklara dolması ve daha sonra da ısı sayesinde kurumasıdır. Bu da fren balatasının üretiminin ve şekillendirilmesinin temelini oluşturmaktadır. Burada doğru sıcaklık, basınç ve zaman parametrelerinin seçimi önem arz etmektedir [1].

Sıcaklığın yetersiz olması, reçinenin istenilen şekilde eriyip yayılmasını sağlayamaz. Ayrıca sıcaklığın çok yüksek olması da balatanın yapısında ani sıcaklık değişimine bağlı olarak çatlaklara sebep olabilir. Bu yüzden en uygun olan işlem sıcaklığı birden değil, mümkün olan en hızlı şekilde kademeli olarak uygulamaktır. Bu sayede, daha yavaş ama daha kararlı ve daha kaliteli bir balata numunesi üretimi mümkün olabilmektedir. Ayrıca, aşırı yüksek sıcaklıklarda balata yapısındaki bazı toz malzemelerin kimyasal yapısının değişmesi ve reçine dışında başka tozlarla reaksiyon oluşturması da istenmeyen bir durum olarak öngörülmektedir. Basıncın düşük olarak uygulanması, istenilen şeklin tam olarak elde edilmemesine sebep olabilmektedir. Ayrıca, düşük basınç altında preslenen fren balatalarında, yapı içerisindeki boşlukları fazla olması da daha çabuk aşınan ve daha kararsız numune üretimine sebep olabilmektedir. Presleme esnasında, basıncın aşırı yüksek olması ise, balata içerisindeki mikro taneciklerin şeklinin istenmeyen şekilde bozulmasına sebep olabilmektedir. Özellikle, aşındırıcı olarak kullanılan ve sert yapıdaki taneciklerin ezilmesi ve kırılması istenmeyen balata özelliklerinin oluşmasına sebep olabilmektedir. Bu durum meydana geldiğinde frenleme yapacak engelleyici tanecikler balata yapısında daha pürüzsüz yüzeyli ve daha kaygan taneciklere dönüşecek ve sürtünme kuvvetinin düşmesine sebep olacaktır.

Numune üretiminde kullanılan sıcak presleme kalıbı, 15 mm çapında ve 90 mm yüksekliğinde silindirik bir iç yapıya sahiptir. Karıştırılmış tozlar, kalıbı tamamen dolduracak şekilde dökülerek kalıp prese üst basma maçası ile birlikte bağlanmıştır. Grafit kalıp, düşük basınç ve yüksek sıcaklıklar için fren balatası gibi metallere göre daha yumuşak yapıdaki kompozit malzemeler için uygundur. Seri üretim için, çelik kalıba oranla daha dayanıksız olmasına karşın, laboratuvar ortamındaki gibi hassas proseslerde istenilen şeklin daha kolay verilmesi ve numunenin kalıptan daha rahat çıkarılması sayesinde, daha hassas üretim yapılabilmektedir. Sıcak pres prosesi, Şekil 4.12’de görüldüğü üzere 3 farklı aşamada uygulanmıştır. İlk olarak, oda sıcaklığında 10 MPa basınç altında 2 dakika preslenerek ilk soğuk şekillendirme sağlanmıştır. Sonrasında ise, aynı basınç altında sıcaklık 200 °C’ye çıkarılarak 6 dakika boyunca reçinenin yavaş yavaş erimesi ve balata yapısı içerisindeki boşluklara doğru düşük basınç altında ilerlemesi sağlanmıştır [1].

Son olarak da 18 MPa basınç altında 200 °C sıcaklık uygulaması, 10 dakika boyunca gerçekleştirilerek, balata mikroyapısındaki boşluklara yayılan erimiş reçinenin kürlenerek kurumması sağlanmıştır. İlk denemeden sonra sıcak pres sistemindeki programlama cihazına gerekli kodlar programlanarak kaydedilmiştir. 5 Farklı balata numunesi de burada belirtilen şartlar altında preslenmiştir.

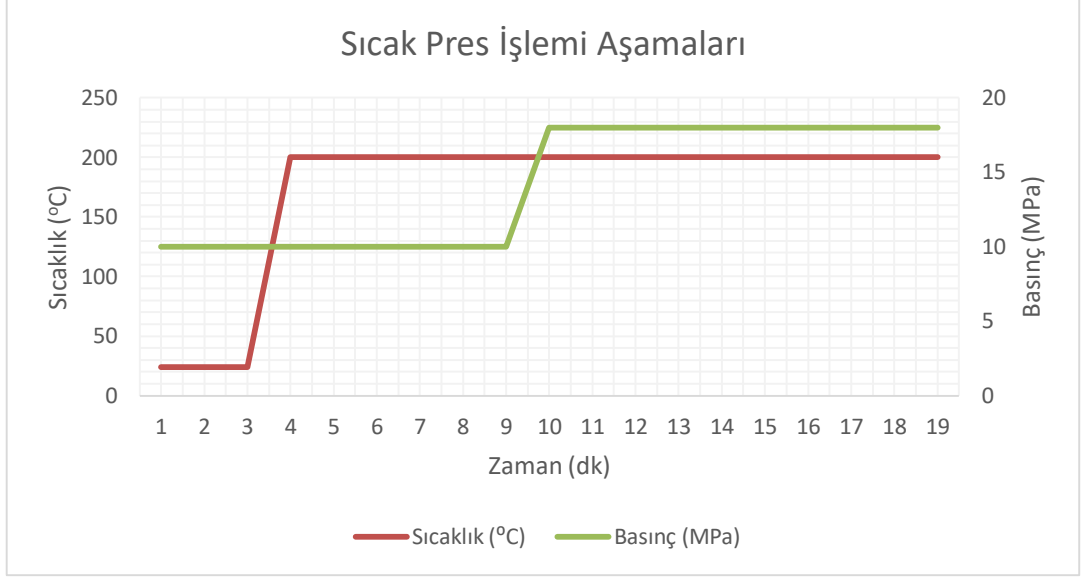


Şekil 4.12. Sıcak pres prosesinde sıcaklık ve basıncın zamana bağlı değişimi.

4.2.3. Balata Numunelerinde Isıl İşlem Uygulaması

Isıl işlem, üretim proseslerinde sertliği artırmak için kullanılır. Fren balatalarında da sertliğin artması aşınmayı azaltmaktadır. Bu yüzden ısıl işlem uygulanır. Fakat ısıl işlem prosesinin, sıcaklık yavaş bir şekilde artırılıp azaltılarak yapılması gerekir aksi takdirde genellikle cam yapı şeklinde meydana gelen fren balataları, bir cam gibi çatlayabilmektedir. Isıl işlem esnasında, balata içerisinde hala kürlenmemiş halde kalmış olabilecek reçinelerin de kürlenmesinin sağlanması amaçlanır. Ayrıca, kürlenme esnasında reçinenin açığa çıkması, muhtemel gazların balata yapısının iç kesimlerinden dışarı doğru atılması sağlanmaktadır. Bu sayede, balata yapısında bulunan malzemelerin sadece istenilen yapıda olması sağlanabilmektedir [41].

Bu çalışmada, atmosfer kontrolsüz ısıl işlem fırınında, 5 farklı numunede, aynı anda, aynı fırın içerisinde, ısıl işleme tabi tutulmuştur. Balata numunelerinin içerisindeki tozların aynı malzemelerden olması ve sadece kütlece farklı oranlarda uygulanması sebebiyle, işlemin daha çabuk tamamlanması amacıyla numunelere ısıl işlem fırınında, aynı anda ısıl işlem uygulanmıştır. Toplam 6 saatlik bir ısıl işlem uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.13'de gösterildiği gibi ilk etapta oda sıcaklığı olan 24 °C deki fırın içerisinde 1 saat boyunca 100 °C'ye kadar ısıtılmış, bu sıcaklıkta 2 saat süre ile ısıl işlem devam etmiştir. Sonra sıcaklık yine kademeli olarak 200 °C'ye yükseltilerek, 3 saat boyunca ısıl işlem prosesi devam etmiştir. Son olarak, yavaş bir soğuma sağlanması amacıyla, numuneler son 1 saat 100 °C sıcaklığında iken, yavaş yavaş düşürülerek, daha kararlı bir soğuma sağlanmıştır. Son bir saat içerisinde ise, fırının enerjisi kesilerek 100 °C sıcaklığındaki numunelerin, fırının kapağı açılmadan, yavaş ve kademeli bir şekilde normal oda sıcaklığı olan 24 °C'ye kadar soğuması beklenmiş ve proses tamamlanmıştır [42].



Şekil 4.13. Balata numunelerine uygulanan ısıl işlem prosesinde sıcaklığın zamana bağlı değişimi.

4.2.4. Balata Numunelerinin Testler İçin Hazırlanması

Fren balatası numunelerinin testleri, UTS tribometer cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.14’de görüldüğü gibi, silindirik numunelerin yüzey alanı küçük olduğu için, balataların dışına bakalit gömme işlemi gerçekleştirilerek çapları 15 mm’den 25 mm’ye çıkarılmıştır. Cihazın mengene benzeri çenesine bağlanarak, kalibrasyonu sağlanmış ve 5 mm çapındaki 52100 çelik malzemeden bir karşıt aşınma yüzeyi kullanılmıştır. Çelik bilyenin balata yüzeyine basınç oluşturabilmesi için 3 aşamalı test gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.14. Testlerin daha sağlıklı yapılması amacıyla bakalit gömme yapılmış balata numuneleri.

4.2.5. Sürtünme Aşınma Testleri

Fren balataları, belirli bir sürtünme katsayısı değerine sahiptir. Sürtünme katsayısı birimsiz olup (μ) ile gösterilmektedir. Sürtünme katsayısı, fren balatasının üzerine gelen basıncı ortalama frenleme kuvveti olarak karşıt disk veya kampana yüzeyine aktarabilme kabiliyetine bağlıdır. Sürtünme katsayısı, balatanın içerisindeki aşındırıcı ve aşınma düzenleyici malzemelere bağlı bir etmen olarak tanımlanmaktadır. Sürtünme katsayısı, mekanik açıdan aşağıda verilen denklem ile hesaplanabilir. Fren test cihazları da bu denkleme göre yazılmış belirli bir algoritma ile çalışmaktadır. Balata yüzeyinde oluşan normal kuvveti ölçerek, bu kuvveti fren sisteminin basınç kuvvetine oranlayarak, bu oran birimsiz bir sürtünme katsayısı değeri olarak anlık olarak bilgisayar yazılımına kaydedilmektedir. Buradan yola çıkarak, test süresine bağlı olarak bu değerler ile birlikte bir grafik çizilerek sürtünme katsayısının fren testinin çalışmasına bağlı anlık olarak kaydedilmektedir. Sürtünme katsayısı hesabı (Denklem 4.1) ve (Denklem 4.2)'de belirtilmektedir.

$$f_m = \mu \times F \quad (4.1)$$

$$F = P \times A \quad (4.2)$$

Yukarıda belirtilen denklemler ile sürtünme katsayısı hesaplanmaktadır. Bu denklemlerdeki birimler, aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

- (f_m) Ortalama frenleme kuvveti,
- (μ) Ortalama sürtünme katsayısı,
- (F) Fren balatası yüzeyine gelen normal basınç,
- (P) Fren hidrolik veya sistemindeki uygulama basıncı,
- (A) Fren balatası ile karşıt yüzeyin temas alanı ölçüsü olarak belirtilmektedir [1].

Cihaza, Çizelge 4.2’de gösterilen gerekli parametreler girilerek sistem kodlanmış ve her bir test için 100 m aralıksız frenleme sağlanarak, balatanın en hızlı şekilde ısınarak, cihazın elverdiği en zorlu koşullarda çalışması sağlanmıştır. 3 Farklı kuvvet değeri kademeli olarak artırılarak, balata yüzeyindeki sürtünme filmi gibi frenleme için hayati önem taşıyan yapıların oluşması sağlanmıştır. Bu sayede, ilk 10 dakikalık test süreleri balatanın yüzey alıştırma ve yorma süreleri olarak ele alınmıştır. Sonuçlarda ilk 10 dakikalık süre göz ardı edilmiştir.

Çizelge 4.2. Fren performans testlerinde cihaza kaydedilen test parametreleri.

Kuvvet	Alınan Mesafe	Kurs Mesafesi	Frekans	İlerleme Hızı	Toplam Çevrim Sayısı
10 – 20 - 40N	100m	8mm	3Hz	48m/s	6250

Testler esnasında, çelik bilye balata yüzeyine saniyede 3 defa ileri geri hareket ederek 100 metre yol almıştır. Balata üzerinde kat ettiği mesafe 8mm dir. Her bir test bu parametrelere göre yaklaşık olarak 45 dakika sürmektedir. Testler esnasında ilk 20 metrelik mesafede alınan sürtünme katsayısı değerleri değerlendirmeler esnasında ele alınmamıştır. Bunun sebebi ise o mesafelerde sürtünme katsayısının sabit bir çizgide ilerlememesi ve daha dik bir artış göstermesidir.

Grafiklerde sürtünme katsayısının stabil olmadığı bu alan alıştırma süreci olarak tanımlanmaktadır. Alışma sürecinden sonra çok kısa bir süre içerisinde sürtünme katsayısında hızlı bir artış ve aynı şekilde hızlı bir azalma görülmektedir. Bunun sebebi ise alışma sürecinden sonra balatada sürtünme filmleri oluşup sürtünme katsayısı stabil değer aralığına ulaşana kadar oluşan yüksek aşındırıcı yüzeyin yanma sürecidir. Bu süreç ise toparlama ve yanma süreci olarak adlandırılmaktadır. Bu süreç içerisinde balata içerisindeki sürtünme düzenleyici malzemeler test boyunca duracakları sabit konumlarını almadan önce aşındırıcı yüksek sertlikteki malzemelerin yüzeyde büyük çıkıntılı oluşturmalarıdır. Bu yapılar yüzey pürüzlülüğünü artırarak sürtünme katsayısının testin o aşamalarında aşırı yüksek olmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte koruyucu sürtünme filminin olamaması

sebebiyle test boyunca gerçekleşen balata aşınma oranının testin diğer aşamalarına oranla daha fazla olmasına sebep olmaktadır.

Sürtünme aşınma testleri bir önceki belirtilen yöntemlerle ve uygulanan parametrelerle TS555 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Sürtünme katsayısı değerleri test cihazının verdiği her bir çevrime bağlı toplam 45 dakikalık test süresinin her 2,25'inci dakikasından (135 saniye) bir değer seçilerek bu sürtünme katsayısı değişiminin daha açık bir şekilde gösterilmesi amacıyla sadece bu 20 değer kullanılmıştır. Elde edilen değerler, Microsoft Excel programında grafik haline getirilerek sürtünme katsayısının değişimi zamana bağlı olarak görsel olarak daha anlaşılır bir şekilde açıklanmıştır.

Balata numuneleri, testten önce ve sonra tartılmış, aradaki fark alınarak birim aşınma miktarı hesabında kullanılmıştır. Numunelerin ağırlıkların tartılması 1/10000 hassasiyetindeki hassas bir terazide yapılmıştır. Ayrıca aşınma miktarının başka bir açıdan belirlenmesi için profilmetre kullanılarak aşınma çukurlarının yüzey alanları ölçülerek aşınmanın hacimsel olarak yaklaşık hesabı da yapılmıştır.

4.2.6. Sertlik Ölçümü

Sertlik, bir maddeye uygulanan basınca karşı yükün uygulandığı bölgede oluşan deformasyona bağlı olarak gerçekleşen deformasyonun, boyutuna bağlı elde edilen bir değerdir. Brinell, Vickers, Rockwell gibi sertlik ölçümlerinde deforme olan bölgenin, geometrik şekline göre oluşan dairenin yarıçapı veya dörtgenin köşegen uzunluğuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. Shore sertliğinde ise, geometrik ölçüme gerek yoktur. Ölçüm cihazının, yayındaki sıçrama miktarına bağlı olarak sertlik değeri hesaplanmaktadır. Shore sertliği, genellikle metallere nazaran daha yumuşak olan ve fren balatası gibi görsel olarak daha karmaşık yapılardaki malzemelerin sertlik ölçümünde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Brinell ve Rockwell sertlik ölçümleri denenmiştir. Fakat, malzeme yüzeyi ne kadar parlatılırsa parlatılsın, yüzeyindeki farklı malzemelerin oluşturduğu görsel açıdan karmaşık yapılar sebebiyle, sağlıklı bir ölçüm yapılamayacağından,

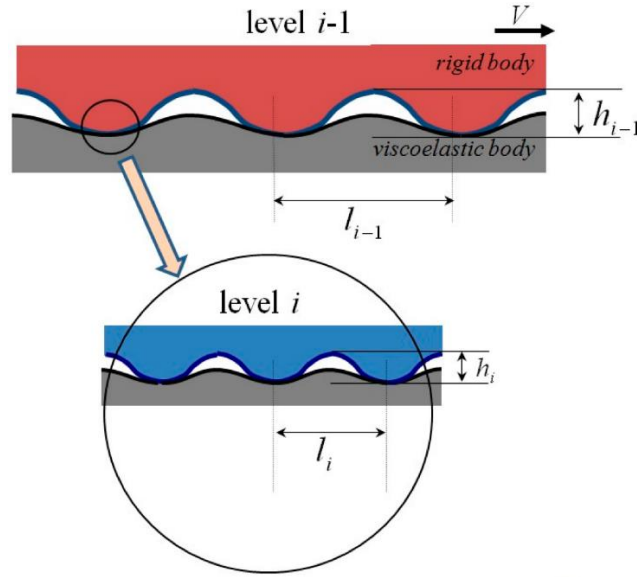
yayın sıçrama miktarına bağı olan Shore D sertlik ölçümü yapılmıştır. Cihazın mikroyapıdaki yeterince sert yaya bağı uç ile numuneye dokunulmuş ve numune ise, cihaza karşı bir tepki kuvveti göstermiştir. Bu yay sıçrama miktarı, cihaz tarafından ölçülerek Shore D sertlik değeri elde edilmiştir.

4.2.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Yüzey pürüzlülüğü, bir cismin yüzeyindeki dalgalanmaların ve şekil değişimlerinin ortalama değerine verilen addır. Fren balatalarında, yüzey pürüzlülüğü istenilen bir durumdur. Fakat, yüzey pürüzlülüğünün aşırı fazla olması, beraberinde aşınmayı da artırmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, fren balatasının sürtünme kuvvetini oluşturma kabiliyetindeki temel etmendir. Fren balatasına nazaran daha az olsa da karşıt yüzey olan disk veya kampana yüzeyi de kusursuz yüzey pürüzlülüğüne sahip değildir. Bu az miktardaki yüzey pürüzleri, balata yüzeyindeki pürüzlülük çıkıntıları ile karşılaştığında birbirine takılarak bir kapma hareketi meydana getirmektedir. Bu kapma hareketi, kısa süreli ve düzenli bir şekilde olmalıdır. Bu sayede, sürtünme katsayısı daha stabil bir yol izleyebilmektedir. Bu kapma – bırakma hareketi fren balatasında bir sürtünme katsayısı değeri oluşmasını sağlamaktadır.

Farklı yük değerleri uygulanan fren balatalarında, yorulmada zamana bağı değişken yüklerin uygulanması da balata yüzeyinin devamlı olarak bir değişim içinde olmasını sağlamaktadır. Bu değişim aynı zamanda, fren balatasındaki değişken sürtünme katsayısı değerlerinin meydana gelmesini de açıklamaktadır. Balatanın, karşıt yüzeye oranla daha fazla aşınması yüzey pürüzlülüğü ile açıklanabilmektedir. Karşıt yüzey olan disk veya kampana yüzeyi balataya oranla çok daha az pürüzsüz bir yapıda üretilmektedir. Bununla birlikte, fren balatasına nazaran çok daha az miktarda aşınma eğilimi göstermektedir. Ayrıca, malzemelerin tanecik boyutları da bu duruma etki etmektedir. Daha küçük boyuttaki tanecikler, birbirine daha homojen karışarak daha düzgün bir balata yapısı oluşturmalarına rağmen, daha büyük tanecik boyutundaki malzemeler sürtünme esnasında balata yapısından daha geç koparak daha uzun süre sürtünmeye etki etmektedir.

