



TARSUS  
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

TARSUS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ORGANİK ATIK ÜRÜNLERİN KOMPOZİT FREN BALATALARINDA  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Elçin SAYAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2022

**T.C.**  
**TARSUS ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ORGANİK ATIK ÜRÜNLERİN KOMPOZİT FREN BALATALARINDA**  
**KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Elçin SAYAR**

**Danışman: Prof. Dr. Uğur EŞME**

**İkinci Danışman: Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TARSUS - 2022**

## ÖZET

### ORGANİK ATIK ÜRÜNLERİN KOMPOZİT FREN BALATALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Elçin SAYAR

Yüksek Lisans Tezi, İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Uğur EŞME

İkinci Danışman: Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ

Ocak 2022, 79 sayfa

Kompozit sürtünme malzemesi olan balata, fren sisteminin frenleme performansında önemli rol oynayan başlıca bileşenidir. Balataların mekanik ve tribolojik davranışlarını araştırmak, frenleme performansını iyileştirmek için balata kompozisyonu ve üretim parametreleriyle ilgili birçok çalışma yapılmış olup, araştırmalar devam etmektedir. Üretilen balataların ekonomik olması, çevre dostu olması ve insan sağlığını tehlikeye atmaması beklenmektedir. Bu nedenle kompozit içeriğinde kullanılan malzemelere alternatif olarak organik atık ürünlerin kullanımı artmıştır.

Bu çalışmada, mısır kabuğu, keten, kenevir, hindistan cevizi ve bambu tozu (kütlece %5, %10 ve %15) olmak üzere beş çeşit malzeme kullanılarak 16 adet farklı içerikli balata numuneleri üretilmiştir. Numuneler sırayla toz karıştırma, ön şekillendirme ve sıcak presleme işlemlerini kapsayan toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiştir. Numunelerin özgül aşınma miktarı ve sürtünme katsayısı, gri dökme demir diskin bulunduğu bir test cihazında deneyler uygulanarak elde edilmiştir. Balata numunelerinin sertlik, yoğunluk, yüzey pürüzlülüğü gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Sürtünme testinden sonra numunelerin aşınan yüzeylerinin mikroyapısı Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Ayrıca Elektron Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) yardımıyla aşınan yüzeylerin kimyasal analizleri elde edilmiştir.

Yapılan çalışmanın sonucu, üretilen organik atık malzeme içerikli numunelerin sürtünme performansı açısından iyi davranış sergilediğini göstermiştir. En iyi sürtünme katsayısı değerleri %10 oranında hindistan cevizi, keten, kenevir ve bambu, %5 oranında keten içerikli numunelerde görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, Sürtünme, Fren balatası, Organik atık, Triboloji

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF THE USAGE OF ORGANIC WASTE PRODUCTS IN COMPOSITE BRAKE PADS**

**Elçin SAYAR**

**Master Thesis, Department of Manufacturing Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Uğur EŞME**

**Second Supervisor: Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ**

**Ocak 2022, 79 pages**

The lining, which is a composite friction material, is the main component of the brake system that plays an important role in the braking performance. In order to investigate the mechanical and tribological behavior of the pads and to improve the braking performance, many studies have been carried out on the pad composition and production parameters, and the researches are continuing. The pads produced are expected to be economical, environmentally friendly and not endanger human health. For this reason, the use of organic waste products has increased as alternative to the materials used in the composite content.

In this study, 16 pad samples with different contents were produced by using five types of materials, namely corn husk, flax, hemp, coconut and bamboo powder (5, 10 and 15 wt.%). The samples were produced by powder metallurgy method, which included powder mixing, preforming and hot pressing processes, respectively. The specific wear amount and friction coefficient of the samples were obtained by performing experiments on a test device with a gray cast iron disc. Physical properties such as hardness, density and roughness of the lining samples were determined. After the friction test, the microstructure of the worn surfaces of the samples was examined by Scanning Electron Microscope (SEM). In addition, chemical analyzes of the worn surfaces were obtained by Electron Energy Distribution Spectrometer (EDS).