Bununla birlikte, tanecik boyutunun büyüklüğü sürtünme katsayısını artırmaktadır. Küçük boyuttaki tanecikler (level i) daha kararlı, fakat daha düşük sürtünme katsayısı ile birlikte daha az aşınma davranışı gösterirken, büyük boyuttaki tanecikler (level $i-1$) daha kararsız, fakat daha yüksek sürtünme katsayısı değerleri vermektedir [53]. Buna karşın, tanecik boyutunun büyük olması da aşınmayı artırmaktadır. Bunun sebebi ise, büyük boyuttaki taneciklerin yüzey pürüzlülüğü daha yüksek sürtünme yüzeyleri oluştururken, daha küçük boyuttaki taneciklerin yüzey pürüzlülüğü daha düşük sürtünme yüzeyleri oluşturmasıdır. Şekil 4.15’de birincil ($i-1$) ve ikincil (level i) yüzey pürüzlülüğü gösterilmektedir [53].



Şekil 4.15. Sürtünmeli yüzeylerde yüzey pürüzlülüğü ile meydana gelen sürtünme mekanizmasının gösterimi [53].

Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğü lazerli profilmetre cihaz ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün yanı sıra, bazı aşınmış bölgelerin de yüzey topolojisi görüntülenmiştir. Tribolojide, fren balatasına teorik olarak verilen isim olan viskoelastik yapının yüzeyinde bulunan birincil ve ikincil pürüzlülük seviyeleri bu cihaz ile görüntülenmiştir. Bu görüntüler yüzey pürüzlülüğüyle birlikte balata yüzeyinin aşınma ve sürtünme katsayısına etkilerini göstermektedir.

4.2.8. Aşınmış Yüzeylerin Mikroyapılarının İncelenmesi

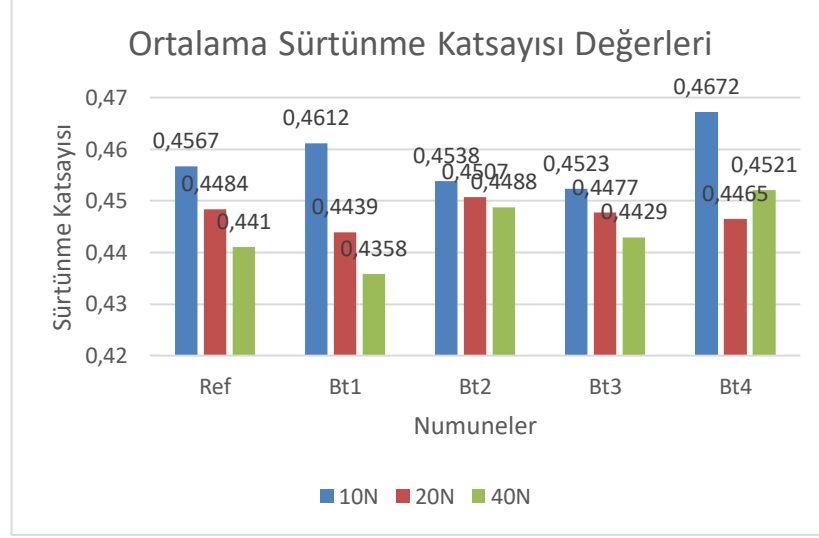
Bu çalışmada, test sonrası numune yüzeyleri SEM görüntüleme ile incelenmiştir. Numuneler, ilk etapta yüzeyden sağlıklı görüntü elde edilebilmesi amacıyla balata yüzeyine karbon kaplama işlemi uygulanmıştır. Tüm numuneler, cihaza aynı anda bağlanıp, 100, 200, ve 500 mikronluk kare alanlarda büyütme yapılarak farklı bölgeler ayrıntılı olarak görüntülenmiştir. 20 kV şiddetinde elektron bombardımanı gönderilerek, mümkün olan en net görüntünün alınması hedeflenmiştir. Numuneler, cihazın haznesine düzgün bir şekilde yerleştirildikten sonra, 10 dakika haznenin vakum oluşturarak, numunelerin hava ile teması engellenmiştir. Deneme görüntüleri alınıp gerekli ayarlar yapıldıktan sonra, cihaz sensörünün ekrana düşürdüğü görüntüye bağlı olarak, ayar kolu yardımıyla istenilen aşınmış yüzeyler gerekli konum, yakınlaştırma ve açılarla hizalanarak, mümkün olan en iyi görüntülerin alınması sağlanmıştır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. SÜRTÜNME AŞINMA DEĞERLERİ

Şekil 5.1’de, 5 farklı balata numunesinin 10, 20 ve 40 N değerindeki yükler altındaki ortalama sürtünme katsayısı değerleri gösterilmiştir. Bu değerlere göre, yük arttıkça sürtünme katsayısı değerleri azalma eğilimi göstermektedir. Sadece BT4 numunesinde bu durumda bir farklılık mevcuttur. 40 N, 20 N ve 10N Yük altındaki testlere göre, ortalama sürtünme katsayısı değeri artmıştır. BT4 numunesi yapısında, cüruf dışında sadece bağlayıcı ve yapısal malzemeler mevcuttur. Sürtünme düzenleyici olarak, sadece yapısal malzeme olarak kullanılan bakır tozu mevcuttur. Bu numunede, cürufun yağlayıcı özelliğinin araştırılması amaçlanmaktadır. Fakat ortalama sürtünme katsayısındaki bu değişim ve sürtünme katsayısının beklenenden çok fazla olması, cürufun fren balatası yapısındaki yağlayıcı yeteneğinin olmadığını kanıtlamıştır. Buna karşın, içerisinde % 50 oranında cüruf bulunan BT4 numunesinin sürtünme katsayısı değerlerinin yüksek olması ise, cürufun iyi bir aşındırıcı olduğu izlenimini vermektedir. Ayrıca, dolgu maddesi miktarı azaltılarak yerine cüruf katkısı yapılan BT3 numunesi de BT4’den sonra en fazla cüruf miktarına sahip numunedir. Sürtünme katsayısı değerleri, yapısındaki cüruf miktarına oranla daha düşüktür. Bu durumun sebebi, dolgu maddesi olarak kullanılan CaCO_3 malzemesinin de az aşındırıcı özelliğinin olması ve diğer balata numuneleri içerisinde fazla miktarda (%20) bulunmasından dolayı CaCO_3 miktarının azalmasının, sürtünme katsayısını düşürdüğü öngörülmektedir.



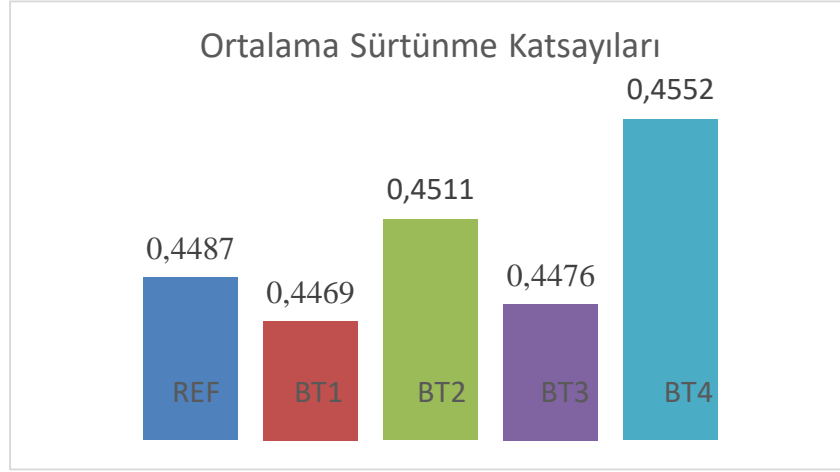
Şekil 5.1. Her bir numunenin farklı yüklerde sahip oldukları ortalama sürtünme katsayısı değerleri.

Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere, ortalama en yüksek sürtünme katsayısı değeri BT4 numunesinde mevcuttur. İkinci en yüksek sürtünme katsayısı değeri ise, BT2 numunesindedir. BT1 ve BT3 kodlu numuneler, REF kodlu referans numunesine oranla daha düşük sürtünme katsayısı değerine sahiptir. Yine de dolgu malzemesi yerine kullanılan cürufun bulunduğu BT3 kodlu numunenin sürtünme katsayısı değeri, kabul edilebilir aralıktadır. Burada da görüldüğü gibi, fren balatalarında cüruf malzemesi kullanımının sürtünme katsayısını arttırdığı kanıtlanmıştır.

Çizelge 5.1. Her bir numunenin farklı yüklerde sahip oldukları ortalama sürtünme katsayısı değerleri.

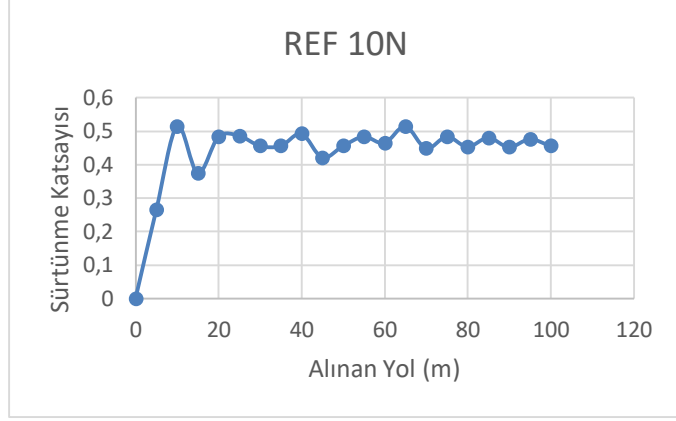
REF	BT1	BT2	BT3	BT4
0,4487	0,4469	0,4511	0,4476	0,4552

Şekil 5.2’de ortalama sürtünme katsayıları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı BT4 numunesinde (0,4552), en düşük sürtünme katsayısı değeri ise BT1 numunesinde (0,4469) gözlemlenmiştir.

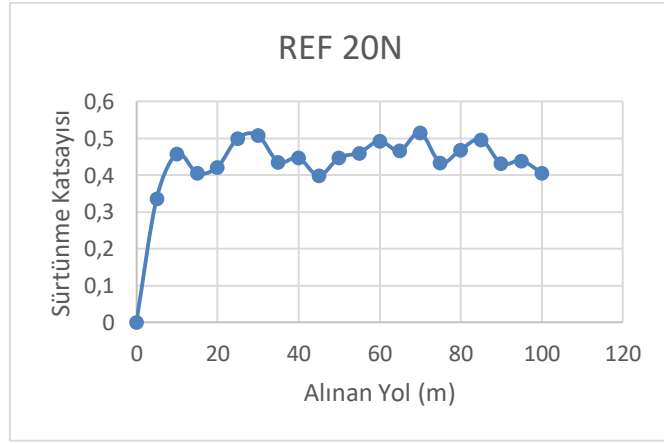


Şekil 5.2. Balata numunelerinin ortalama sürtünme katsayısı değerlerinin karşılaştırılması.

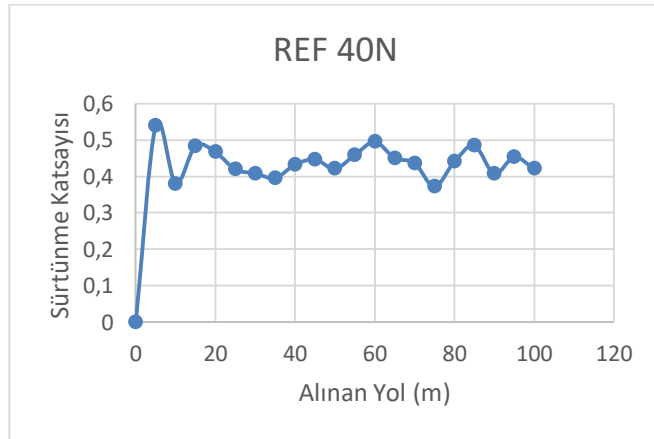
Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16. ve Şekil 5.17’de 5 farklı numunenin, 3 farklı yük altında ayrı ayrı sürtünme katsayısı değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en stabil sürtünme katsayısı değerlerine BT2 kodlu numune sahiptir. Sürtünme katsayısı en az stabil olan numune ise, BT4 kodlu numunedir. BT2 ve BT3 kodlu numuneler, yakın stabilite değerlerine sahiptir. Tüm numuneler, alıştırma süreci olan ilk 10 metrelik test mesafesinde, sürtünme katsayıları ani bir artış göstermiştir. Devamında ise, sürtünme katsayısı maksimum noktaya ulaşmış, sonradan stabil hale geleceği değer aralıklarında salınımlı olarak devam etmiştir. Bu değer aralığı farklarının en az olduğu numune BT2 kodlu balata numunesidir.



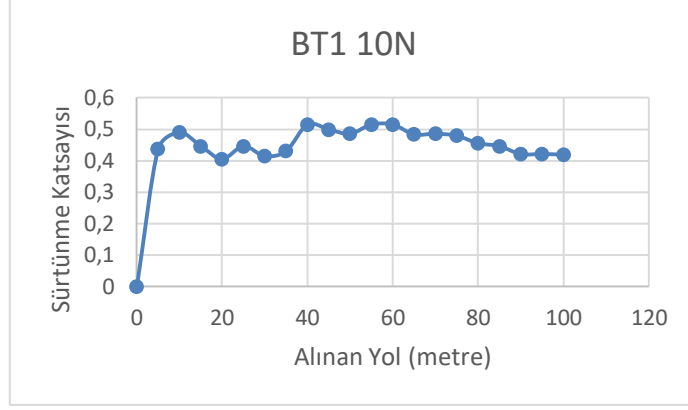
Şekil 5.3. REF kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



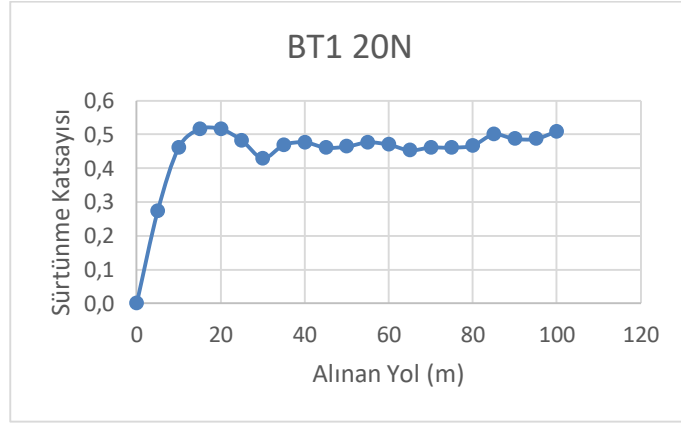
Şekil 5.4. REF kodlu numunenin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



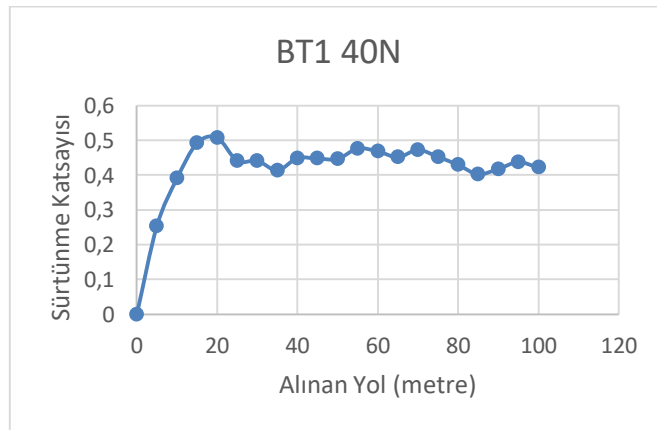
Şekil 5.5. REF kodlu numunenin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



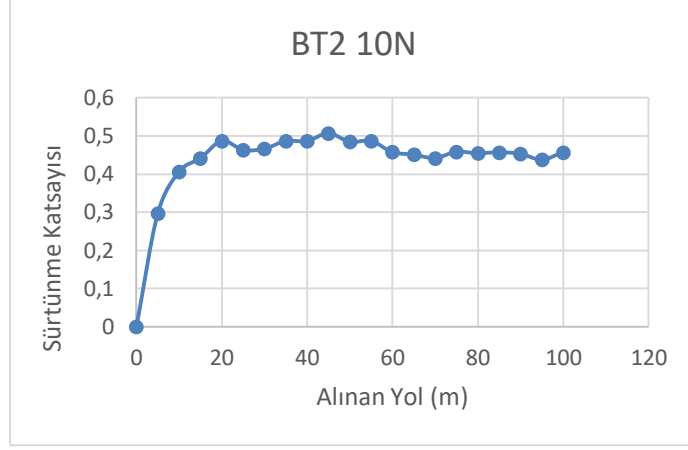
Şekil 5.6. BT1 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



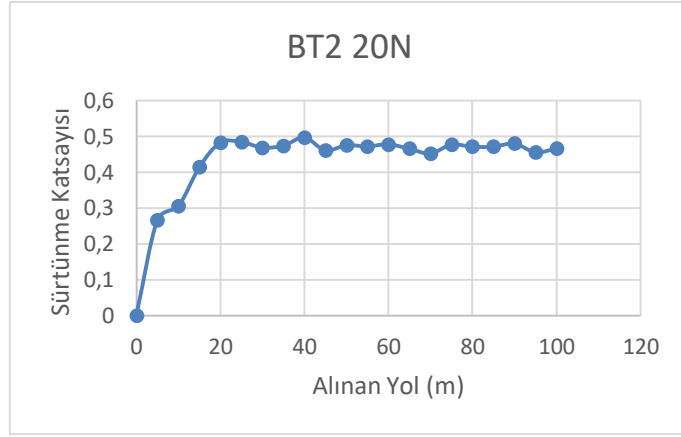
Şekil 5.7. BT1 kodlu numunenin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



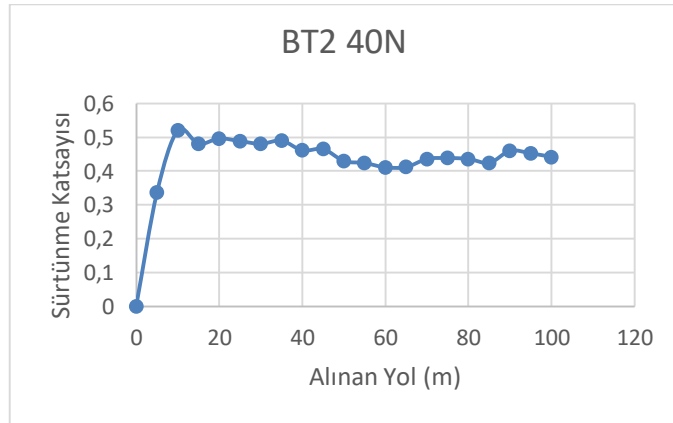
Şekil 5.8. BT1 kodlu numunenin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



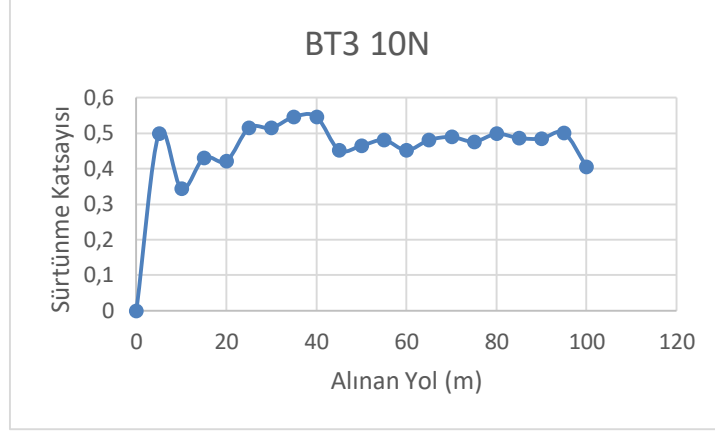
Şekil 5.9. BT2 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



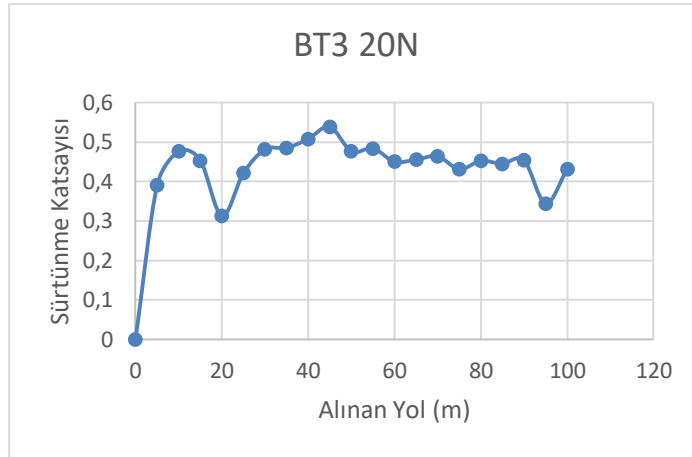
Şekil 5.10 BT2 kodlu numunenin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



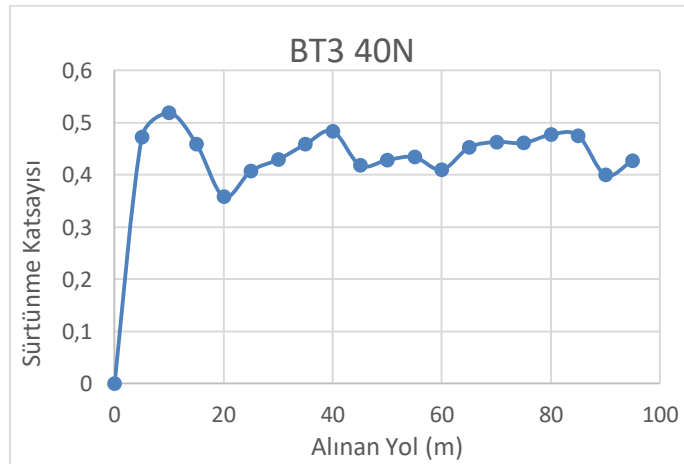
Şekil 5.11. BT2 kodlu numunenin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



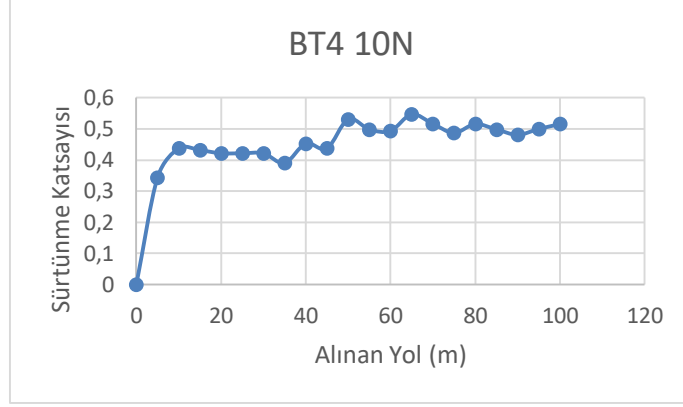
Şekil 5.12. BT3 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



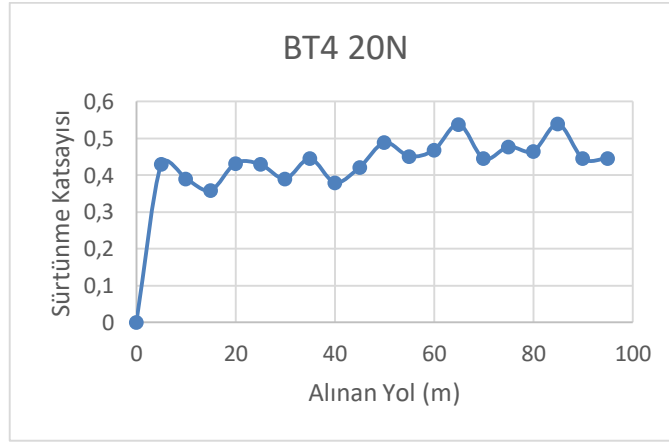
Şekil 5.13. BT3 kodlu numunenin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



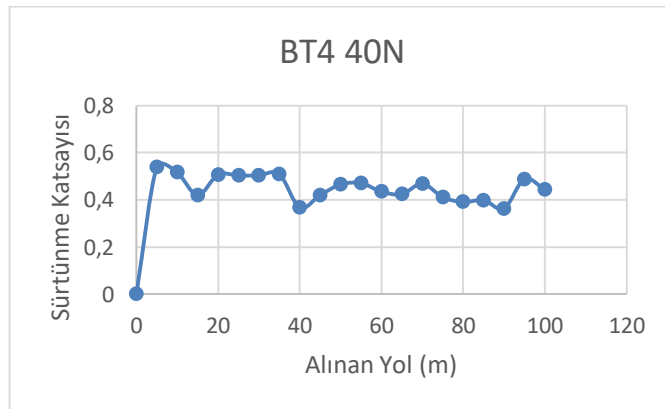
Şekil 5.14. BT3 kodlu numunenin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.



Şekil 5.15. BT4 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.

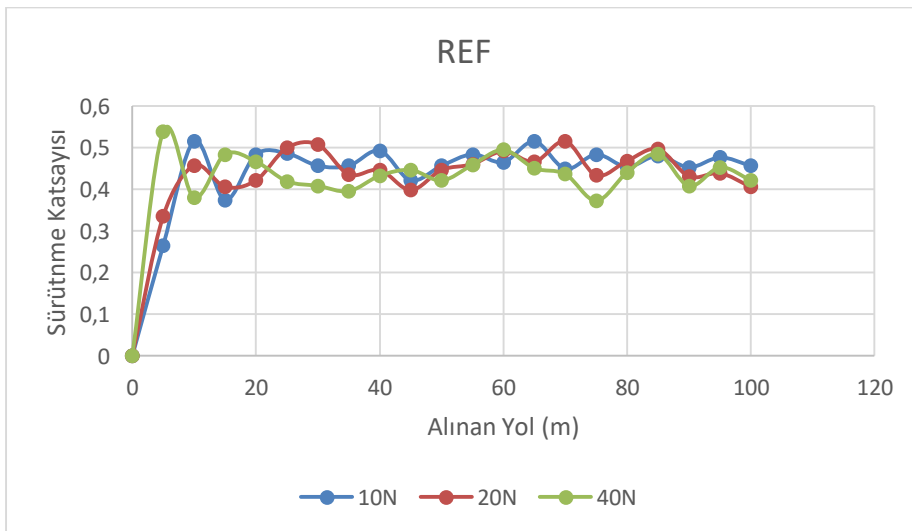


Grafik 5.16. BT4 kodlu numunenin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.

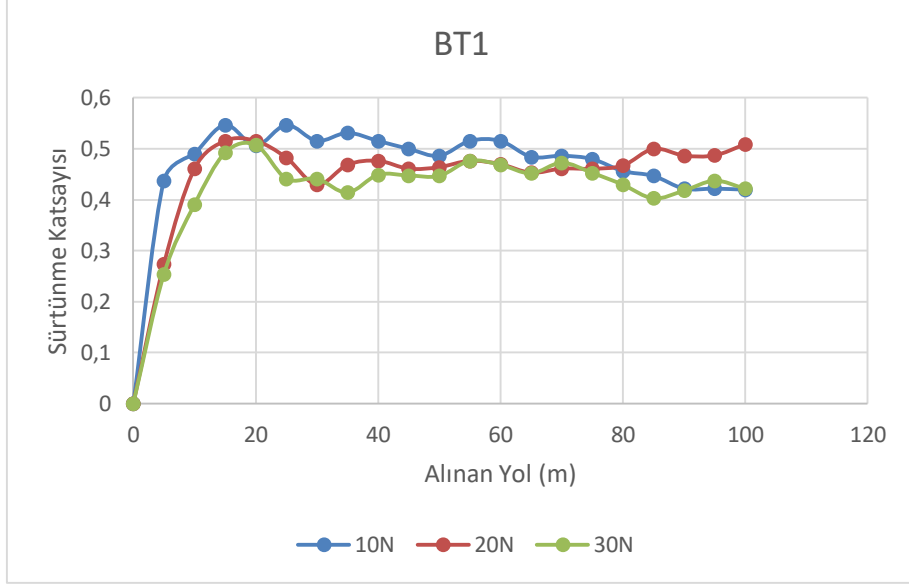


Grafik 5.17. BT4 kodlu numunenin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimi.

Aşağıda, sürtünme katsayısının farklı yükler uygulandığındaki durumu ve bu yüklerle bağlı değişimi incelenmiştir. Daha homojen yapıya sahip ve daha stabil çalışan balatalar, farklı fren yükleri altında daha yakın sürtünme katsayısı değerlerinde çalışmaktadır. Şekil 5.22'ye göre, sürtünme katsayısının yüklerle bağlı olarak en değişken olduğu balata numunesi BT4 kodlu numunedir. BT kodlu numune, diğer numunelere oranla yüksek sürtünme katsayısı değerleri göstermesine rağmen, bu değerlerin fazla değişken olması, fren sistemlerinde optimum bir kullanım için uygun olmadığını göstermiştir. Aynı şekilde, BT3 numunesi de BT4 kadar olmasa da daha istikrarsız bir frenleme performansı sergilemiştir. Şekil 5.19 ve Şekil 5.21'e göre BT1 numunesi BT3 ve BT4 numunesine nazaran daha iyi bir performans sergilemiştir. Şekil 5.20'ye göre, farklı fren yüklerine karşı en istikrarlı çalışma BT2 numunesinde sağlanmıştır. 5.18'e göre BT1 ve BT2 numuneleri REF kodlu referans alman numuneye oranla daha stabil ve göreceli olarak daha yüksek sürtünme katsayısı değerlerine sahiptir. BT2 Numunesinde, cüruf aşındırıcı maddelerin yarısı eksiltiilerek yerine takviye olarak kullanılmıştır. Bu durum, cürufun fren balatası içerisinde aşındırıcı özelliğe sahip olabileceğini göstermektedir. Fakat, cürufun tek başına fren balatasındaki sürtünme katsayısını artırmasına karşın sürtünmenin daha kararlı olması için cüruf, sürtünmeyi düzenleyici grafit veya bakır gibi daha yumuşak bir malzemeye ihtiyaç duymaktadır.



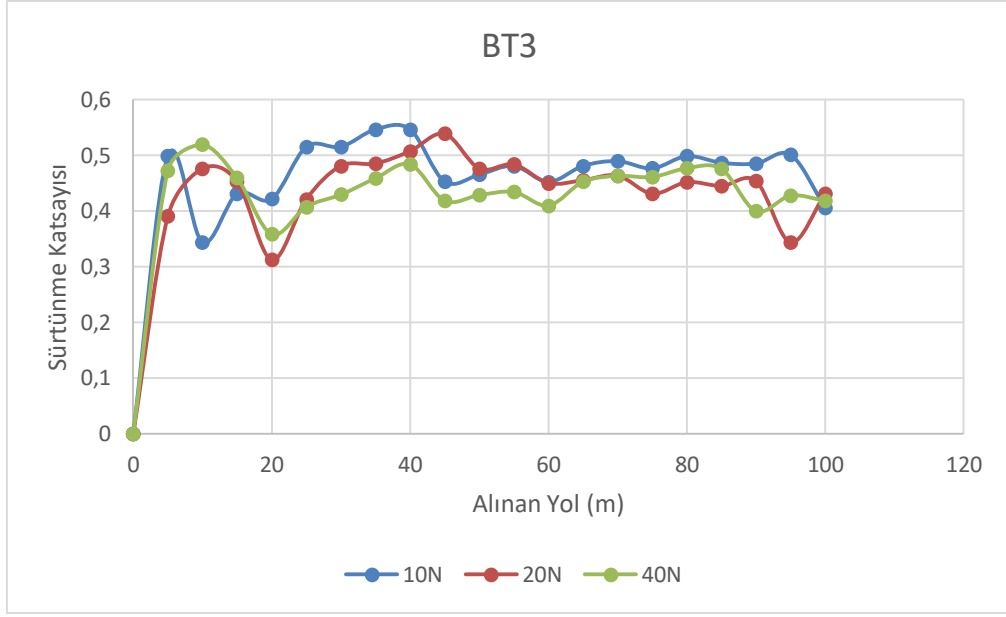
Şekil 5.18. REF kodlu numunenin farklı yükler altında sürtünme katsayısının değişimi.



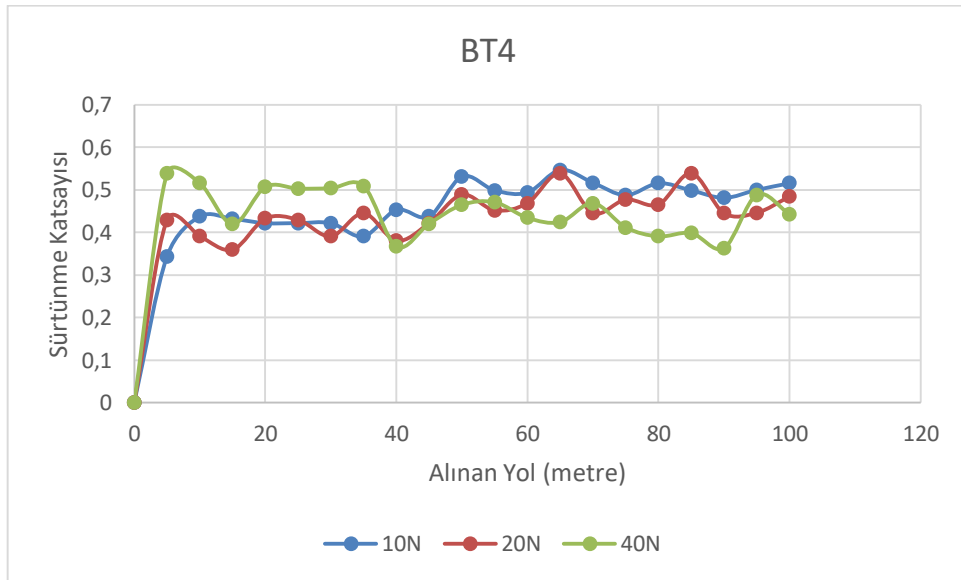
Şekil 5.19. BT1 kodlu numunenin farklı yükler altında sürtünme katsayısının değişimi.



Şekil 5.20. BT2 kodlu numunenin farklı yükler altında sürtünme katsayısının değişimi.



Şekil 5.21. BT3 kodlu numunenin farklı yükler altında sürtünme katsayısının değişimi.



Şekil 5.22. BT4 kodlu numunenin farklı yükler altında sürtünme katsayısının değişimi.

Sürtünme filmi, sürtünme katsayısını düşürse bile, sürtünme katsayısının farklı çalışma koşullarına karşı benzer değerler göstermesini sağlamaktadır. Bu konuda karşılaştırma yapabilmek için kullanılan en iyi yöntem, sürtünme kararlılığı hesabıdır (Denklem 5.1)'de gösterilen FS, sürtünme kararlılığı, μ_{ort} , ortalama sürtünme katsayısı değeridir, μ_{max} , Numunenin gördüğü en yüksek sürtünme katsayısı değeridir [43]. Çizelge 5.2'de sürtünme kararlılığı değerleri gösterilmektedir.

$$FS = (\mu_{ort}/\mu_{max}) \times 100 \quad (5.1)$$

Çizelge 5.2'de görüldüğü gibi, en kararlı numune BT2, en kararsız numune ise BT4 numunesidir. BT4 Numunesi haricinde bütün numuneler REF kodlu referans numunesinden daha kararlı çalışmaktadır.

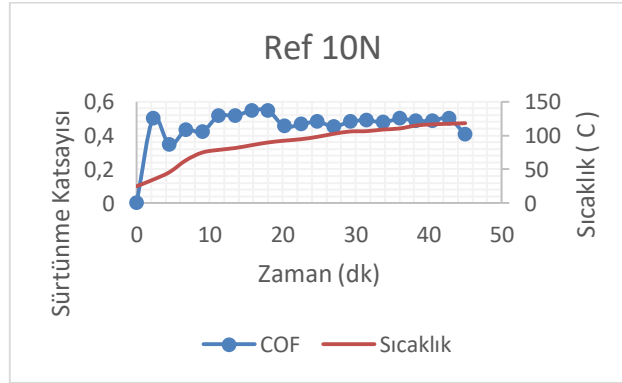
Çizelge 5.2. Sürtünme katsayısı ortalaması ve maksimum sürtünme katsayısına bağlı sürtünme kararlılığı.

Numune	REF	BT1	BT2	BT3	BT4
μ_{ort}	0,4487	0,4469	0,4511	0,4476	0,4552
μ_{max}	0,5390	0,5155	0,5194	0,5190	0,5760
FS (%)	%83,2	%86,6	%86,8	%86,2	%79

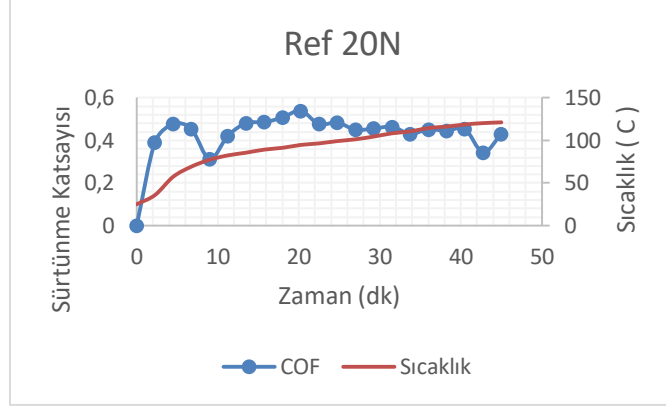
Sürtünme katsayısının kararlılığını, yük değişiminden başka bozan bir diğer parametre ise fren balatasının çalışma sıcaklığıdır. Özellikle, bazı malzemeler yüksek sıcaklıklar altında kimyasal veya fiziksel olarak değişmekte ve fren balatasındaki görevlerine bağlı bazı özellikleri değişim göstermektedir. Bu durumun engellenmesinin en etkili yolu, fren balatasının ısı transferinin yüksek olmasıdır. Çünkü, fren balatası sürtünme kuvveti uygularken tahrik gücünden sönmlediği enerji, en çok ısı enerjisine, ikinci olarak da titreşim (ses) enerjisine dönüşmektedir. Bu yüzden, fren balatasında sesi azaltma görevi sürtünme düzenleyicilere aittir. Fakat, genellikle balatalara ısıl iletkenliği arttırmak için tek başına bir malzeme eklenmez. Genellikle alüminyum ve bakır içerikli bileşikler, bu görevi üstlenmektedir.

Demir cürufunun içerisinde bulunan alüminna (Al_2O_3), bu konuda tek başına olmasa da kabiliyetlidir. Ayrıca, bakır tozu da ısıyı iyi iletmede son derece başarılıdır. İyi bir iletken olan bakır, fren balatası içerisine yeterince ve homojen bir şekilde dağılım gösterdiğinde, fren balatasının ısınmasını önemli derecede engellemektedir.

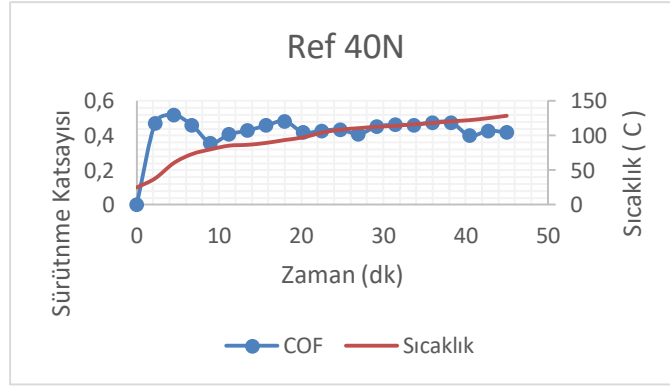
Sıcaklık, balataya baskı uygulanan bölgeden 5 – 10 cm uzaklıktan lazerli termometre ile her 135 saniyede bir ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir test, 45 dakika sürdüğünden 20 adet sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Her bir testte başlangıç sıcaklığı 24 °C olarak kabul edilmiştir. Her bir çalışmadan sonra, karşıt yüzeydeki çelik bilyanın bu sıcaklığa gelene kadar soğuması beklenmiştir. Elde edilen sıcaklık değerleri, zamana karşı sürtünme katsayısı grafiğine eklenerek, sürtünme katsayısının sıcaklığa bağlı değişimi ve balatanın zamana bağlı sıcaklık değişimi her bir testte aynı grafik üzerinde açıklamıştır. Sürtünme katsayısının sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30, Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33, Şekil 5.34, Şekil 5.35, Şekil 5.36, Şekil 5.37’de gözlemlenmiştir.