The result of the study showed that the samples containing organic waste material exhibited good behavior in terms of friction performance. The best coefficient of friction values were observed in samples containing %10 coconut, flax, hemp and bamboo and %5 flax.

**Keywords:** Wear, Friction, Brake pad, Organic waste, Tribology

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışması sürecinde yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Uğur EŞME' ye, tez konusunun belirlenmesinde ve çalışmalarım boyunca akademik anlamda bana yol gösteren, değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ikinci danışman hocam Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ' ne ve çalışmamdaki desteklerinden dolayı Doç. Dr. Banu SUGÖZÜ' ne teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamdaki testleri uygulamak için laboratuvarından faydalandığım Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ne, EDS (Enerji Dağılım Spektroskopisi) - SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizlerini almam konusunda yardımcı olan İskenderun Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezin'e (İSTE-BTM) ve numune üretiminde kullandığım kenevir malzemesini temin etmem konusunda desteklerini esirgemeyen Kenevir Türk'e teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca her koşulda bana destek olan, bugünlere gelmemi sağlayan aileme en içten saygı ve sevgilerimi sunarım. Çalışmalarım süresince beni yalnız bırakmayan ihtiyaç duyduğum her anda yanımda olan Nasır Mert BURAN'a ve manevi desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım Eyüp Can KESKİN'e çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
KISALTMALAR.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix

### BÖLÜM I GİRİŞ

### BÖLÜM II LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### BÖLÜM III FREN SİSTEMLERİ

3.1. Kampana Fren Sistemleri .....	8
3.2. Disk Fren Sistemleri .....	9
3.2.1. Disk Fren Elemanları .....	10
3.2.1.1. Kaliper .....	10
3.2.1.2. Disk.....	10
3.2.1.3. Balatalar .....	10

### BÖLÜM IV FREN SÜRTÜNME MALZEMELERİ

4.1. Bağlayıcılar .....	12
4.2. Takviye Malzemeleri (Güçlendiriciler).....	13
4.3. Sürtünme Katkı Malzemeleri .....	14
4.4. Dolgu Malzemeleri.....	15

### BÖLÜM V TOZ METALURJİSİ

5.1. Toz Metalurjisi Yöntemi .....	16
5.1.1. Tozların Tane Boyut Ölçümü.....	16
5.1.2. Tozların Karıştırılması .....	16
5.1.3. Tozların Preslenmesi .....	17
5.1.4. Tozların Sinterlenmesi .....	17

### BÖLÜM VI MATERYAL VE YÖNTEM

6.1. Numune Üretimi.....	18
6.1.1. Numune İçeriği.....	18
6.1.2. Numunelerin Formülasyonunun Belirlenmesi .....	20
6.1.3. Üretim Prosesi .....	21

6.2. Numune Üretiminde Kullanılan Materyaller .....	23
6.2.1. Elek Sarsma Cihazı .....	23
6.2.2. Hassas Terazı .....	24
6.2.3. Toz Karıştırma Kabı.....	24
6.2.4. Hidrolik Pres Ve Kalıplar.....	25
6.3. Testler İçin Kullanılan Cihazlar .....	26
6.3.1. Sürtünme Test Cihazı.....	26
6.3.2. Sertlik Ölçüm Cihazı.....	29
6.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı .....	30
6.4. Kaplama Cihazı .....	30
6.5. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Ve EDS (Enerji Dağılım Spektrometrisi)....	31
6.6. USB Mikroskop .....	32
6.7. Aşınma Ölçüm Yöntemi .....	32
6.8. Yoğunluk Ölçüm Yöntemi.....	33

## **BÖLÜM VII DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA**

7.1. Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değerlendirmesi.....	35
7.2. Numunelerin Aşınma, Yoğunluk ve Sertlik Ölçümleri.....	52
7.3. Yoğunluk.....	55
7.4. Sertlik .....	55
7.5. Yüzey Pürüzlülüğü.....	58
7.6. Yüzey Karakteristiği ve Mikroyapı İncelemeleri.....	59
7.7. EDS Analizi.....	64
7.8. Performans Değerlendirmesi.....	69

## **BÖLÜM VIII SONUÇ VE ÖNERİLER**

<b>8.1. SONUÇLAR .....</b>	<b>72</b>
<b>8.2. ÖNERİLER .....</b>	<b>73</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>74</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>79</b>

## KISALTMALAR

### Simgeler

**A:** yüzey alanı

**D:** çap

**d:** kalınlık

**F:** kuvvet

**L:** kalınlık

**m:** kütle

**N:** normal kuvvet

**P :** basınç

**R:** diskin merkezi ile balata merkezi arasındaki uzaklık

**Ra:** yüzey pürüzlülüğü

**$\sigma$  :** dayanım

**V:** özgül aşınma miktarı

**W:** ağırlık

**$\mu$ :** sürtünme katsayısı

**$\rho$ :** yoğunluk

**SiC:** silisyum karbür

**CH<sub>2</sub>O:** formaldehit

**C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH:** fenol

### Kısaltmalar

**EDS:** Enerji Dağılım Spektrometresi

**SEM:** Taramalı Elektron Mikroskobu

**FS:** Sürtünme Kararlılığı

**T/M:** Toz Metalurjisi

**M5:** Kütlece %5 mısır kabuğu tozu içeren balata numunesi

**M10:** Kütlece %10 mısır kabuğu tozu içeren balata numunesi

**M15:** Kütlece %15 mısır kabuğu tozu içeren balata numunesi

**KT5:** Kütlece %5 keten tozu içeren balata numunesi

**KT10:** Kütlece %10 keten tozu içeren balata numunesi

**KT15:** Kütlece %15 keten tozu içeren balata numunesi

**KN5:** Kütlece %5 kenevir tozu içeren balata numunesi

**KN10:** Kütlece %10 kenevir tozu içeren balata numunesi

**KN15:** Kütlece % 15 kenevir tozu içeren balata numunesi

**H5:** Kütlece %5 hindistan cevizi kabuğu tozu içeren balata numunesi

**H10:** Kütlece %10 hindistan cevizi kabuğu tozu içeren balata numunesi

**H15:** Kütlece %15 hindistan cevizi kabuğu tozu içeren balata numunesi

**B5:** Kütlece %5 bambu tozu içeren balata numunesi

**B10:** Kütlece % 10 bambu tozu içeren balata numunesi

**B15:** Kütlece % 15 bambu tozu içeren balata numunesi

**İSTE-BTM:** İskenderun Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma  
Merkezi

**NAO:** Asbest İçermeyen Organik

**TSE:** Türk Standartları Enstitüsü



## TABLULAR LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 4. 1.</b> Bağlayıcılar .....	13
<b>Tablo 4. 2.</b> Güçlendirici Lifler .....	14
<b>Tablo 4. 3.</b> Sürtünme Katkı Malzemeleri .....	15
<b>Tablo 4. 4.</b> Dolgu Malzemeleri.....	15
<b>Tablo 6. 1.</b> Numune Üretiminde Kullanılan Malzemelerin İşlevleri.....	20
<b>Tablo 6. 2.</b> Balata Numunelerini Oluşturan Malzemelerin Miktarları (% Kütlesel).....	20
<b>Tablo 7. 1.</b> Referans Numune ve Mısır Kabuğu İçeren Numunelerin Özellikleri.....	53
<b>Tablo 7. 2.</b> Referans Numune ve Keten İçeren Numunelerin Özellikleri .....	53
<b>Tablo 7. 3.</b> Referans Numune ve Kenevir İçeren Numunelerin Özellikleri .....	54
<b>Tablo 7. 4.</b> Referans Numune ve Hindistan Cevizi İçeren Numunelerin Özellikleri .....	54
<b>Tablo 7. 5.</b> Referans Numune ve Bambu İçeren Numunelerin Özellikleri .....	54
<b>Tablo 7. 6.</b> Tüm Numunelerin Özellikleri .....	58
<b>Tablo 7. 7.</b> Numunelerin Yüzey Pürüzlülüğü.....	59
<b>Tablo 7. 8.</b> Balata Numunelerinin Özgül Aşınma Miktarları .....	71
<b>Tablo 7. 9.</b> Balata Numunelerinin Performans Türleri .....	71