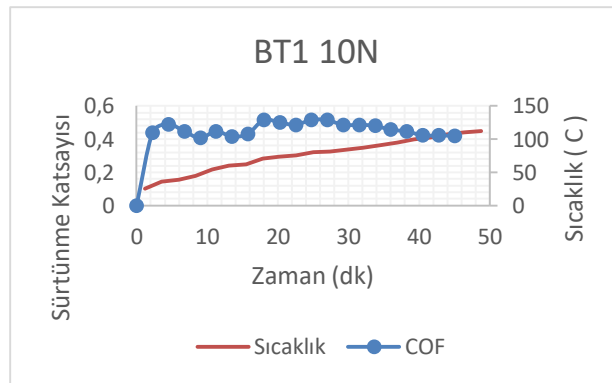
Şekil 5.23. REF kodlu numunenin 10N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



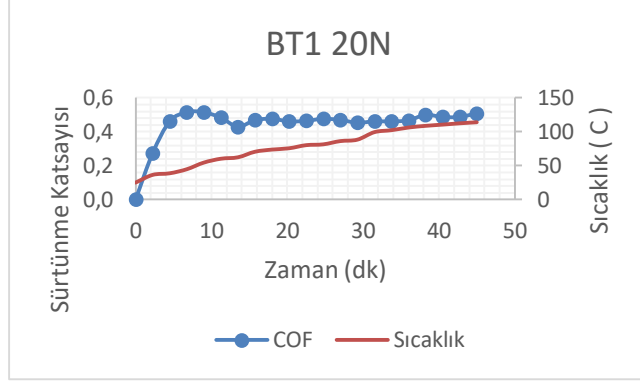
Şekil 5.24. REF kodlu numunenin 20N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



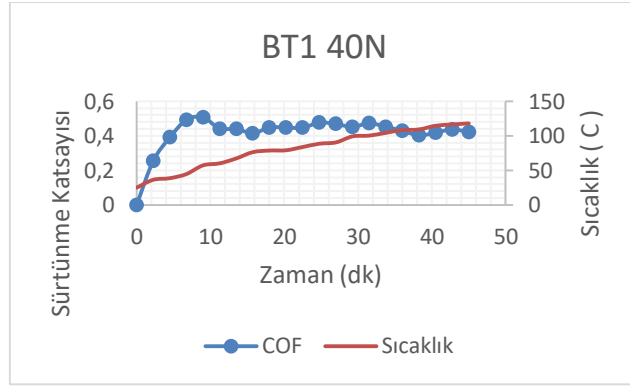
Şekil 5.25. REF kodlu numunenin 40N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



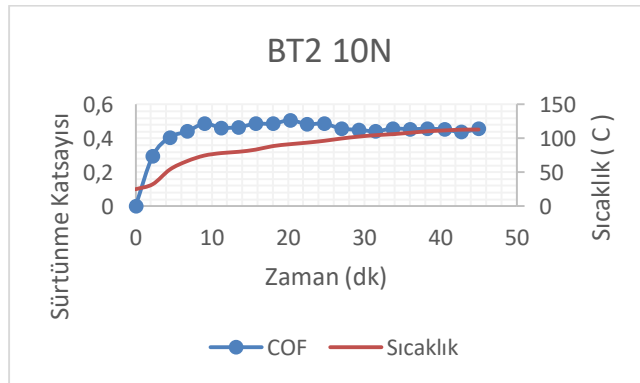
Şekil 5.26. BT1 kodlu numunenin 10N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



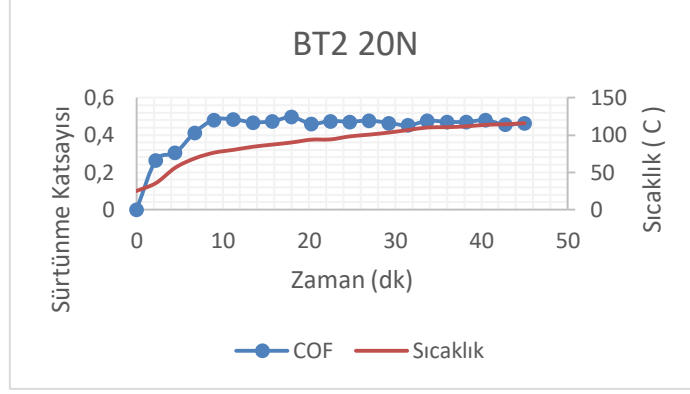
Şekil 5.27. BT1 kodlu numunenin 20N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



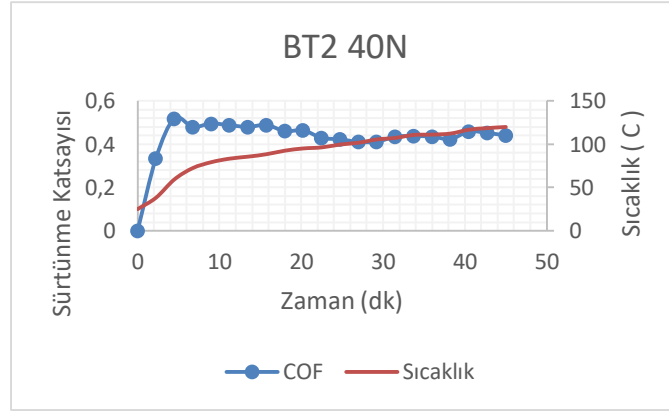
Şekil 5.28. BT1 kodlu numunenin 40N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



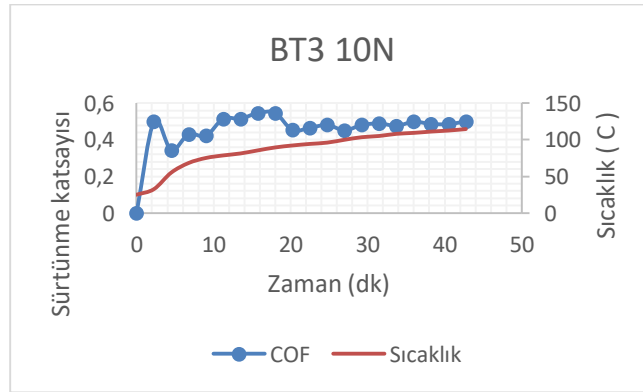
Şekil 5.29. BT2 kodlu numunenin 10N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



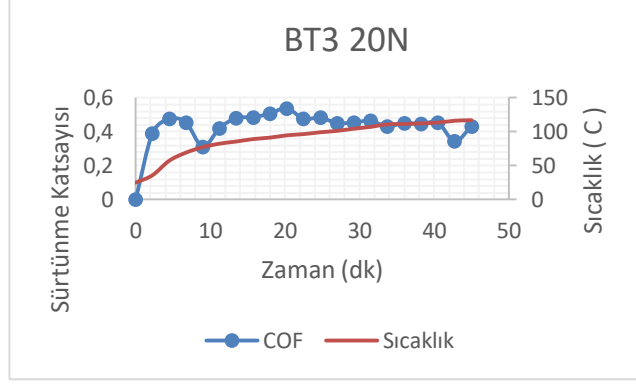
Şekil 5.30. BT2 kodlu numunenin 20N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



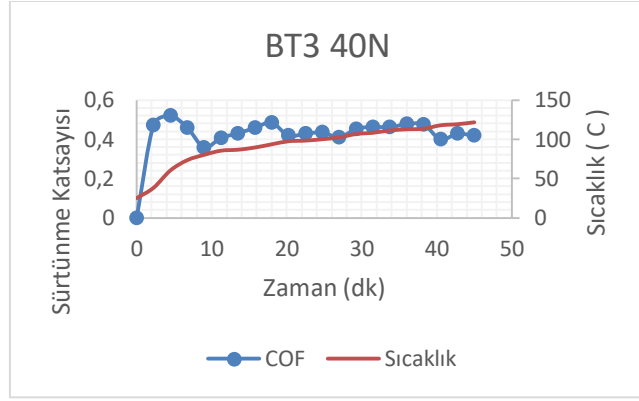
Şekil 5.31. BT2 kodlu numunenin 40N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



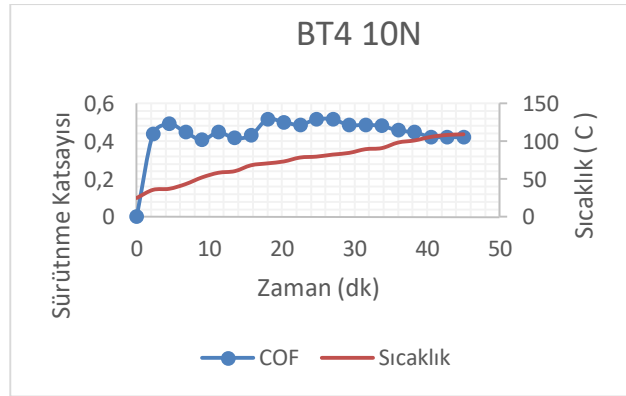
Şekil 5.32. BT3 kodlu numunenin 10N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



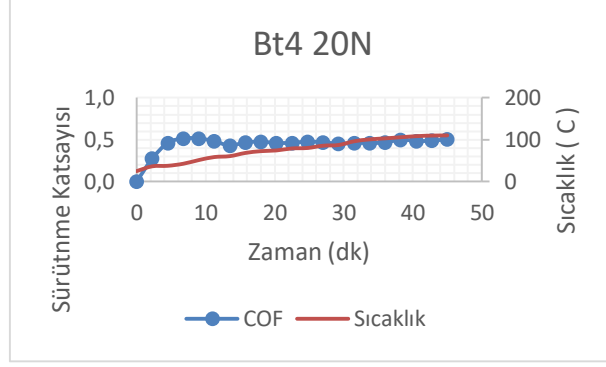
Şekil 5.33. BT3 kodlu numunenin 20N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



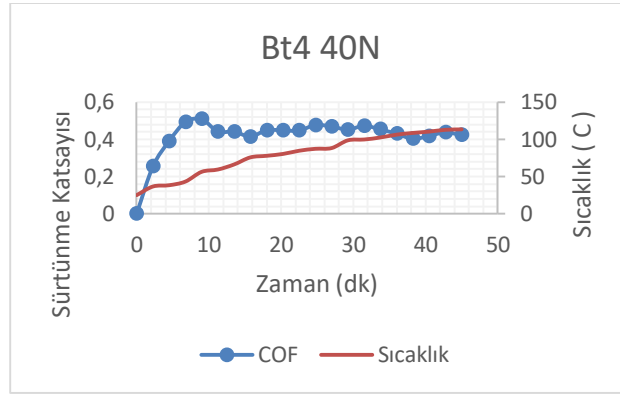
Şekil 5.34. BT3 kodlu numunenin 40N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



Şekil 5.35. BT4 kodlu numunenin 10N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



Şekil 5.36. BT4 kodlu numunenin 20N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



Şekil 5.37. BT4 kodlu numunenin 40N yük altında sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

Görüldüğü üzere, fren balatalarının çalışması esnasında, sürtünme sonucu belirli bir ısı enerjisi açığa çıkmıştır. Bu duruma bağlı olarak, fren balatası ve karşıt yüzeyin sıcaklığı artmıştır. Fakat, bu sıcaklık artışı, her bir balatada farklı bir davranış sergilemiştir. Ayrıca, fren balatası üzerindeki yük arttıkça, daha fazla sıcaklık artışı gözlemlenmiştir. Çizelge 5.3'te, numunelerin test esnasında ulaştıkları maksimum sıcaklık değerleri gösterilmiştir. Sürtünme katsayısı daha yüksek olan numuneler daha fazla ısınmıştır.

Çizelge 5.3. Balata numunelerinin her bir test esnasında ulaştıkları maksimum sıcaklık değerleri.

Yük/Numune	REF	BT1	BT2	BT3	BT4
10N	118°C	112°C	113°C	115°C	109°C
20N	121,2°C	114°C	116°C	117°C	110,2°C
40N	128,7°C	118°C	121,6°C	120°C	113,3°C

Yapılan bütün testlerde, en yüksek çalışma sıcaklığına REF kodlu numune ulaşmıştır. Testler sonucunda, sıcaklık artışı ile aşınmanın doğru orantılı olduğu görülmüştür. Aşınma, fren balatasının sürtünme esnasında, yapısında bulunan bazı parçacıkların koparak balatadan ayrılmasına verilen addır. Bu durumda, balata çalışma esnasında ağırlığının bir kısmını kaybetmektedir. Bu ağırlık kaybının mümkün olan en az derecede olması beklenir [44]. Ayrıca, balatanın hiç aşınmaması ise karşıt yüzeyi tahrip etmesi anlamına geldiğinden, istenmeyen bir durumdur. Yapılan testlere göre, aşınmanın balatanın sıcaklığı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin, balatanın aşırı ısınmasının yapısında bulunan bazı malzemelerin kimyasal yapısının bozulması, bağlanma yeteneğini kaybetmesi veya yanması olarak öngörülmektedir.

Bu çalışmada, aşınma testleri ağırlık üzerinden yapılmıştır. Her bir numune test öncesinde ve sonrasında tartılarak, ağırlık farkı hesaplanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu sayede, numunenin yapısına ve diğer test sonuçlarına göre balatanın aşınma miktarına etki eden faktörler de belirlenmiştir. Çizelge 5.4’de test öncesi ve sonrası ağırlık değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Balata numunelerinin test öncesi ve sonrası ağırlıkları ve aşınma ağırlık kaybı.

	REF	BT1	BT2	BT3	BT4
Test Öncesi Ağırlık (gr)	12,78	11,751	13,333	11,454	13,399
Test Sonrası Ağırlık (gr)	12,701	11,716	13,284	11,402	13,369
Ağırlık Kaybı (gr)	0,079	0,035	0,049	0,052	0,03

Görüldüğü üzere, fren balata numuneleri testlerden sonra farklı miktarlarda aşınarak ağırlık kaybetmişlerdir. Bu ölçümlere göre, en fazla aşınan numune REF kodlu referans numunesidir. En az aşınan numune ise, BT4 numunesidir. Fakat, aşınma ölçümünden sonra, balata aşınma miktarı, TS555 standartlarına göre özgül aşınma hesabı ile tanımlanmaktadır. Özgül aşınma, balatanın birim hacminin aşınma miktarıdır. Eğer bir fren balatasının özgül aşınma değeri biliniyorsa, çalışma parametreleri ve balatanın yüzey alanına bağlı olarak bulunduğu çalışma koşullarında, fren balatasının ne kadar aşınacağı hesaplanabilmektedir. Otomotiv fren balatalarında özgül aşınma (Denklem 5.2) ile hesaplanmaktadır [8].

$$W = \frac{1}{2\pi r} \times \frac{1}{f \cdot m \cdot n} \times \frac{m_1 - m_2}{\rho} \quad (5.2)$$

Bu formülde, W aşınma oranı (cm^3/Nm), r balata merkezinin disk merkezine olan uzaklık (m), fm ortalama sürtünme katsayısı (N), n diskin dakikadaki devir sayısı (rpm), m1 ve m2 numunelerin test öncesi ve sonrası ölçülen ağırlıkları (g), ρ ise balatanın yoğunluğudur (g/cm^3).

Fakat bu denklem, döner disk hareketi için oluşturulduğundan bizim çalışmamız için uygun olacak şekilde doğrusal sürtünme hareketi için uyanlamıştır. Bu testlerde, devir sayısı değeri olmadığı için, formülde devir sayısı ve balata orta bölgesinden çizilmiş varsayılan çemberin çapı x devir olarak elde edilen değer, balatanın aldığı yol olduğundan, bu değerleri test cihazına kaydettiğimiz mesafe olarak varsayılmıştır. Bunun sonucunda (Denklem 5.3) ve (Denklem 5.4) birleştirilerek (Denklem 5.5) elde edilmiştir.

$$W = \frac{1}{2\pi r} \times \frac{m_1 - m_2}{n \cdot f \cdot m \cdot \rho} \quad (5.3)$$

$$L = 2\pi r n \quad (5.4)$$

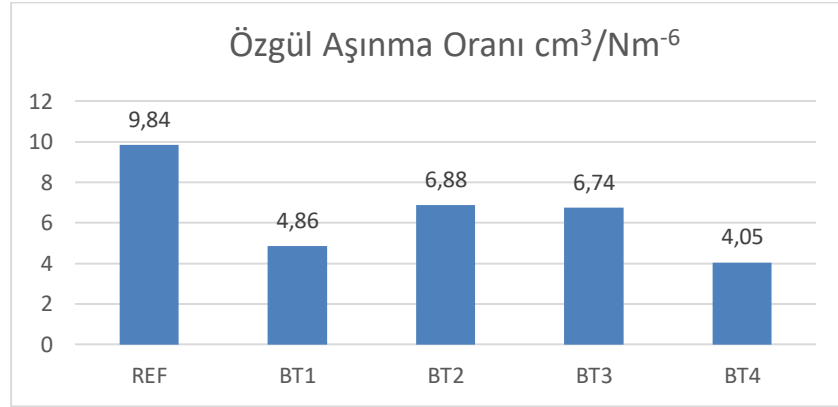
Her bir test esnasında fren balatası 100 m yol almıştır. Her balata 3 kez test edildiğinden toplamda 300 m yol almıştır. Baskı kuvveti olarak her 3 testin ortalaması olan 23,33 N değeri kullanılmıştır.

$$W = \frac{m_1 - m_2}{L \cdot f \cdot m \cdot \rho} \quad (5.5)$$

Görüldüğü üzere, özgül aşınma formülü doğrusal harekete uyarlanarak çalışmadaki fren balatası numunelerinin özgül aşınma miktarı doğru bir şekilde hesaplanmıştır [45]. Yoğunluk ölçümü de test öncesi kütlelere göre, testten önce aynı ebata dönüştürülen 15 mm çapında ve 18 mm yüksekliğindeki silindirik balata numunelerin hacmi 3,18 cm³ olarak hesaplanmıştır. Test öncesi ağırlıklar da bilindiğinden, balata yoğunlukları, özgül aşınma formülünde kullanılmak üzere hesaplanmıştır. Çizelge 5.5’de aşınma hesabı esnasında kullanılan tüm parametreler ve elde edilen sonuçlar birlikte gösterilmektedir. Şekil 5.38’de, özgül aşınma oranları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Özgül aşınma hesabında kullanılan değişken parametreler ve özgül aşınma oranları.

	REF	BT1	BT2	BT3	BT4
Test Öncesi Ağırlık (g)	12,78	11,751	13,333	11,454	13,399
Test Sonrası Ağırlık (g)	12,701	11,716	13,284	11,402	13,369
Aşınma Ağırlık Kaybı (g)	0,079	0,035	0,049	0,052	0,03
Yoğunluk (g/cm ³)	2,557	2,299	2,254	2,464	2,324
Ortalama Sürtünme Katsayısı	0,4487	0,4469	0,4511	0,4476	0,4552
Ortalama Sürtünme Kuvveti (N)	10,468	10,426	10,524	10,442	10,619
Özgül Aşınma (cm ³ /Nm)	9,84x10 ⁻⁶	4,86x10 ⁻⁶	6,88x10 ⁻⁶	6,74x10 ⁻⁶	4,05x10 ⁻⁶



Şekil 5.38. Özgül aşınma oranlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.38’de görüldüğü üzere, en fazla REF kodlu numune aşınmıştır. En az aşınan numune ise BT4 numunesidir. BT1 numunesinde, cürufle birlikte yapısında bulunan sert malzemeler de mevcut olduğu için daha az aşındığı gözlemlenmiştir. BT2 ve BT3 kodlu numunelerde cüruf oranı farklı olmasına rağmen aşınma oranlarının birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu da belirli bir orandan sonra cürufun aşınma miktarını değiştirmediğini kanıtlamaktadır. İçerisinde %50 oranında cüruf bulunan BT4 numunesinin en az aşınması, taneciklerin birbirine daha sıkı bağlandığını göstermektedir. Bu durum, cürufun çimentodaki mineral katkısı gibi bir miktar da olsa bağlayıcılık özelliği olduğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca, cürufun diğer bazı aşındırıcılara nazaran sert yapısı olduğu için, göreceli olarak diğer malzemelere göre daha az aşınma sağladığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.6’da, balatalarda test esnasında ulaşılan maksimum sıcaklıklar ile aşınma miktarının doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Balata numuneleri, çalışma esnasında ne kadar fazla ısı açığa çıkarırsa, o kadar fazla aşınmaktadır. Ayrıca, ısı iletkenliğinin de bu duruma etkisi olduğu düşünülmektedir. Cüruf taneciklerindeki porozif delikli yapı, balatanın ürettiği ısının başarılı bir biçimde dışarı atılmasını sağlamaktadır [21]. Fakat, porozitenin fazla olması balatanın içerisinde oluşabilecek çatlak ve kırık gibi kötü sonuçlar doğurabilecek mikro yapıların oluşmasını sağlamaktadır. Numunelerde kullanılan granüle cürufun tanecik boyutunun küçük olması, bu çalışmada bu zararı azaltmaktadır. Fakat tanecik boyutu arttıkça, aşındırıcı tanecikler daha sağlam tutunacak ve sürtünme katsayısının artmasını sağlayacaktır. Ayrıca, daha büyük tanecikler daha iyi tutunacak ve daha az aşınacaktır. Fakat, daha büyük boyutlu taneciklerin daha yumuşak yapıda olması, yük altında şekil değişikliği ve dağılmaya sebep olacağından, bu konuya da dikkat edilmesi gerekmektedir. Özellikle, cürufun porozif yapısı, bu durum için en iyi açıklamadır. Cüruf taneciklerinin fazla büyük olması ve gevrek yapısı, grafit gibi yumuşak malzemelerden farklı olarak dağılmaya ve kırılmaya sebep olacaktır. Taneciklerin gevrek olması, ufalanarak dağılmalarına ve aşınmanın artmasına sebep olabilmektedir. Bu çalışmada ise, tanecik boyutunun bir miktar daha artırılması bu dağılmaya sebep olmayacağından cüruf taneciklerinin boyutunun artırılması balatalarda aşınmayı azaltacaktır.

Çizelge 5.6. Numunelerin ulaştığı maksimum çalışma sıcaklığı ile özgül aşınma oranlarının karşılaştırılması.

Numune	REF	BT1	BT2	BT3	BT4
Maksimum Sıcaklık °C	128,7	118	121,6	120	113,3
Özgül Aşınma Oranı cm ³ /Nm	9,84x10 ⁻⁶	4,86x10 ⁻⁶	6,88x10 ⁻⁶	6,74x10 ⁻⁶	4,05x10 ⁻⁶

5.2. SERTLİK DEĞERLERİ

Fren balatalarında, sertliğe etki eden başlıca etmen yapısında kullanılan malzemelerin mohs sertliğidir. Mohs sertliği, malzemenin kimyasal yapısı ile doğrudan ilgilidir [46]. Çizelge 5.7’de, numunelerde kullanılan malzemelerin mohs sertlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.7. Balata numunelerinde kullanılan malzemelerin mohs sertlik değerleri [47,48,49].

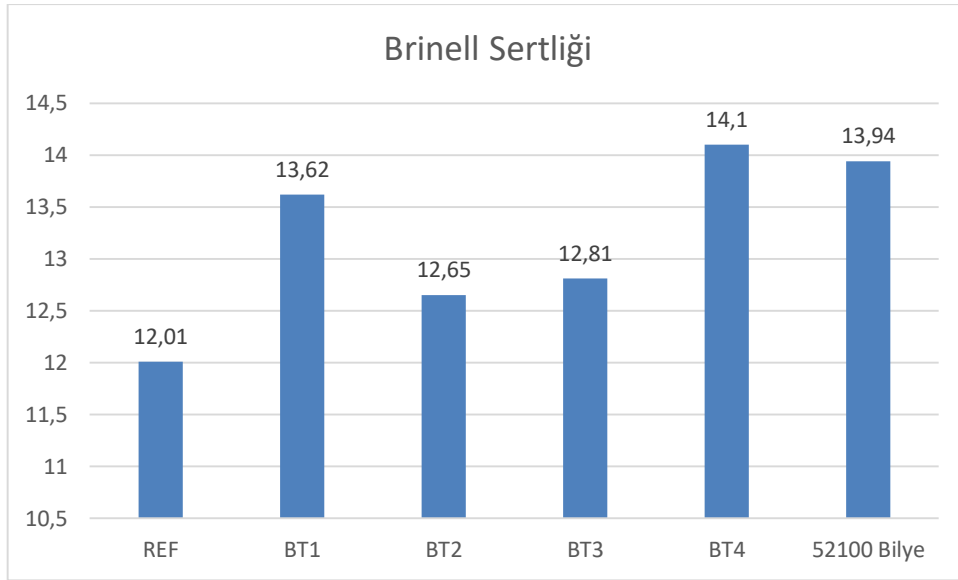
Grafit	2
Bakır	3
Al ₂ O ₃	9
CaCO ₃	3
SiO ₂	7
Fe ₂ O ₃	7,5
Bronz	3

Görüldüğü üzere, aşındırıcı malzemeler diğer malzemelere oranla daha fazla sertliğe sahiptir. Bu sayede, fren yüküne ve tahrik kuvvetine karşı koyacak kadar dayanıklı fren balatalarının yapılması sağlanmaktadır. Aynı şekilde, bakır ve grafit gibi yumuşak malzemeler de sürtünme kuvvetindeki düzensizlikleri dengelemek ve gürültüyü azaltmak amacıyla bu titreşimleri belirli oranda sönmüleyerek, balatanın daha düzenli çalışmasını sağlamaktadır [50]. Ayrıca, karşıt yüzey olarak kullanılan 52100 çelik bilyenin sertliğinin numunelere nazaran yüksek olması, sağlıklı frenleme ve disk veya kampana yüzeyinin aşınarak sistemin sağlıklı çalışmasını sağlamak açısından önemlidir.

BT4'ün karşıt yüzeyin sertliğine yakın olması, bu numunenin kullanıma uygunluğunu azaltmaktadır. Çizelge 5.8'de sertlik değerleri belirtilmiştir. Şekil 5.39'da ise, sertlik değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Çizelge 5.8. Fren balatası numunelerinin ölçülen sertlik değerleri.

	REF	BT1	BT2	BT3	BT4	Karşıt Yüzey (52100 Çelik)
Shore D	75	85	79	80	88	87
Brinell	12,01	13,62	12,65	12,81	14,1	13,94



Şekil 5.39. Sertlik değerlerinin karşılaştırılması.

Balata numunelerinin sertlik analizinde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise, ısıtılma işlemi sırasında kaybedilen yağ ağırlık miktarıdır. Numunelerin ısıtılma işlemi esnasında yapısında bulunan katı dışı bazı malzemeler, yüksek ısının etkisiyle balata yapısı dışına çıkabilmektedir. Bu çalışmada, balata numuneleri sıcak presten çıktıktan sonra ısıtılma işlemine gönderilmeden önce tartılmıştır. Çizelge 5.9’da bu durum kısmen belirtilmiştir.

Çizelge 5.9. Balata numunelerinde sertlik ile özgül aşınma miktarının karşılaştırılması.

	REF	BT1	BT2	BT3	BT4
Sertlik HRB	12,01	13,62	12,65	14,1	13,94
Özgül Aşınma cm ³ /Nm	9,84x10 ⁻⁶	4,86x10 ⁻⁶	6,88x10 ⁻⁶	6,74x10 ⁻⁶	4,05x10 ⁻⁶

Görüldüğü üzere, sertliği yüksek olan numunelerde daha az aşınma gerçekleşmiştir. Daha yumuşak olan numuneler ise, daha fazla aşınma göstermiştir. Ayrıca, cüruf miktarına bağlı olarak sertliğin, cürufun daha fazla kullanıldığı numunelerde daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, cürufun sertliği artırarak aşınmayı azalttığını kanıtlamaktadır. Bu durum, cürufun içerisinde yüksek oranda bulunan ve topraktaki temel minerallerden olan Alümina (Al₂O₃) ve Silika (SiO₂) mineral kökenli bileşiklerinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu bileşikler, balatada kullanılan diğer tozlara oranla mohs sertliği yüksek malzemelerdir. Bu sert malzemeler, balata içerisinde sert çıkıntılar oluşturarak sürtünme ve frenleme mekanizmasını sağlayan temel yapıları oluşturmaktadır. Bu tanecikler, üzerlerine uygulanan yüke başarılı bir şekilde karşı koyarak, karşı yüzeye uygulanan baskıyı balatadan kopmadan ileterek frenleme işlemini gerçekleştirmektedir. Ayrıca, balata numunesindeki reçine sayesinde balataya sıkıca bağlanması da önemli bir konudur. Bu sayede, bu tanecikler balata yapısındaki konumlarını koruyarak daha düşük bir aşınma davranışı sergilemektedir. Ayrıca, kuvvetin yanı sıra sürtünme sonucu meydana gelen ısı enerjisinden de etkilenmemeleri önemli bir konudur. Özellikle, alüminyumun ısı iletkenliğinin iyi olması, bu sonucu desteklemektedir [51]. Hatta,

ısıya karşı bu taneciklerin bağlayıcı reçineden daha az oranda ayrılması da aşınmayı azaltabilmektedir. Bu durumun optimum düzeyde gerçekleşmesinde sadece toz tanecikler değil, bağlayıcı reçinenin de görevi büyüktür.

Hatta sıcak pres ve ısıl işlem gibi üretim proseslerindeki parametrelerin bile, bu durumu önemli ölçüde etkilemektedir. Reçinenin, tam olarak balatanın her bölgesine yayılması ve tamamen kürleşmesinin, balata performansına etkisi yüksektir. Sertlik de aynı şekilde bu parametrelere bağlı olarak değişebilmektedir [52].

5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Fazla pürüzlü yüzeylerin daha iyi sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğu, fakat, bu yüksek sürtünme katsayısı değerlerinin çalışma koşullarına bağlı olarak düzensiz olduğu, bunun sonucu olarak da aşınmanın fazla olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, yüzeyi daha düzgün olan fren balatalarının daha az aşındığı, daha düzenli sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğu fakat, bu sürtünme katsayısı değerlerinin diğer numunelere oranla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.40'da yüzey pürüzlülük ve profil görüntülemesi gösterilmektedir.



Şekil 5.40. Yüzeyi yeterince pürüzlü olan numunelerde birincil ve ikincil pürüzlülük seviyelerinin ölçülmesi.

Görüldüğü üzere, balata numunelerinde yüzey pürüzlülüğünün büyüklüğüne bağlı olarak birinci ve ikinci seviye pürüzlülük mevcuttur [53]. Bu durum önceden de bahsedildiği gibi, taneciklerin şekli ve boyutu ile ilgili olmaktadır. Fren balatasının yüzeyi gibi, içerisindeki mikro taneciklerin de yüzeylerinde mikro seviyesinde çok küçük pürüzlülük mevcuttur. Bu durum, doğadaki jeolojik yapılara benzetilebilir. Bir dağ, bulunduğu yerde deniz seviyesine oranla bir yükselti yani pürüzlülük oluşturmaktadır. Aynı şekilde, dağın yüzeyinde bulunan kayalar ve küçük taşlar da dağ yüzeyindeki pürüzlülüğü oluşturmaktadır.

Dağ, birincil pürüzlülük seviyesi iken dağ üzerindeki taşlar ikincil pürüzlülük seviyesi olarak adlandırılabilir. Herhangi bir heyelan esnasında, dağ yüzeyindeki taşlar su ve rüzgar ile birlikte yüzeyden ayrılmaktadır. Bununla birlikte, erozyona uğrayan yüzey düzleşerek, yüzey üzerinde yürümek ve tutunmak güçleşmektedir.

İşte, burada görülen örnekte dağ birincil pürüzlülük alanine, dağ yüzeyindeki taş ve kayalar ikincil pürüzlülük yüzeyini, sel ve erozyon gibi afetler de sürtünme olarak benzetilebilir.

Eğer, dağ yüzeyindeki kayalar ve taşlar dağ yüzeyinde konumsal olarak sıkı durabilecekleri bir yerde ise, bu afetler yani aşınma dağ yüzeyini etkilememektedir.

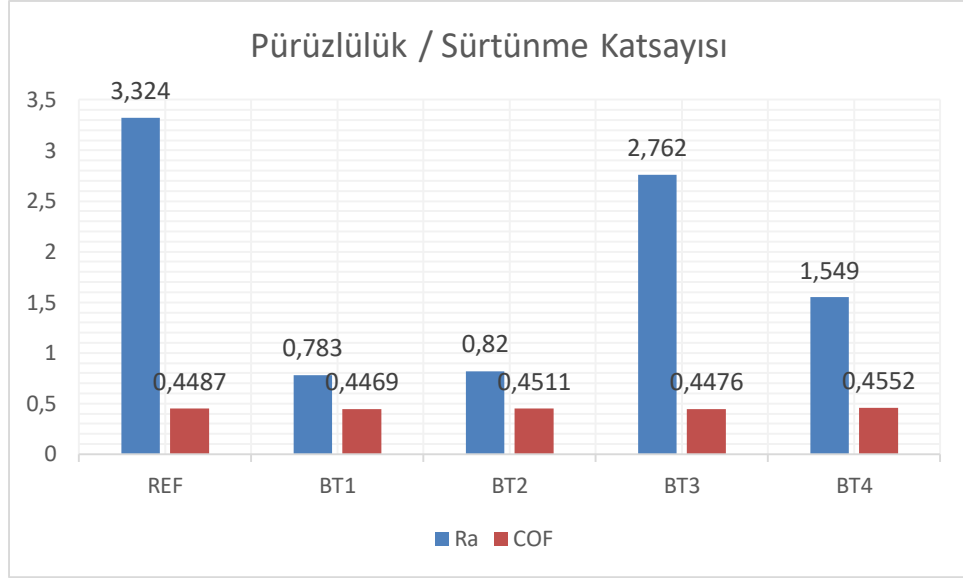
Ayrıca, deprem gibi daha büyük çaplı afetler dağların çökmesine sebep olabilmektedir. Bu da balata yüzeyindeki mikro-makro boyuttaki çatlaklar ve kırılmalar olarak betimlendirilebilir. Ayrıca, dağ yüzeyindeki yapıların gereğinden fazla çıkıntılı olması da dağ yüzeyinde hareket eden veya tırmanan birisinin zorluk yaşayabileceği anlamına gelmektedir. Ayrıca, dağ yüzeyindeki hareket yüzey şeklinin değişkenliğine bağlı olarak sürekli hareket hızında artış veya azalışa sebep olacaktır. Bu da aşırı pürüzlü balata yüzeylerindeki sürtünme düzensizliği olarak örneklendirilebilir. Çizelge 5.10'da ölçülen yüzey pürüzlülüğünün ortalama değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.10. Yüzey pürüzlülüğü değerleri.

	Yüzey Pürüzlülüğü Ra				
	Ref	Bt1	Bt2	Bt3	Bt4
Ölç. 1	3,64	0,898	0,761	1,015	1,514
Ölç. 2	4,109	0,791	0,677	5,781	1,474
Ölç. 3	2,222	0,659	1,021	1,505	1,658
Ort.	<u>3,324</u>	<u>0,783</u>	<u>0,820</u>	<u>2,767</u>	<u>1,549</u>

Yüzey pürüzlülüğü ise, aynı şekilde profilmetrenin pürüzlülük ölçümü özelliği kullanılarak yapılmıştır. 3 farklı bölgeden alınan ölçüm değerinin ortalaması alınarak Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir.

Şekil 5.41’de, yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ortalama sürtünme katsayısının değişimi gösterilmiştir. Bu durumun en güzel örneği olarak, BT1 ve BT2 numuneleri gösterilebilir. Yüzeyi daha pürüzlü olan BT2 numunesinde, daha yüksek sürtünme katsayısı ölçülmüştür. Sadece BT1 ve BT2 numunelerinde bu durumun gözlemlenmesinin nedeni kimyasal kompozisyonlarının, diğer balatalara oranla birbirine daha benzer olmasıdır. Diğer numunelerde bu durum gözlemlenememiştir. Çünkü, REF, BT3 ve BT4 numunelerinde balata yapısındaki malzemelerin kimyasal kompozisyonları birbirlerinden oldukça farklıdır. Bu çalışmada, pürüzlülüğün sürtünme katsayısına etkisini değiştiren en büyük etmen, balatadaki cüruf miktarıdır. REF kodlu numunede cüruf bulunmazken, BT3 kodlu numunede %10, BT4 kodlu numunede %50 oranında cüruf bulunmaktadır. Taneciklerin pürüzlülüğü ile birlikte, bu değeri koruma kabiliyetleri de bu durumu açıklamaktadır.



Şekil 5.41. Yüzey pürüzlülüğü ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişki.

5.4. YÜZEY MİKROYAPISI SONUÇLARI

Fren balatalarında, sürtünme esnasında yüzeyde çok farklı aşınma mekanizmaları meydana gelmektedir. Bunlar; malzeme cinsi, yük değişimi, sıcaklık gibi birçok farklı parametreye bağlı olabilmektedir. Balata malzemeleri, kullanım alanlarına göre yüzeyde farklı yapılar oluşturmaktadır. Bu yapılar, fren balatasında sürtünme katsayısı ve aşınma direncinin sağlanmasında farklı görevler üstlenmektedir.

Sürtünme esnasında, balata yüzeyinde yararlı veya zararlı birçok farklı durum oluşabilmektedir. Bunlar aşınma esnasında taneciklerin kopması veya şekil değiştirmesi, balata yüzeyini yırtması, yüzeyi çatlatması, yüzeyde yuvarlanarak iz bırakması veya koptuğu yerden başka bir yere saplanarak yeniden sürtünme sağlaması olarak tanımlanmaktadır [54].

Aşınma esnasında, kopan taneciğin balata yüzeyini yırtması, balata yapısı üzerinde olumlu veya olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bu taneciğin başka taneciği de beraberinde götürmesi, aşınmayı artıracaktır. Aynı zamanda, yumuşak bir malzemeyi yırtarak yüzey pürüzlülüğünü artırması da bu yumuşak malzemenin de sürtünme katsayısını artıracığına işarettir. Fakat, bu durum sürtünme kararlılığını da etkileyecek ve daha kararsız bir balata performansına sebep olacaktır. Aşınma boyunca, kopan taneciklerin yüzeyi kırarak çatlatması ise istenmeyen bir durumdur.

Büyük boyutlu tanecikler, sürtünme katsayısını göreceli olarak artırmasına rağmen oluşan çatlaklar daha büyük boyutlu taneciklerin, hatta gözle görülebilecek balata parçalarının kopmasına sebep olabilmektedir. Büyük aşınma parçacığı yüzeye daha büyük zarar vermektedir. Bu durum, yüzeye ciddi zararlar verebilmektedir. Bu durumun oluşmasının altında, sadece aşınarak kopan tanecik değil, kırdığı yüzeyin üretim esnasında düşük bir bağ kuvvetine sahip olmasıdır. Aşınan taneciklerin yüzeyde yuvarlanarak iz bırakması da aynı şekilde balatanın sürtünme katsayısını artıracaktır. Fakat, bu yuvarlanmanın farklı periyotlarda olması düzensizliği artırarak daha kararsız bir fren balatası ortaya çıkarmaktadır. Çünkü, kopan parçacığın balata yüzeyi üzerine uyguladığı basınçla birlikte tekrardan yapışması, aşınmayı ciddi ölçüde azaltmaktadır. Kopan taneciğin balataya tutunarak tekrardan sürtünme kuvvetini artırması, balatanın performansına ciddi ölçüde katkı sağlamaktadır.

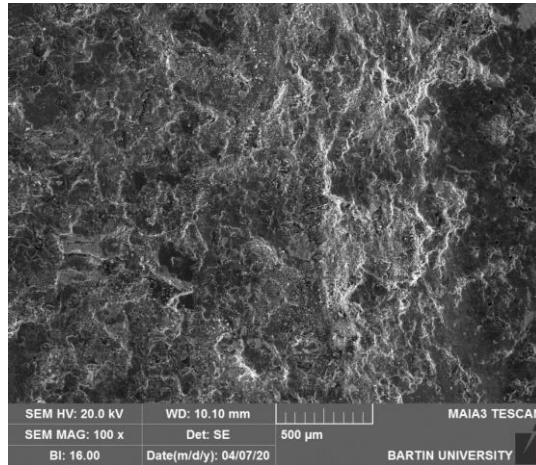
Bahsedilen tüm bu aşınma mekanizmaları, balata yapısı üzerinde üretimden sonra elde edilen ilk yüzey üzerinde, fakat ilk yüzeyden bağımsız yeni bir yüzey katmanı oluşturmaktadır. Bu olay üçüncü vücut katmanı (third body layer) olarak adlandırılmaktadır. Bu durumun en iyi açıklaması, balatanın çalışma koşullarına bağlı olarak yüzeyini düzenlemesi olarak tanımlanabilir. Sürtünme kuvveti testlerinde, bahsedilen yüzey alıştırma evresi bu durumun en iyi açıklamasıdır.

İlk çalışma esnasında, balata yüzeyinde sürtünme katsayısı düşüktür. Fakat ilk evrede hızlı bir artış göstermektedir. Belli bir zaman sonunda balatanın sürtünme katsayısı maksimum değere ulaşır, fakat üçüncü vücut katmanının oluşumu esnasında sürtünme katsayısı bir düzensizlik içerisine girer. Bu aşamada, balata yüzeyi çalışma koşullarına uyum sağlamak amacıyla çeşitli fiziksel değişimler göstermektedir. Bu süreç alışma süreci olarak adlandırılmakla birlikte bu süre zarfında balata yüzeyinde, olumlu veya olumsuz çok fazla sayıda değişim gözlemlenmektedir [55].