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3. 1. Kampana Fren Balataları .....	9
Şekil 3. 2. Disk Fren ve Kampanalı Fren .....	9
Şekil 3. 3. Disk Fren Balatası.....	10
Şekil 6. 1. Numune Kompozisyonunda Kullanılan Malzemeler: (a) Fenolik Reçine, (b) Çelik Yünü, (c) Maun Cevizi(Cashew) Tozu, (d) Alümina, (e) Grafit, (f) Bakır Talaşı, (g) Pirinç Talaşı, (h) Barit .....	19
Şekil 6. 2. Numune Kompozisyonunda Kullanılan Organik Atık Malzemeler .....	19
Şekil 6. 3. Öğütme İşlemi.....	21
Şekil 6. 4. Eleme Yöntemiyle Tane Boyutu Belirlenmesi .....	21
Şekil 6. 5. (a) Hidrolik Pres ile Soğuk Presleme İşlemi (b) Soğuk Presleme İşlemiyle Ön Şekli Oluşan Numune.....	22
Şekil 6. 6. (a) Hidrolik Pres ile Sıcak Presleme İşlemi (b) Sıcak Presleme İşlemi Sonucu Oluşan Numune.....	23
Şekil 6. 7. Elek Sarsma Cihazı.....	24
Şekil 6. 8. Hassas Terazî .....	24
Şekil 6. 9. Hidrolik Pres .....	25
Şekil 6. 10. (a) Soğuk Pres Kalıbı (b) Sıcak Pres Kalıpları .....	26
Şekil 6. 11. Sürtünme Test Cihazı.....	27
Şekil 6. 12. Fren Balatası Deney Cihazının Şematik Görünümü.....	27
Şekil 6. 13. Balata Test Programı .....	28
Şekil 6. 14. Balata Test Programı Grafik Göstergesi.....	29
Şekil 6. 15. Test Cihazında Kullanılan Balata Tutucu.....	29
Şekil 6. 16. Sertlik Ölçüm Cihazı .....	30
Şekil 6. 17. Yüzey Pürüzlülük Test Cihazı .....	30
Şekil 6. 18. Kaplama Cihazı.....	31
Şekil 6. 19. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	31
Şekil 6. 20. EDS ve SEM Görüntüleri .....	32
Şekil 6. 21. Arşimet Terazisi.....	33
Şekil 7. 1. TS 555'e Göre Balata Sürtünme Katsayısı Performans Türleri .....	35
Şekil 7. 2. R Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	36

<b>Şekil 7. 3.</b> M5 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	36
<b>Şekil 7. 4.</b> M10 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	37
<b>Şekil 7. 5.</b> M15 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	38
<b>Şekil 7. 6.</b> Referans Numune ve Mısır Kabuğu İçeren Numunelerin Ortalama Sürtünme Katsayıları .....	38
<b>Şekil 7. 7.</b> Referans Numune ve Mısır Kabuğu İçeren Numunelerin Sürtünme Kararlılıkları .....	39
<b>Şekil 7. 8.</b> KT5 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	40
<b>Şekil 7. 9.</b> KT-10 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	40
<b>Şekil 7. 10.</b> KT-15 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	41
<b>Şekil 7. 11.</b> Referans Numune ve Keten İçeren Numunelerin Ortalama Sürtünme Katsayıları .....	42
<b>Şekil 7. 12.</b> Referans Numune ve Keten İçeren Numunelerin Sürtünme Kararlılıkları.....	42
<b>Şekil 7. 13.</b> KN5 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	43
<b>Şekil 7. 14.</b> KN10 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	44
<b>Şekil 7. 15.</b> KN15 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	44
<b>Şekil 7. 16.</b> Referans Numune ve Kenevir İçeren Numunelerin Ortalama Sürtünme Katsayıları .....	45
<b>Şekil 7. 17.</b> Referans Numune ve Kenevir İçeren Numunelerin Sürtünme Kararlılıkları .....	45
<b>Şekil 7. 18.</b> H5 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	46
<b>Şekil 7. 19.</b> H10 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	47
<b>Şekil 7. 20.</b> H15 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	47