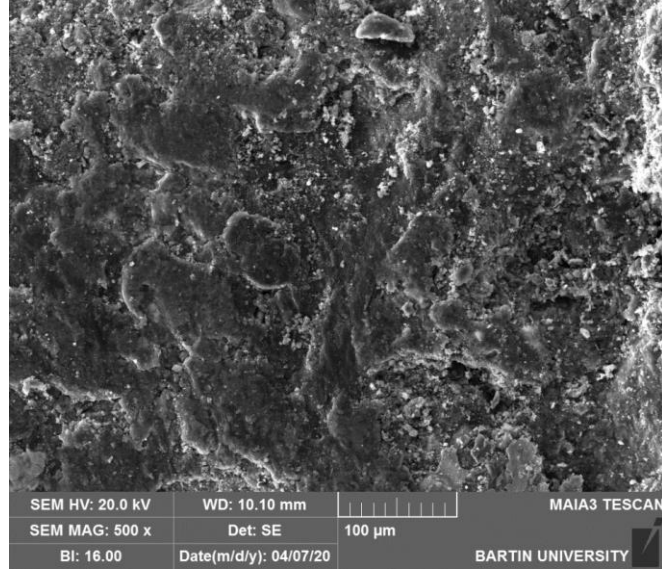
Fren balatalarında aşınma evresi, iki şekilde avantaja çevrilebilmektedir. Birincisi bu katmanların oluşumunun alıştırma evresi esnasında kısa bir süre içerisinde

tamamlanarak son bulması ve değişmeyen veya çok az değişim gösteren balata yüzeyinin oluşmasıdır. İkincisi ise, bu yüzey değişimlerinin düzenli aralıklarla gerçekleşerek, balatanın sürtünme kararlılığını bozmamasıdır. Her iki durumda da istenilen en önemli etmen, balatanın sürtünme katsayısındaki kararlılığını korumasıdır. Çünkü, sürtünme katsayısının sürekli olarak değişim göstermesi, hem frenleme performansını etkilemekte, hem de aşınma oluşumu açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Olumlu veya olumsuz düzenli periyotlarda gerçekleşen her durum, fren balatasının sürtünme esnasında göstereceği frenleme performansının tahmin edilmesini kolaylaştırmaktadır. Çalışma esnasında, fren balatasının çalışma koşullarına bağlı olarak göstereceği tepkileri, doğru bir şekilde tahmin edebilmek çok önemlidir [56]. Burada kullanılan malzemelerin, daha önceki çalışmalarda üretilen fren balatalarında gösterdikleri performansın bilinmesi ile birlikte bazı mekanik özelliklerinin de bilinmesi ve bu özelliklerinin fren balatası üzerinde oluşturacağı etkilerinin önceden tahmin edilmesi daha sağlıklı bir çalışma sağlayacaktır.

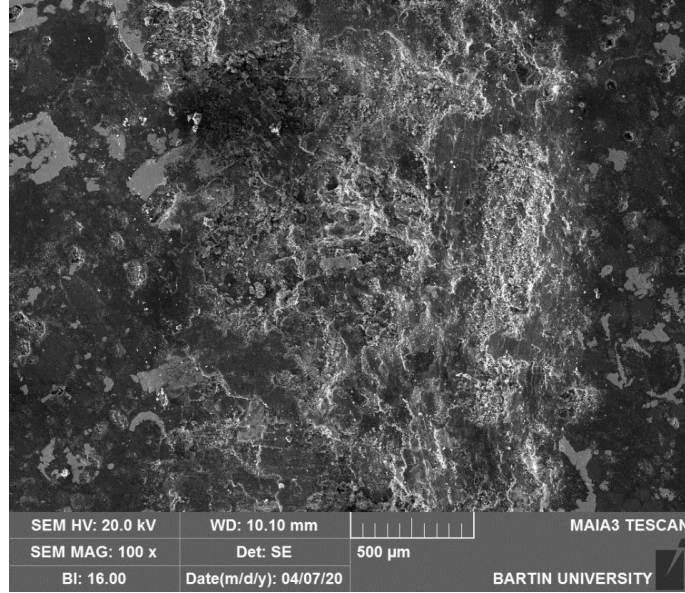
Şekil 5.42, Şekil 5.43, Şekil 5.44, Şekil 5.45, Şekil 5.46, Şekil 5.47, Şekil 5.48, Şekil 5.49, Şekil 5.50, Şekil 5.51’de numunelerin farklı yakınlaştırmalarda yüzey mikroyapıları gösterilmiştir.



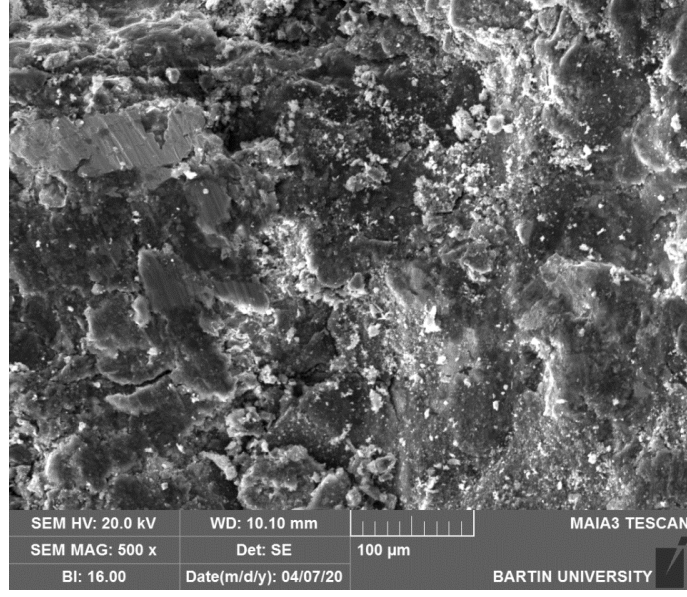
Şekil 5.42. REF kodlu balata numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü.



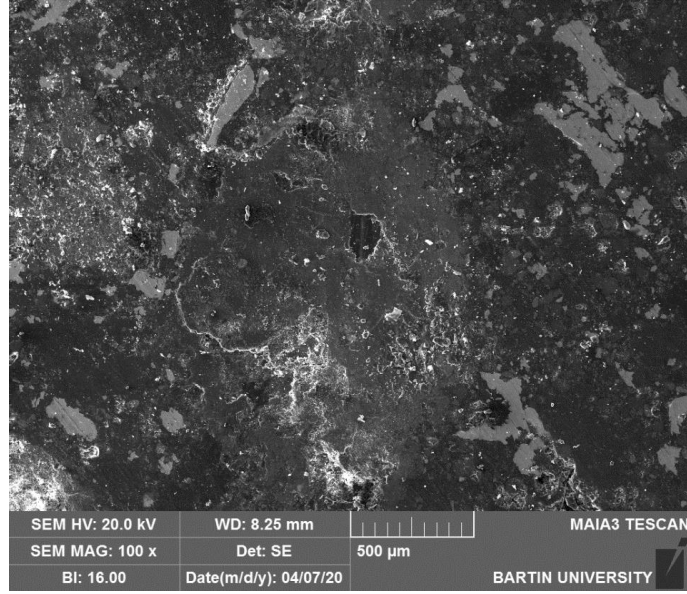
Şekil 5.43. REF kodlu balata numunesinin yakınlaştırılmış aşınmış yüzey SEM görüntüsü.



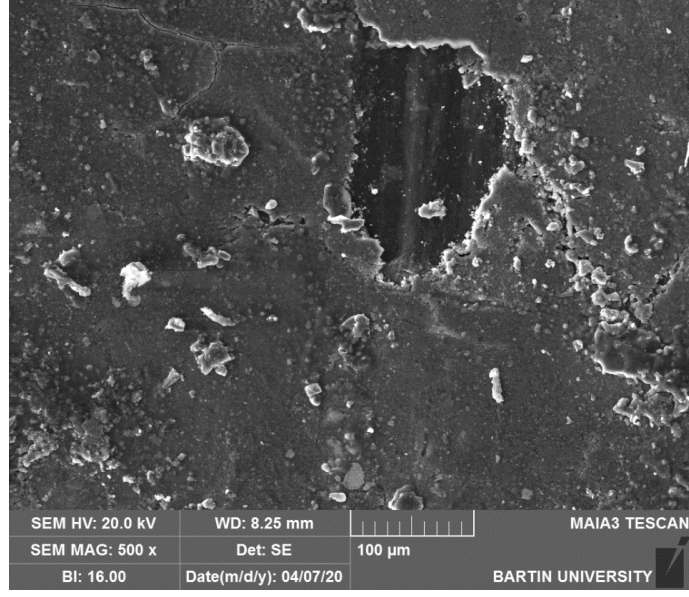
Şekil 5.44. BT1 kodlu balata numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü.



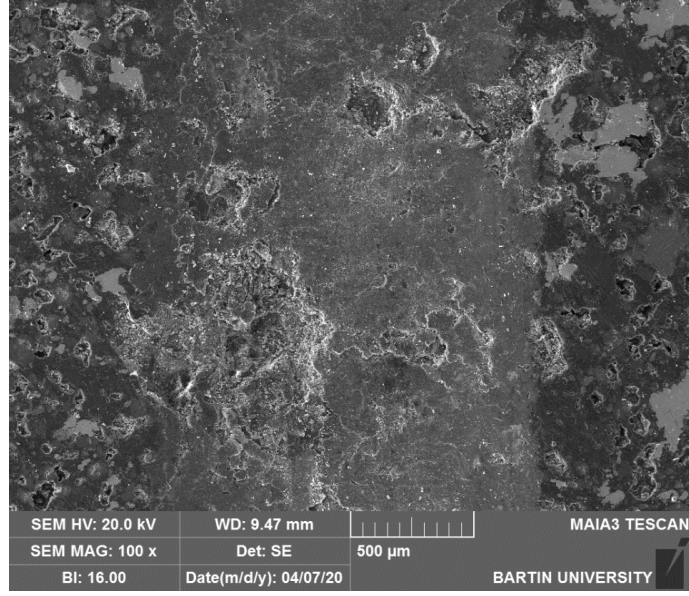
Şekil 5.45. BT1 kodlu balata numunesinin yakınlaştırılmış aşınmış yüzey SEM görüntüsü.



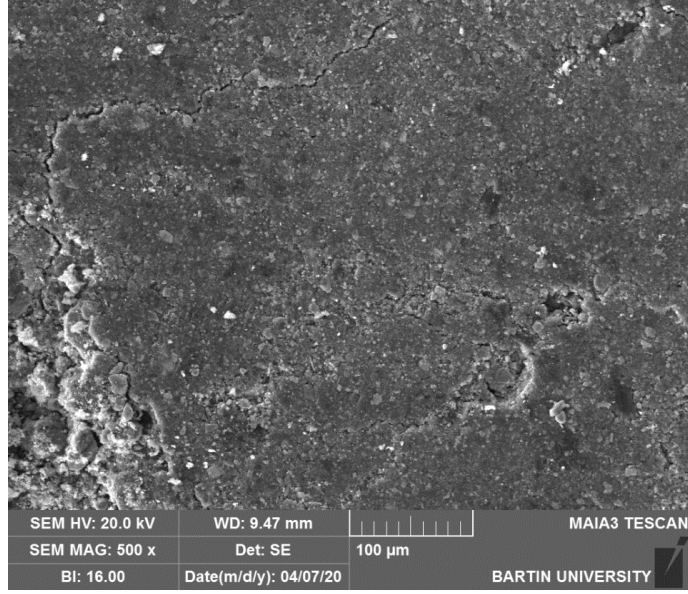
Şekil 5.46. BT2 kodlu balata numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü.



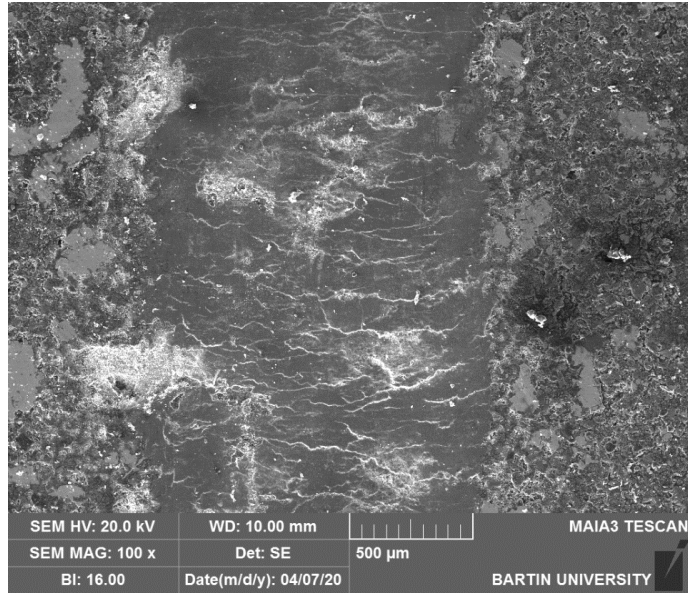
Şekil 5.47. BT2 kodlu balata numunesinin yakınlaştırılmış aşınmış yüzey SEM görüntüsü.



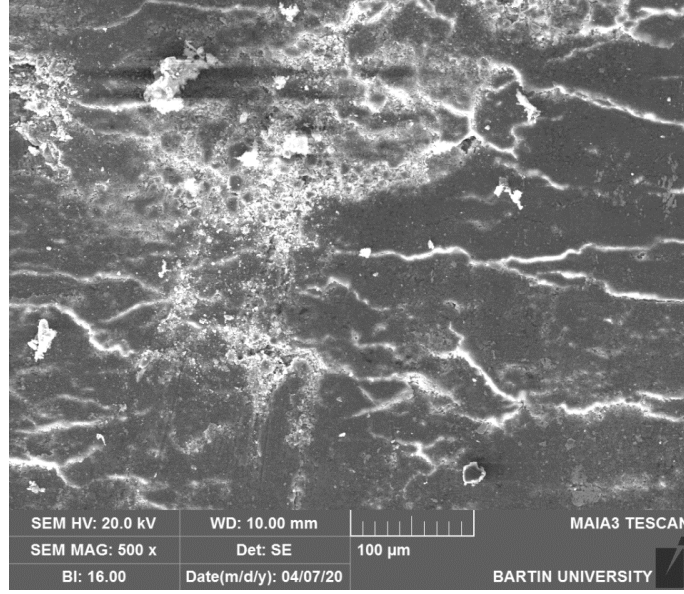
Şekil 5.48. BT3 kodlu balata numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü.



Şekil 5.49. BT3 kodlu balata numunesinin yakınlaştırılmış aşınmış yüzey SEM görüntüsü.



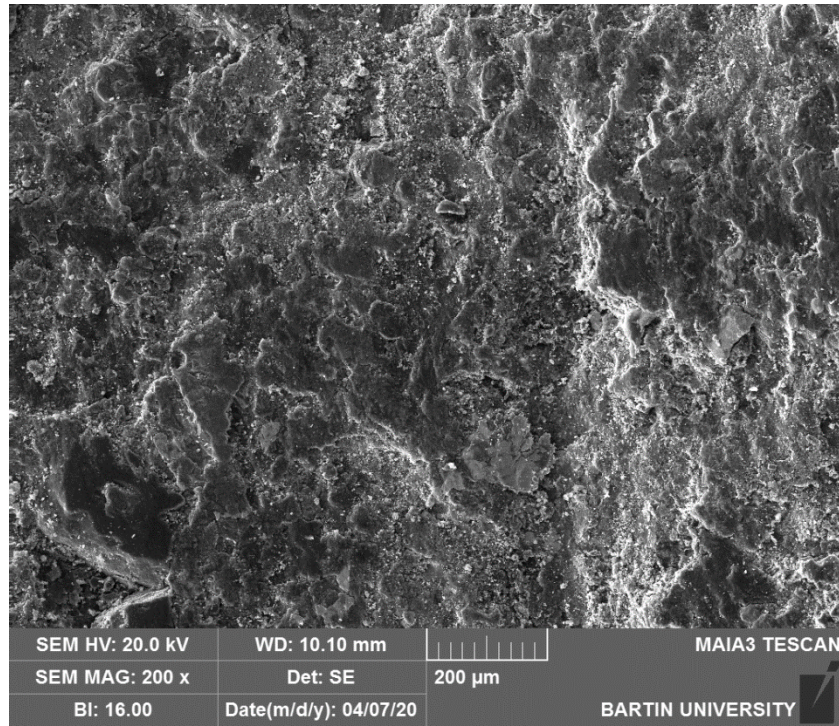
Şekil 5.50. BT4 kodlu balata numunesinin aşınmış yüzey SEM görüntüsü.



Şekil 5.51. BT4 kodlu balata numunesinin yakınlaştırılmış aşınmış yüzey SEM görüntüsü.

REF kodlu referans numunesi dışındaki tüm numunelerde, kullanılan malzemelerin aynı ve kütlece kimyasal kompozisyonlarının yakın olmasına rağmen, malzeme oranlarındaki küçük değişiklikler bile yüzey mikroyapısında büyük değişikliklere neden olmuştur. Özellikle üçüncü vücut katmanlarının (Third Body Layer) oluşumunda numunelerin hepsinde farklı şekiller gözlemlenmiştir. Bu üçüncü vücut katmanlarından bazıları aşınma düzenleyici olarak sürtünme katsayısını düşürürken, bazıları ise, birincil pürüzlülük yüzeyleri daha fazla olan sürtünme katsayısını arttırıcı yüzeyler oluşturmaktadır. Bu yüksek pürüzlülük değerleri de sürtünme kararlılığını azaltan, stabil olmayan balatalarda görülmektedir. Ayrıca bazı numunelerde kırık ve çatlaklar gözlemlenmektedir. Bu kırık ve çatlakların sebebi ise, dolgu maddesi olarak kullanılan kalsiyum karbonatın miktarının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

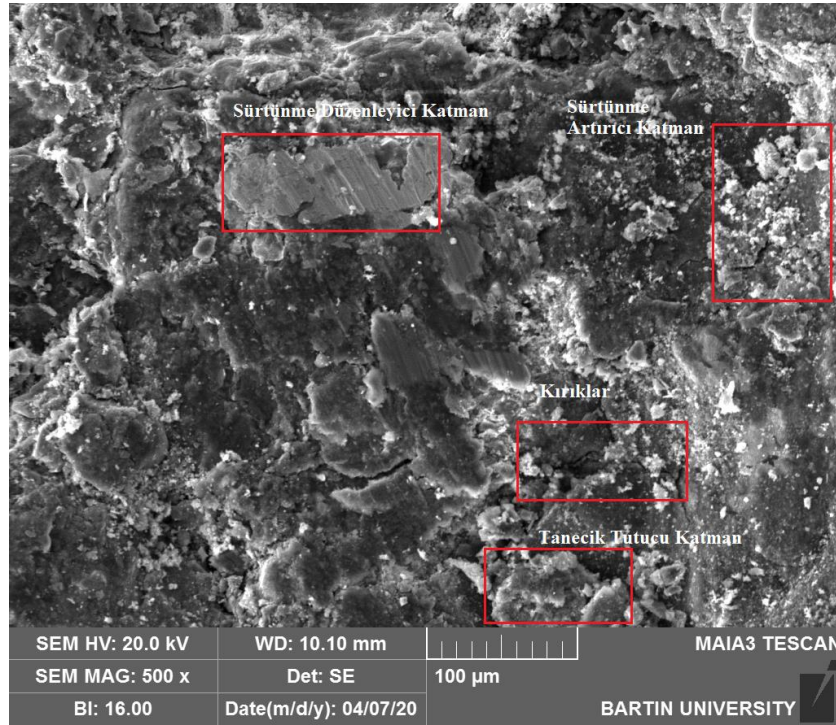
Şekil 5.52’de REF kodlu numunenin SEM yüzey görüntüsü gösterilmektedir. REF kodlu numunede, literatürde bir çok çalışmada görülen yüzey şekilleri elde edilmiştir. Yüzeydeki tanecikler, çalışma koşullarına bağlı olarak pürüzlü bir yüzey oluşturacak şekilde dağılım göstermiş ve daha önceden bahsedilen sürtünme mekanizmaları, bu numunede görülmüştür. Fakat, pürüzlülüğün fazla olması ve cürufun avantajı burada belli olarak REF kodlu numune en çok aşınan numune olmuştur. Yüzeyde, tozların ufak tanecikler ile birlikte büyük parçalı birleşmiş balata taneciklerinin de koptuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.52. REF kodlu numunenin yüzey aşınma mekanizmaları.