<b>Şekil 7. 21.</b> Referans Numune ve Hindistan Cevizi Kabuğu İçeren Numunelerin Ortalama Sürtünme Katsayısı .....	48
<b>Şekil 7. 22.</b> Referans Numune ve Hindistan Cevizi Kabuğu İçeren Numunelerin Sürtünme Kararlılıkları .....	49
<b>Şekil 7. 23.</b> B5 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	49
<b>Şekil 7. 24.</b> B10 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	50
<b>Şekil 7. 25.</b> B15 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri .....	51
<b>Şekil 7. 26.</b> Referans Numune ve Bambu İçeren Numunelerin Ortalama Sürtünme Katsayıları .....	51
<b>Şekil 7. 27.</b> Referans Numune ve Bambu İçeren Numunelerin Sürtünme Kararlılıkları.....	52
<b>Şekil 7. 28.</b> Referans Numune ve Mısır Kabuğu Tozu Katkılı Numunelerin Sertlik Değerleri.....	55
<b>Şekil 7. 29.</b> Referans Numune ve Keten Tozu Katkılı Numunelerin Sertlik Değerleri.....	56
<b>Şekil 7. 30.</b> Referans Numune ve Kenevir Tozu Katkılı Numunelerin Sertlik Değerleri.....	56
<b>Şekil 7. 31.</b> Referans Numune ve Hindistan Cevizi Tozu Katkılı Numunelerin Sertlik Değerleri.....	57
<b>Şekil 7. 32.</b> Referans Numune ve Bambu Tozu Katkılı Numunelerin Sertlik Değerleri.....	57
<b>Şekil 7. 33.</b> Numunelerin Test Öncesi ve Test Sonrası USB Mikroskop Görüntüleri.....	60
<b>Şekil 7. 34.</b> Numunelerin Test Öncesi ve Test Sonrası USB Mikroskop Görüntüleri.....	61
<b>Şekil 7. 35.</b> Numunelerin Test Sonrası SEM ile Çekilmiş Yüzey Görüntüleri.....	62
<b>Şekil 7. 36.</b> Numunelerin Test Sonrası SEM ile Çekilmiş Yüzey Görüntüleri.....	63
<b>Şekil 7. 37.</b> R Kodlu Numunenin EDS Analizi.....	65
<b>Şekil 7. 38.</b> Mısır Kabuğu Katkılı Numunelerin EDS Analizi.....	65
<b>Şekil 7. 39.</b> Keten Katkılı Numunelerin EDS Analizi .....	66
<b>Şekil 7. 40.</b> Kenevir Katkılı Numunelerin EDS Analizi .....	67
<b>Şekil 7. 41.</b> Hindistan Cevizi Kabuğu Katkılı Numunelerin EDS Analizi .....	68
<b>Şekil 7. 42.</b> Bambu Katkılı Numunelerin EDS Analizi .....	69
<b>Şekil 7. 43.</b> Balata Numunelerinin Ortalama Sürtünme Katsayıları .....	70

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Otomotiv endüstrisindeki teknolojik gelişmelerin hızla artması araçlardaki motor gücü, hız ve yük gibi özelliklerde de değişime yol açmıştır. Bu durum araçların emniyetini sağlamak için en önemli rolü üstlenen fren sistemlerinin de gelişmesini etkilemiştir. Fren sisteminde, taşıt hızının güvenli bir şekilde azaltılabilmesi için kinetik enerji sürtünme yoluyla ısı enerjisine dönüştürülür.

Fren sisteminde frenleme performansına etki eden başlıca bileşenlerden biri kompozit sürtünme malzemesi olan balatalardır. Farklı çalışma şartları ve çevre koşulları göz önüne alındığında frenleme durumunda balatalarda sıcaklık yüksek seviyelere çıkabilmektedir. Balatalar, frenleme sırasında oluşabilecek yüksek sıcaklıklardan ve çevre koşullarından etkilenirler. Bundan dolayı frenleme performansında da olumsuz etkiler görülür.

Balataların yüksek sıcaklıklara dayanımı, sürtünme performansı ve aşınma gibi özelliklerinin iyileştirilmesiyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda teknik özelliklerle birlikte balataların daha ekonomik olması, insan sağlığına zarar vermemesi ve çevre dostu olması da göz önüne alınmıştır. Bugüne kadar araştırmacılar balata özelliklerini iyileştirmek için üretim parametrelerinde ve fren balatasının içerisinde bulunan malzemeler üzerinde birçok çalışma yapmışlardır.

Bu çalışmada, sürtünme malzemesi içerisinde mısır kabuğu, keten, kenevir, hindistan cevizi ve bambu organik atık ürünlerinden elde edilen malzemeler kullanılarak 16 adet farklı içerikli balata numunesi üretilmiştir. Katkı malzemeleri ve karışım oranları değiştirilerek balataların deneysel olarak aşınma ve frenleme karakteristiği incelenmiştir. Üretilen balataların insan sağlığı ve çevre için zarar teşkil etmemesi, bununla birlikte ekonomik olması ve bir balatadan beklenen mekanik ve tribolojik özelliklerinin de en iyi değerde olması amaçlanmıştır.

## BÖLÜM II

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sürtünme malzemeleriyle ilgili olan çalışmalar, genellikle kompoziti oluşturan malzeme içeriğinin ya da prosesin değiştirilmesi ele alınarak, istenilen özelliklerin sağlanması amacıyla yapılan uygulamalardır. Geçmişte ısı direnci ve sürtünmeye dayanıklılığından dolayı asbest, endüstrinin birçok alanında kullanıldığı gibi üretilen fren balatalarında da uzun yıllar kullanılmıştır. Fren balata içeriğinde kullanılan asbestin frenleme için gereken uygun şartlara sahip olmasına rağmen frenleme sırasında oluşturduğu tozların havaya karışması ve bu durumun canlıların akciğerlerinde kanser oluşturması nedeniyle kullanımına yasaklama getirilmiştir (Sugözü ve Mutlu, 2008: 33-40). Tribolojik özellikler açısından frenleme performansına katkıda bulunmasına rağmen asbest, kanserojen bir madde olması nedeniyle insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu durumda fren balatası üretiminde ve ürün iyileştirmede alternatif malzeme kullanımının önemi artmıştır. Literatürde fren sürtünme malzemelerine alternatif olarak endüstriyel, tarımsal ve hayvansal atık gibi malzemelerin kullanılmasıyla ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Yawas vd. (2016: 103-109), dolgu malzemesi olarak deniz salyangozu kabuğu parçacıklarının kullanıldığı asbestsiz otomotiv fren balatasının geliştirilmesi için çalışma yapmışlardır. Farklı elek boyutlarında (710–125 µm), %35 reçineli, deniz salyangozu kabuğu parçacıklarına sahip beş kompozit fren balatasını sıkıştırımlı kalıplama kullanarak üretmişlerdir. Deniz salyangozu kabuğu partikül bazlı fren balatalarının fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklerini değerlendirmiş ve asbest bazlı fren balatalarının değerleri ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen fren balatası numunelerinin basınç dayanımının, sertliğinin ve yoğunluğunun, deniz salyangozu kabuğunun parçacık boyutunun 710'dan 125 µm'ye düşürülmesiyle arttığını, deniz salyangozu kabuğunun parçacık boyutunun azalmasıyla yağ emme, su emme ve aşınma hızının azaldığını göstermiştir. 125 µm deniz salyangozu kabuğu parçacıkları kullanılarak elde edilen sonuçlar, ticari fren balatasıyla karşılaştırıldığında sonucun olumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Elakhame vd. (2014: 735-744), tarafından yapılan çalışmada hurma çekirdeği kabuğu kullanılarak asbestsiz fren balatalarının geliştirilmesi ve üretimi incelenmiştir. Hurma çekirdeği kabuğu 100, 350, 710 µm ve 1 mm'lik elek derecelerinde elekten geçirilmiştir. Elenen hurma çekirdeği kabuğu, fren balatası üretiminde sıkıştırma kalıplama ile %20 reçine, %10 grafit, %15