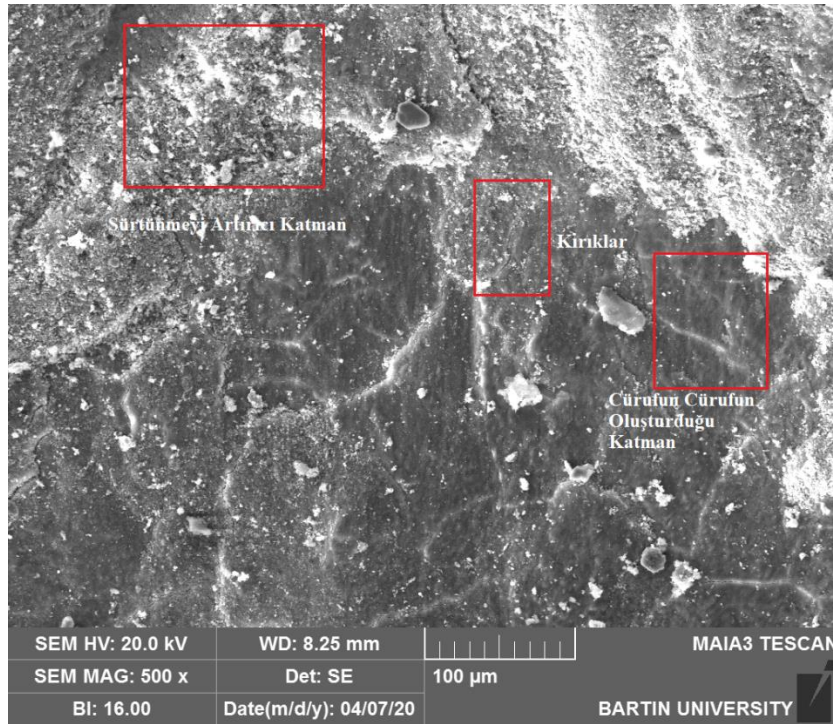
BT1 kodlu numunede ise, yapısındaki cürufa bağlı olarak birbirine daha iyi tutunmuş tanecikler gözlemlenmiştir. Yüzeyin pürüzlülüğü ve farklı vücut katmanları da balata yüzeyinde mevcuttur. Hatta, bu yüzeylere aşınarak kopan taneciklerin tekrardan tutunarak yeniden sürtünme kuvvetine yardımcı olmasını sağladığı öngörülmektedir. Bazı yüzeylerin yumuşak tanecikler sayesinde şekil değiştirerek düzleştiği gözlemlenmiştir.

Şekil 5.53’de BT1 kodlu numunenin aşınma mekanizmaları gösterilmektedir. BT1 numunesi yüzeyinde, çeşitli çatlak ve kırıklar mevcuttur. Fakat, bu numunede test esnasında toz tanecikler dışında büyük parçacıkların kopması veya kırılarak balatadan ayrılması gözlemlenmemektedir.



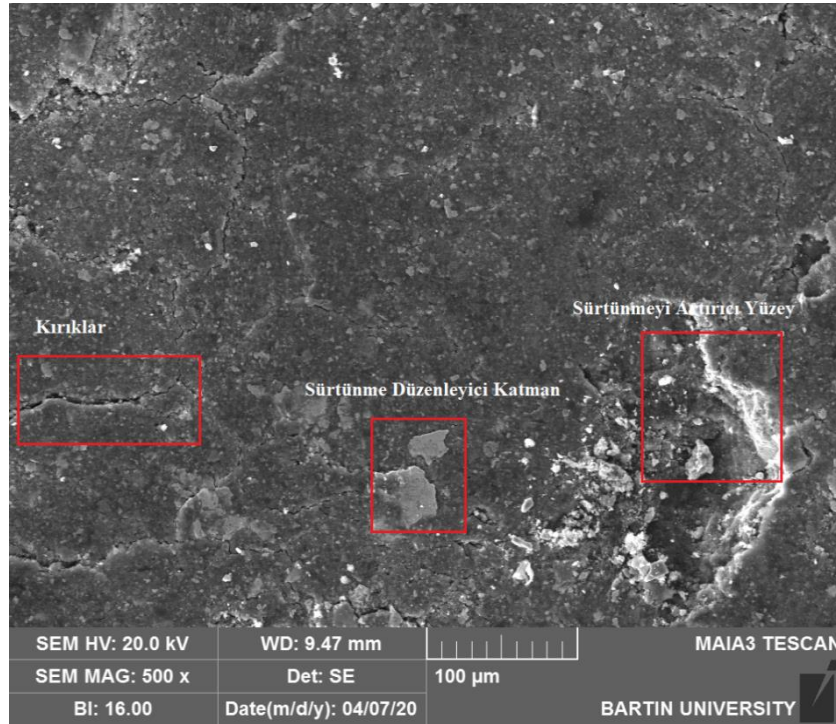
Şekil 5.53. BT1 kodlu numunenin yüzey aşınma mekanizmaları.

Şekil 5.54’de BT2 kodlu numunenin aşınma mekanizmaları gösterilmektedir. BT2 kodlu numune, sürtünme katsayısı açısından en kararlı çalışan numunedir. Yüzeydeki çatlaklar, diğer numunelere oranla daha seyrek olarak gözlemlenmiştir. Aşındırıcı taneciklerin, diğer numunelere oranla yayılımının daha düzgün olması, bu sürtünme kararlılığını sağlamaktadır. Granüle cüruf taneciklerinin sivri yüzeylerinin bir çıkıntı şeklinde yüzeyde dağınık bir şekilde konumlanması, kararlı bir balata çalışması sağlamaktadır. Cürufun oluşturduğu birbirine çok iyi bağlanmış ve nerdeyse hiç aşınmayan yüzey, sert bir yapı şeklinde balata yüzeyinde konumlanmış ve bazı yerlerde aşınan taneciklerin yüzeye tutunması balatanın aşınmasını azaltmıştır. Fakat, cürufun yoğun olduğu yüzeylerde pürüzlülük daha azdır. Fakat yüzey çok az aşınacak kadar sert bir yapıya sahiptir. Yüzeyde görülen tutunmuş aşındırıcı taneciklerin, cürufun oluşturduğu katmana tutunan Alümina gibi sert aşındırıcılar olmuştur.



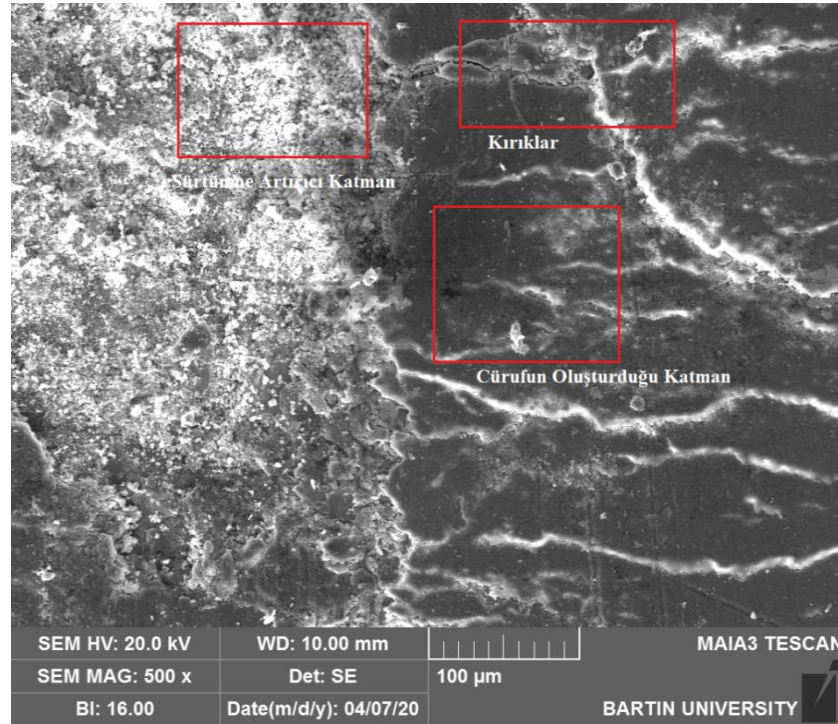
Şekil 5.54. BT2 kodlu numuneninyüzey aşınma mekanizmaları.

Şekil 5.55’de, BT3 kodlu numunenin aşınma mekanizmaları gösterilmektedir. BT3 numunesi de BT4 numunesinden sonra en az aşınan numunedir. Yüzeyinin büyük çoğunluğu, cürufun oluşturduğu sert katmandan oluşmaktadır. Bazı bölgelerde, göreceli olarak BT2 den daha az sürtünme artırıcı katmanlar mevcuttur. Fakat, sürtünme düzenleyici katmanlar BT2’ye oranla daha ufak ve az miktardadır. Bu da sürtünme kararlılığının BT2 numunesine oranla daha az olmasının sebebinin kanıtlanmaktadır. Yapısında bulunan % 10 oranında cürufun, tanecik tutucu yüzeylerin daha fazla oluşmasını sağladığı gözlemlenmektedir. Ayrıca, bu numunede, yüzeydeki cüruf katmanına tutunan tanecikler daha düzgün bir dağılım göstermiştir. BT2 gibi sürtünme düzeni olmasa da cürufun göreceli olarak bu tanecikleri tuttuğu ve aşınmayı önemli derecede azalttığı öngörülmektedir. Ayrıca, yüzeyinde oluşan çatlakların BT4 numunesinde daha fazla oluşmasına karşın BT3 kodlu numunede kabul edilebilir düzeydedir. Bu numune yüzeyi cürufun aşınmayı nasıl azalttığına dair en güzel örneği teşkil etmektedir.



Şekil 5.55. BT3 kodlu numunenin yüzey aşınma mekanizmaları.

Şekil 5.56'da, BT4 kodlu numunenin aşınma mekanizmaları gösterilmektedir. BT4 kodlu numune, diğer numunelere oranla en az aşınan numune olmuştur. Yapısında bulunan %50 oranında cüruf, aşınmayı önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca, aşındırıcı tanecikler cürufun yüzeyinden koptuktan sonra hemen geri tutunduğundan, aşınma azalmaktadır. Fakat, bu balata numunesinde cüruftan başka yağlayıcı, aşındırıcı veya dolgu malzemesi bulunmamaktadır. Bu yüzden, tüm bu görevler cüruf tarafından üstlenilmiştir. Özellikle, aşındırıcı yerine de cüruf kullanılması cürufun tüm performansını bu numune üzerinde sergilemektedir. Bu numunede, cürufun oluşturduğu düşük pürüzlülükte, sert ve az aşınan yapıdaki katman, balata yüzeyinin tümünü kaplamaktadır. Bu sert tabaka, yüksek sürtünme katsayısı değerleri sağlamaktadır. Buna karşın, bazı yerlerde oluşan kırık ve çatlaklar sebebiyle, numunenin sürtünme kararlılığı diğer numunelere oranla daha düşüktür. Ayrıca, yüzeydeki çeşitli özellikler sağlayan üçüncü vücut katmanları arasındaki yükseklik farkı oldukça fazladır. Bu yüzden, bu numunenin stabilitesi oldukça düşüktür. Ayrıca, birbirine iyi tutunmuş taneciklerden oluşan bu yüzeyin sertliği, karşıt yüzeye zarar verecek derecede olduğundan, fren balatası olarak kullanılması tam olarak mümkün olmamaktadır.



Şekil 5.56. BT4 kodlu numunenin yüzey aşınma mekanizmaları.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fren balatalarında performansın incelenmesinde, başlıca iki önemli parametrenin, sürtünme katsayısı ve aşınma olduğu bilinmektedir. Yüksek sürtünme katsayısı, performansa pozitif yönde etki etse de bu yüksek sürtünme katsayısının aşırı düzensiz olması, yani fren balatasının stabilitesinin düşük ve kararsız olması istenmeyen bir durumdur. Çünkü, kararsız çalışan fren balatalarında sürtünme katsayısı ani olarak değişim göstermektedir. Bu yüzden de böyle fren balatalarının kullanıldığı fren sisteminin sağlıklı ve güvenli çalışması mümkün değildir [56]. Ayrıca, düzensiz frenleme, tehlikeli sonuçlara sebebiyet verebilmektedir. Değişken sürtünme katsayısı, taşıtlardaki diğer sistemlerde olduğu gibi düzensizliğe bağlı istenmeyen aşınmaya sebebiyet verebilmektedir. Ayrıca, frenleme performansında, fren balatalarından beklenen diğer bir özellik ise az miktarda aşınmadır. Aşınma, fren balatalarında çok farklı sebeplerle gerçekleşebilmektedir. Sürtünme katsayısındaki ani değişimler, tıpkı yorulma yüklerinin mekanik sistemlere verdiği zararlar gibi fren balatası üzerine binen yüklerin de sık değişimi, aşınmanın artması ile sonuçlanmaktadır [57]. Fakat, balata yapısı, bu değişken sürtünme katsayısı değerlerine karşın üzerindeki yük değişimlerini sönmüleyerek dengeleyebilirse, aşınmasının az olması doğal olarak karşılanabilmektedir. Bununla birlikte, fren balatalarının aşınmasını artıran en büyük etmen, sıcaklığın artmasıdır. Yüksek sıcaklıklarda çalışan fren balatalarında mikroyapı içerisindeki taneciklerin birbirlerine tutunmasını sağlayan bağlar koparak, balatadan ayrılmaktadır. Bu, hemen hemen tüm fren balatalarında görülmektedir. Fakat fren balatası yapısında, büyük çatlaklar veya kabul edilemez düzeyde boşluklar mevcut ise, bu tanecik kayıpları birleşmiş yapıların ve hatta farklı özellikler taşıyan katmanların balatadan kopmasına sebep olabilmektedir. Bu durum aşınmayı artırmakla birlikte, kopan parçanın yerinde oluşan boşluk, karşıt yüzeyin sık sık takılacağı bir bölge oluşturarak sürtünme katsayısını olumsuz yönde etkileyebilmektedir [58].

Düzensiz sürtünme katsayısı da aşınmayı artırabileceğinden, tekrardan balatada aşınma miktarı artmaktadır. Bu durum, herhangi bir başlangıç ile tetiklenerek bir döngü şeklinde devam etmektedir [59].

Kaliteli ve birbiri ile uyumlu balata malzemelerinin seçimi, kullanılan malzemelerin oranlarının doğru miktarda olması ve üretim parametrelerinin doğru seçimi bu sorunların hepsine çözüm olabilmektedir.

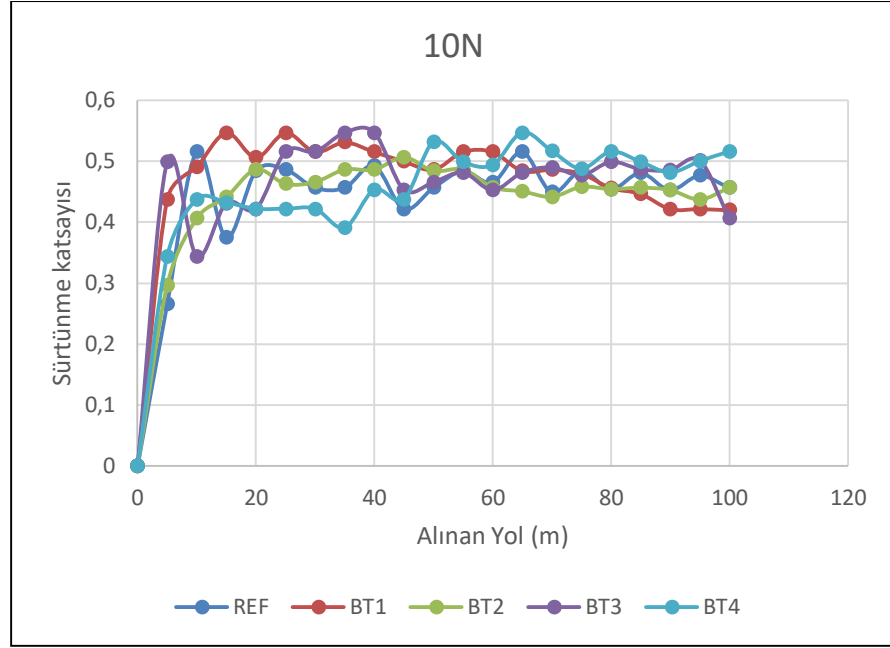
Bu çalışmada, fren balatalarında, demir cürufunun yağlayıcı, aşındırıcı ve dolgu maddesi olarak kullanımının balata performansı üzerinde oluşturduğu olumlu ve olumsuz etkileri gösterilmiştir. Yerine kullanılacak malzeme kütesinin yarısı indirgenerek, eksik kütle cüruf ile tamamlanmıştır. Literatüre bağlı olarak REF kodlu numune ile birlikte 5 farklı balata numunesi karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. BT1 kodlu numunede, cüruf yağlayıcıya katkı olarak kütlece % 7,5 oranında kullanılmıştır. BT2 kodlu numunede cüruf aşındırıcılara katkı olarak % 7,5 oranında kullanılmıştır. BT3 kodlu numunede, cüruf dolgu maddesine katkı olarak % 10 oranında kullanılmıştır. BT4 kodlu numunede ise yağlayıcı, aşındırıcı ve dolgu maddeleri komple kaldırılarak yerine granüle demir cürufu kullanılmıştır. Bu sayede, elde edilen değerlerin referans numuneye karşı diğer uç noktasının keşfedilmesi sağlanmıştır.

Tüm numuneler, beklenilenin aksine başarılı olarak üretilmiştir. Kalıba yapışma, ısıl işlem esnasında çatlama, boyut ve ölçü düzenleme esnasında dağılma gibi sorunlar gerçekleşmemiştir. Bu durum, tüm numunelerin yapısındaki malzemelerin bağlayıcı reçinenin oluşturduğu adezyon kuvveti sayesinde yeterli düzeyde bağlandığını kanıtlamaktadır. Yapısında %50 oranda cüruf bulunan BT4 numunesi dahil, üretim prosesleri başarı ile tamamlanmıştır. Balata numuneleri, yapılarındaki cüruf miktarına bağlı olarak sertleşmiştir. Bu durum, cürufun fren balatalarını sertleştirerek aşınmayı azalttığını kanıtlamaktadır. Sadece BT1’de cüruf miktarı daha az olmasına rağmen, BT3 numunesinden daha sert olarak gözlemlenmiştir. Sebebi ise cüruf miktarından ziyade, BT1 numunesinde grafit oranının yarı yarıya düşürülmesidir.

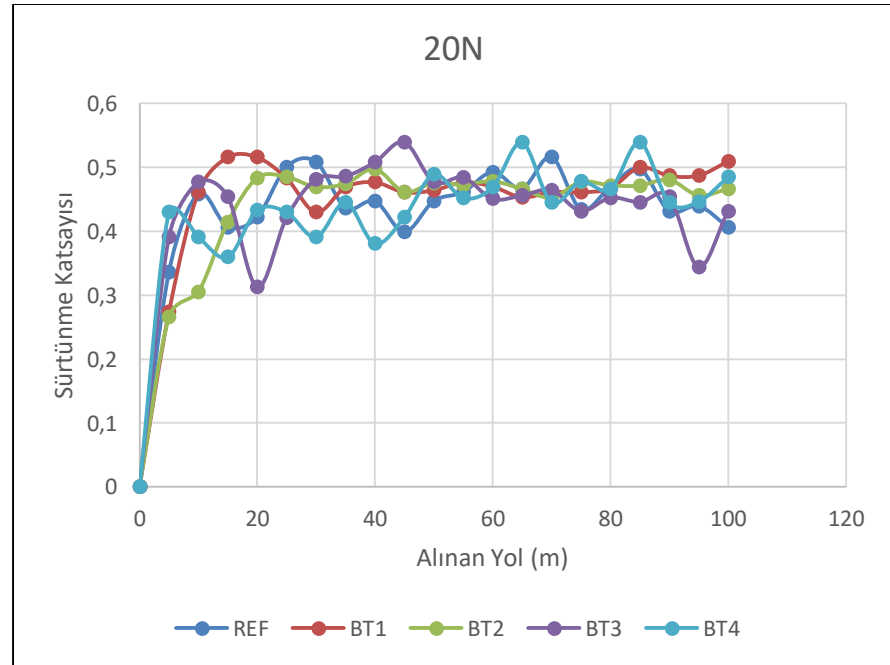
Şekil 6.1, Şekil 6.2. ve Şekil 6.3’de numunelerin aynı yük değreleri altında, elde edilen sürtünme katsayısı değreleri gösterilmiştir. BT2 numunesinde, cürufun aşındırıcı olarak kullanılabilirliği en iyi şekilde gözlemlenmiştir. Bu numunede, cüruf kullanımında Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ile birlikte kullanılan cürufun içerisinde bu malzemelerin kısmi veya büyük oranda bulunmasıyla birlikte, cüruf içerisinde bol miktarda bulunan SiO_2 mineralinin de aşındırıcı olarak başarı sağlaması, cürufun aşındırıcı olarak kullanılabilirliğini kanıtlamıştır.