çelik, %35-55 hurma çekirdeği kabuğu ve %0-20 silisyum karbür (SiC) oranlarında kullanılmıştır. Yaptıkları bu çalışmada mikroyapı analizi, sertlik, basınç dayanımı, yoğunluk, alev direnci, su ve yağ emme özelliklerini incelemişlerdir. Mikroyapının, reçinenin hurma çekirdeği kabuğunda düzgün dağılımını ortaya çıkardığını görmüşlerdir. Sonuç olarak elek boyutu ne kadar ince olursa özelliklerin o kadar iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. Numuneler arasından 100 µm elek dereceli hurma çekirdeği kabuğundan en iyi özellikleri elde etmişlerdir. Üretilen numunelerin basınç dayanımı, sertlik, yoğunluk ve gözenekliliğinin elek derecesi arttıkça azaldığı, elek derecesi arttıkça yağ emmesi, suyla ıslatması, aşınma oranı ve kömürleşme yüzdesinin arttığını belirtmişlerdir.

Akincioğlu vd. (2018: 4727-4737), bor oksit (%6) ve fındık kabuğu (%7) tozlarından ve diğer on yedi bileşenden üretilen iki asbestsiz otomotiv fren balatası kompoziti üretmişlerdir. Numuneler üzerinde sertlik, gözeneklilik, sıkıştırılabilirlik, kesme ve aşınma testleri yapılmış ve test sonuçları ticari balatalar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel (fındık kabuğu ve bor oksit katkılı) numunelerin sertlik değerlerinin ticari numunenin sertlik değerlerine benzer ve daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Deneysel balataların ve ticari balatanın ısıl iletkenlik değerlerinin uluslararası standartlara uygun olduğunu belirtmişlerdir. SEM görüntülerine göre bileşimi oluşturan tozların homojen olarak dağıldığını incelemişlerdir. Fındık kabuğuyla güçlendirilmiş balataların yapısının daha sert olmasından kaynaklandığı düşünülen fren balatasının sürtünme katsayısının en yüksek çıktığı sonucuna varmışlardır. Her üç tip fren balatası da sürekli dalgalanan sürtünme katsayıları eğilimi göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğü yüksek olan numunelerin de yüksek sürtünme katsayılarına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