- Ortalama sürtünme katsayısı en yüksek numune BT4 kodlu numunedir.
- Ortalama sürtünme katsayısı en düşük numune BT1 kodlu numunedir.
- Sürtünme kararlılığı en yüksek numune BT2 kodlu numunedir.
- Sürtünme kararlılığı en düşük numune BT4 kodlu numunedir.
- En az aşınan numune BT4 kodlu numunedir.
- En fazla aşınan numune REF kodlu numunedir.
- Sertliği en yüksek numune BT4 kodlu numunedir.
- Sertliği en düşük numune REF kodlu numunedir.
- Yüzey pürüzlülüğü en yüksek numune REF kodlu numunedir.
- Yüzey pürüzlülüğü en düşük olan numune BT1 kodlu numunedir.
- Yoğunluğu en yüksek olan numune REF kodlu numunedir.
- Yoğunluğu en düşük numune BT1 kodlu numunedir.
- En yüksek çalışma sıcaklığına REF kodlu numune ulaşmıştır.

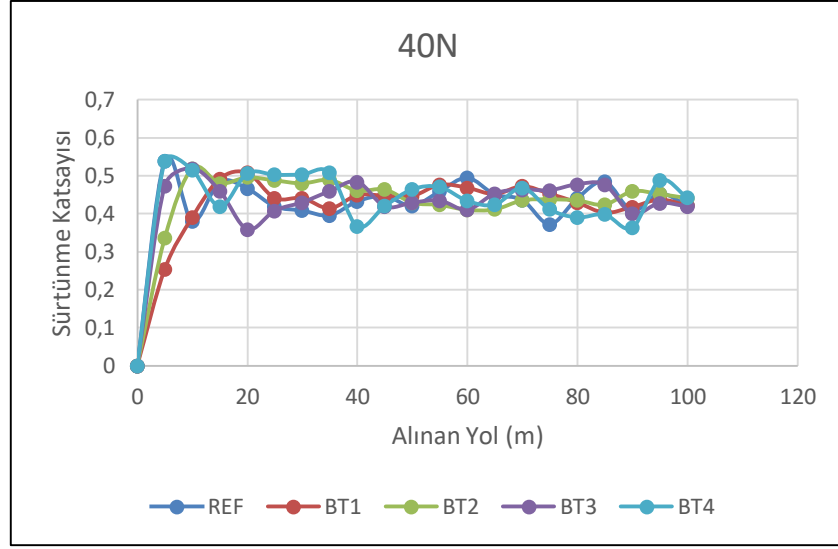
- En düşük çalışma sıcaklığına BT4 kodlu numune ulaşmıştır.



Şekil 6.1. Numunelerin 10N yük altında sürtünme katsayısı değişimleri.



Şekil 6.2. Numunelerin 20N yük altında sürtünme katsayısı değişimleri.



Şekil 6.3. Numunelerin 40N yük altında sürtünme katsayısı değişimleri.

Bu sonuçlar ele alındığında, fren balatalarında cüruf kullanımının sürtünme katsayısını artırdığı, aşınmayı azalttığı ve çalışma sıcaklığını düşürdüğü sonuçları elde edilmiştir. Buna karşın, cürufun aşırı miktarda kullanımının sürtünme katsayısını, çalışma esnasında daha düzensiz hale getirdiği sonucu elde edilmiştir. Bu durumun en büyük sebebinin, cüruf miktarının fren balatasının sertliğini artırması olduğu düşünülmektedir [60]. Ayrıca, fren balatalarında cürufun yağlayıcı olarak kullanılmadığı, buna karşın aşındırıcı ve dolgu maddesi olarak kullanımının gayet uygun olduğu sonucuna varılmaktadır. Cürufun yapısında bulunan silikatlar ve alümina gibi metal oksitlerin aşındırıcı özelliğe sahip olduğu bilinmektedir [15].

Üretilen numunelerin kullanılabilirliğini incelemek amacıyla, TS555 karayolu taşıtlarının sürtünmeli frenler için uygunluk standardına göre karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 6.1’de gösterildiği üzere Türkiye ve Avrupa’daki standartlara göre fren balataları, ortalama sürtünme katsayılarına bağlı olarak 6 farklı sınıfa ayrılmaktadır. En çok kullanılan sınıflar 0,15 ve 0,55 arasındaki sürtünme katsayısı değerlerine sahip fren balatalarıdır. Çizelge 6.2’de, üretilen balata numunelerinin sınıfları gösterilmektedir. Otomobillerde kullanılan fren balatalarında, 0,2 ile 0,3 arasında sürtünme katsayısına sahip balatalar kullanılırken, yüksek ağırlıklara sahip ve fren sistemlerinin daha güvenli olması beklenen büyük araçlarda bu değer 0,4 ile 0,5 arasında olması beklenmektedir. Özellikle, inşaatlarda kullanılan birden fazla

akstdan tahrikli ağır y¼k kamyonlarıyla birlikte, zorlu zeminlerde çalışan araçlarda kullanılan arazi taşıtlarının fren balatalarının s¼rt¼nme katsayıları 0,55' den y¼ksek olabilmektedir. Bu bilgilerden yola çıkararak, elde edilen c¼r¼f katkılı fren balatlarının ağır vasıtalarda kullanılabileceği ¼ng¼r¼lmektedir.

Çizelge 6.1. TS555 standardına g¼re fren balatası sınıfları [61].

Sınıf	S¼rt¼nme Katsayısı
C	0,15 ve altı
D	0,15 – 0,25 arası
E	0,25 – 0,35 arası
F	0,35 – 0,45 arası
G	0,45 – 0,55 arası
H	0,55 ve ¼st¼

Çizelge 6.2. ¼retilen balata numunelerinin TS555 balata sınıfları.

Numune	S¼rt¼nme Katsayısı	TS555 Balata Sınıfı
REF	0,4487	F
BT1	0,4469	F
BT2	0,4511	G
BT3	0,4476	F
BT4	0,4552	G

KAYNAKLAR

1. Ertan, R. and Yavuz, N., "Balata malzemelerinde kullanılan yapısalın balatanın tribolojik ve fiziksel özelliklerine etkisi", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15: 169-177 (2010).
2. Barros, L. Y., Neis, P. D., Ferreira, N. F., Pavlak, R. P., Masotti, D., Matozo, L. T., Sukumaran, J., De Baets, P., and Andó, M., "Morphological analysis of pad-disc system during braking operations", *Wear*, 352-353: 112-121 (2016).
3. Boz, M. and Kurt, A., "Bronz esaslı fren balata malzemelerinin sürtünme - aşınma özelliklerine sepiyolit'in etkisi", *Politeknik Dergisi*, 9(4): 303-310 (2006).
4. Lagel, M. C., Hai, L., Pizzi, A., Basso, M. C., Delmotte, L., Abdalla, S., Zahed, A., and Al-Marzouki, F. M., "Automotive brake pads made with a bioresin matrix", *Industrial Crops and Products*, 85: 372-381 (2016).
5. Mutlu, İ. ve Öner, C., "Cam elyaf takviyeli disk fren balatalarının incelenmesi", *TEKNOLOJİ*, 3-4: 89-96 (2002)
6. Mutlu, I., Oner, C., and Findik, F., "Boric acid effect in phenolic composites on tribological properties in brake linings", *Materials & Design*, 28 (2): 480-487 (2007).
7. Mutlu, I., Eldogan, O., and Findik, F., "Production of ceramic additive automotive brake lining and investigation of its braking characterisation", *Industrial Lubrication and Tribology*, 57 (2): 84-92 (2005).
8. Sugözü, B., Buldum, B. B., and Sugözü, İ., "Tribological properties of brake friction materials containing ulexite and borax", *Journal of Boron*, 3(2): 125-131 (2018).
9. Neis, P. D., Ferreira, N. F., Fekete, G., Matozo, L. T., and Masotti, D., "Towards a better understanding of the structures existing on the surface of brake pads", *Tribology International*, 105: 135-147 (2017).
10. Polajnar, M., Kalin, M., Thorbjornsson, I., Thorgrimsson, J. T., Valle, N., and Botor-Probierz, A., "Friction and wear performance of functionally graded ductile iron for brake pads", *Wear*, 382-383: 85-94 (2017).

11. Singh, T., Patnaik, A., and Chauhan, R., "Optimization of tribological properties of cement kiln dust-filled brake pad using grey relation analysis", *Materials & Design*, 89: 1335–1342 (2016).
12. Uyyuru, R. K., Surappa, M. K., and Brusethaug, S., "Tribological behavior of Al–Si–SiCp composites/automobile brake pad system under dry sliding conditions", *Tribology International*, 40 (2): 365–373 (2007).
13. Topuz, A., "Kompozit Demiryolu fren balatalarının sürtünme ve aşınma özellikleri", *8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı*, İstanbul 619-627 (2007).
14. Öztürk, B., "Aşındırıcı türü ve boyutunun otomotiv fren balatalarının sürtünme-aşınma performansına etkisi", *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8 (2): 335-347 (2018).
15. Erdogan, A., "Yüksek fırın cürufu takviyeli epoksi kompozitin kuru kayma Davranışının İncelenmesi", *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10 (2): 647–654 (2019).
16. Gül, F., "Takviye parçacık boyutunun SiO₂ takviyeli Al-Si kompozitlerin abrasiv aşınma davranışı üzerinde etkisi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14 (2): 194-199 (2010).
17. Sugözü, İ., Öner, C., Mutlu, İ., and Can, İ., "Farklı ısıl işlem sürelerinde üretilen fren balatalarının frenleme karakteristiğinin incelenmesi", *(IATS-11)*, Elazığ, 15-18 (2011).
18. Mutlu, İ., Öner, C., Özdin, K., Yıldız, E., "Elyaf katkılı asbetsiz disk fren balatalarında sürekli frenleme veriminin incelenmesi", *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 98-102 (2006).
19. Akıncioğlu, G., Akıncioğlu, S., Uygur, İ., and Öktem, H., "Investigation of the friction Behavior of the effect of boron oxide powder used as an alternative contribution brake pad", *Journal of Boron*, 4 (1): 1-6 (2019).
20. Sugözü, K. B., "Effect of heat treatment temperature on friction and wear in the manufacturing of automotive brake friction materials", *(IISS-15)*, Karabük (2015).
21. Wang, Z., Hou, G., Yang, Z., Jiang, Q., Zhang, F., Xie, M., and Yao, Z., "Influence of slag weight fraction on mechanical, thermal and tribological properties of polymer based friction materials", *Materials & Design*, 90: 76–83 (2016).
22. Zou, H., Ran, X., Zhu, W., Wang, Y., Zhan, S., and Hao, Z., "Tribological behavior of copper–graphite composites reinforced with Cu-coated or uncoated SiO₂ particles", *Materials*, 11 (12): 2414 (2018).

23. Tomášek, V., Kratošová, G., Yun, R., Fan, Y., and Lu, Y., "Effects of alumina in nonmetallic brake friction materials on friction performance", *Journal of Materials Science*, 44 (1): 266–273 (2009).
24. Lazim, A. R. M., Kchaou, M., Hamid, M. K. A., and Bakar, A. R. A., "Squealing characteristics of worn brake pads due to silica sand embedment into their friction layers", *Wear*, 358–359: 123–136 (2016).
25. Mutlu I., " Investigation of tribological properties of brake pads by using rice straw and rice husk dust", *Journal of Applied Sciences*, 9 (2): 377-381 (2009).
26. Abhik, R., Umasankar, V., and Xavier, M. A., "Evaluation of properties for Al-SiC reinforced metal matrix composite for brake pads", *Procedia Engineering*, 97: 941–950 (2014).
27. Gilardi, R., Alzati, L., Thiam, M., Brunel, J.-F., Desplanques, Y., Dufrénoy, P., Sharma, S., and Bijwe, J., "Copper substitution and noise reduction in brake pads: graphite type selection", *Materials*, 5 (11): 2258–2269 (2012).
28. Bijwe, J., Kumar, M., Gurunath, P. V., Desplanques, Y., and Degallaix, G., "Optimization of brass contents for best combination of tribo-performance and thermal conductivity of non-asbestos organic (NAO) friction composites", *Wear*, 265 (5–6): 699–712 (2008).
29. Campaner, P., D'Amico, D., Longo, L., Stifani, C., and Tarzia, A., "Cardanol-based novolac resins as curing agents of epoxy resins", *Journal of Applied Polymer Science*, 114 (6): 3585–3591 (2009).
30. Ahmad, F., Lo, S. H. J., Aslam, M., and Haziq, A., "Tribology behaviour of alumina particles reinforced aluminium matrix composites and brake disc materials", *Procedia Engineering*, 68: 674–680 (2013).
31. Stadler, Z., Krnel, K., and Kosmac, T., "Friction behavior of sintered metallic brake pads on a C/C–SiC composite brake disc", *Journal of the European Ceramic Society*, 27 (2–3): 1411–1417 (2007).
32. Aranganathan, N. and Bijwe, J., "Special grade of graphite in NAO friction materials for possible replacement of copper", *Wear*, 330–331: 515–523 (2015).
33. Incesu, A., Korkmaz, K., Cetintas, O. O., Kubuc, O., Korkmaz, M., and Karanfil, G., "Design of composite brake pads for metro with a statistical approach", (*ISERSE'13*), Karabük (2013).
34. Uysal, F. F. and Bahar, S., "Cüruf çeşitleri ve kullanım alanları", *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 19 (1): 37-52 (2018).

35. Erdoğan, E., Yılmaz, B., Erdoğan, Y., and Avcıata, U., "Sodyum karbonat'ın kolemanit konsantratör atığı + karabük cürufu katkılı portland çimentosunun mekanik özellikleri üzerine etkisi", *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir, 425-430 (2004)
36. "Kardemir A.Ş. Yüksek fırın cürufu kimyasal analiz raporu", (2019)
37. Wert, C. and Weller, M., "Internal friction of the glassy tektites", *Journal of Alloys and Compounds*, 310 (1-2): 54-58 (2000).
38. Nagendra, V., "Ground granulated blast furnace slag (GGBS): effect of particle size and dosage on compressive strength with microstructural analysis of concrete", *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 6 (5): 2467-2474 (2018).
39. Hybská, H., Hroncová, E., Ladomerský, J., Balco, K., and Mitterpach, J., "Ecotoxicity of concretes with granulated slag from gray Iron pilot production as filler", *Materials*, 10 (5): 505 (2017).
40. Sugözü İ., and Mutlu İ., "Fren balatası üretiminde toz karıştırma süresinin frenleme karakteristiğine etkisinin araştırılması" (*IATS'09*), Karabük (2009).
41. Fan, Y., Matějka, V., Kratošová, G., and Lu, Y., "Role of Al₂O₃ in semi-metallic friction materials and its effects on friction and wear performance", *Tribology Transactions*, 51 (6): 771-778 (2008).
42. Fu, P. R. K., Sujana, D., Oo, Z., Gorin, A., and Liew, W. Y. H., "Wear behaviour of Al-SiC and Al-Al₂O₃ matrix composites sliding against automobile friction material", *The seventh Global Conference on Power Control & Optimization (PCO 2013)*, Sarawak, 249-253 (2008)
43. Başar, G., Buldum, B. B., and Sugözü, İ., "Kolemanit ve boraks takviyeli fren balatalarının sürtünme performansı", *El-Cezeri Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2): 635-644 (2018).
44. Timur, M., "Marble waste using produced of automotive brake pad of friction coefficient different pad brake pads with compression", *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 19 (1): 10-14 (2013).
45. Topuz, P., "Otomobil disk fren balatalarının deneysel yöntemlerle karakterizasyonu ve karşılaştırılması", *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 3: 241-248 (2018).
46. Spurr, R. T., "Fillers in friction materials", *Wear*, 22 (3): 367-372 (1972).
47. Petrescu, M. I., "Boron nitride theoretical hardness compared to carbon polymorphs", *Diamond and Related Materials*, 13 (10): 1848-1853 (2004).

48. Tropf W. J., "Handbook of optical constants of solids. 3 ", *Academic Press*, San Diego, 701-715 (2003).
49. Rabinowicz, E., "Lubrication of metal surfaces by oxide films", *A S L E Transactions*, 10 (4): 400–407 (1967).
50. Mathur, R. B., Thiyagarajan, P., and Dhama, T. L., "Controlling the hardness and tribological behaviour of non-asbestos brake lining materials for automobiles", *Carbon Science*, 5 (1): 6 (2004).
51. Boz, M. and Kurt, A., "The effect of Al₂O₃ on the friction performance of automotive brake friction materials", *Tribology International*, 40 (7): 1161–1169 (2007).
52. Mosleh, M., Blau, P. J., and Dumitrescu, D., "Characteristics and morphology of wear particles from laboratory testing of disk brake materials", *Wear*, 256 (11–12): 1128–1134 (2004).
53. Makhovskaya, Y., "Modeling sliding Friction of a multiscale wavy surface over a viscoelastic foundation taking into account adhesion", *Lubricants*, 7 (2): 13 (2019).
54. Ostermeyer, G. P., "Friction and wear of brake systems", *Forschung Im Ingenieurwesen*, 66 (6): 0267–0272 (2001).
55. Österle, W., Dörfel, I., Prietzel, C., Roosh, H., Cristol-Bulthé, A.-L., Degallaix, G., and Desplanques, Y., "A comprehensive microscopic study of third body formation at the interface between a brake pad and brake disc during the final stage of a pin-on-disc test", *Wear*, 267 (5–8): 781–788 (2009).
56. Laguna-Camacho, J. R., Juárez-Morales, G., Calderón-Ramón, C., Velázquez-Martínez, V., Hernández-Romero, I., Méndez-Méndez, J. V., and Vite-Torres, M., "A study of the wear mechanisms of disk and shoe brake pads", *Engineering Failure Analysis*, 56: 348–359 (2015).
57. Sugoza, K. B., Daghan, B., Akdemir, A., and Ataberk, N., "Friction and wear properties of friction materials containing nano/micro-sized SiO₂ particles", *Industrial Lubrication and Tribology*, 68 (2): 259–266 (2016).
58. Österle, W. and Urban, I., "Third body formation on brake pads and rotors", *Tribology International*, 39 (5): 401–408 (2006).
59. Zeng, S. H., Wei, C., Zeng, M., Xiong, X. M., Liu, H. X., Lv, J., and Qin, A. M., "Friction properties of sisal fiber reinforced nano-SiO₂ phenol formaldehyde resin brake composites", *Applied Mechanics and Materials*, 490–491: 64–68 (2014).
60. Österle, W. and Dmitriev, A., "The role of solid lubricants for brake friction materials", *Lubricants*, 4 (1): 5 (2016).

61. Güney B. and Mutlu İ., "Taşıtlarda AB ve ABD'nde uygulanan fren test standartlarının incelenmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (1): 7-16 (2015).

ÖZGEÇMİŞ

Kamil AKDOĞAN, 1993 yılında Karabük'te doğdu. Lise öğrenimini 2007-2011 yılları arasında Karabük Vakıfbank Zübeyde Hanım Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimini 2011-2016 yılları arasında Karabük Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2014 yılında Oyak Renault Otomobil Fabrikaları A.Ş. şirketinde stajyer mühendis olarak yaz stajını tamamladı. 2019 yılı Şubat ve Eylül ayları arasında Özsirt Demir Profil L.T.D. şirketinde tasarım asistanı olarak çalıştı. Lisansüstü eğitimi Karabük Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hala devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : 100. Yıl Mah. 1005 Nolu Cad. Doğu Sitesi M Blok Daire - 7
Merkez / KARABÜK

Tel : (0531) 372 65 03

E-posta : kamilakdogan@ogrenci.karabuk.edu.tr