İdris vd. (2015: 185-192), asbest ve fenolik reçinenin (fenol formaldehit) bir bağlayıcı olarak değiştirilmesi için muz kabuğu atıklarını kullanarak yeni bir fren balatası üretmişlerdir. Reçine, ağırlıkça %5'lik bir aralıkla ağırlıkça %5 ila %30 arasında değişmektedir. Fren balatasının morfolojisi, fiziksel, mekanik ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, üretilen numunelerin basınç dayanımının, sertliğinin ve özgül ağırlığının % reçine ilavesi arttıkça arttığını, % reçine arttıkça yağ ıslatma, suyla ıslatma, aşınma oranı ve kömürleşme yüzdesinin azaldığını göstermiştir. Ağırlıkça %25 karbonize edilmemiş muz kabuğu ve ağırlıkça %30 karbonize muz kabuğu parçacıkları içeren numuneler daha iyi özellikler vermiştir. Bu araştırmanın sonucunda, muz kabuğu parçacıklarının fren balatası imalatında asbest yerine etkili bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Aigbodion vd. (2010: 12), kspe kullanarak asbestsiz fren balatasının geliştirilmesini araştırmışlardır. Kspe, 100, 150, 250, 350 ve 710 µm'lik elek boyutlarında elenmiştir. Fren balatası üretiminde elek kspesi %70 kspe - %30 reçine oranında sıkıştırma kalıplama ile kullanılmıştır. Yaptıkları çalışmada mikroyapı analizi, sertlik, basıncı dayanımı, yoğunluk, alev direnci, su ve yağ emme özelliklerini incelemişlerdir. Mikro yapı, kspede reçinenin düzgün dağılımını ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçları, ticari fren balatası (asbest bazlı) ve hurma çekirdeği kabuğu bazlı alternatif formülasyon fren balatası ile karşılaştırmışlar, sonuçların yakın bir uyum içinde olduğunu gözlemlemişlerdir. 100 µm elek dereceli kspe numunelerin daha iyi özellikler sergilediğini gözlemlemişlerdir. Üretilen numunelerin basıncı dayanımı, sertlik ve yoğunluklarının elek derecesi arttıka azaldığı, elek derecesi arttıka yağ emmesi, su emmesi, aşınma oranı ve kömürleşme yüzdesi arttığını belirtmişlerdir. Bu araştırmada, kspenin %70 ve %30 reçine bileşimine sahip 100 µm elek dereceli kspe kullanılarak fren balatası imalatında asbestin yerine etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Adeyemi vd. (2016), karıştırılmış tarımsal atık malzemelerden (kakao çekirdeği kabukları, mısır kabuğu ve hurma çekirdeği kabukları) oluşan kompozitten otomotiv fren balataları üretmişlerdir. Partikül boyutu 300 µm olan dolgu maddeleri kullanmışlar ve bağlayıcı malzeme epoksi reçinedir. Test numunelerini fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklerini değerlendirmek için analiz etmişlerdir. Numunelerin analizi, formülasyonda matris ağırlık yüzdesi arttıka aşınma direncinin, sürtünme katsayısının ve su emmesinin azaldığını, çekme dayanımı ve basıncı dayanımının arttığını göstermiştir. Ancak, sertlik, yoğunluk, ısıl iletkenlik ve yağ emme, matris içeriği ile eşit olmayan bir şekilde değişmiştir. Bu araştırmada incelenen karıştırılmış tarımsal atık malzeme (kakao çekirdeği kabukları, mısır kabuğu ve hurma çekirdeği kabukları) bazlı kompozitin performansı geleneksel model ve benzer araştırmalarda geliştirilen diğer modellerle karşılaştırıldığında, sürtünme malzemelerinde asbeste alternatif olarak etkin bir şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Sugözü (2015: 166-177), sürtünme direnci ve aşınma dayanımının artmasını sağlamak için yaptığı çalışmada balata malzemesi seçiminde maun cevizini kullanmıştır. Deneysel formülasyonları %5, %10 ve %15 oranlarında maun cevizi tozu içeriğine sahip olan 3 farklı numune üretmiştir. Numunelere değişken oranlarda maun cevizi tozu eklemesi yapılarak toz metalürjisi yöntemi ile üretim sağlanmıştır. Üretilen balataların sürtünme-aşınma karakteriştiği üzerine incelemeler yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucuna göre, en kararlı sürtünme katsayımı 0,48 ile sürtünme ve ara yüzey sıcaklığının artışına bağlı olarak % 10 maun cevizi tozu katkılı numunenin verdiğini belirtmiştir. Test sonucunda en fazla aşınmayı, kütlece %10

katkılı numunede, en az aşınmayı ise %15 katkıli numunede gözlemlemiştir. Sabit hızda uygulanan deneylerde asbest katkısız, maun cevizi tozunun sürtünme malzemelerinin özelliklerini iyileştirdiğini belirtmiştir. Ayrıca %5 ve %10 katkıli numunelerden yararlı sonuçlar alınması, balata içeriğine %5 ile %10 arasında maun cevizi tozu eklenmesinin uygun olduğunu göstermiştir.

Sugözü ve Kahya (2018: 115-118), bir atık ürün olan kızılçam kozalağını reçineli yapısından dolayı bağlayıcı malzeme olarak değerlendirmişlerdir. Kızılçam kozalakları öğütülerek toz haline getirilmiştir. Farklı oranlarda balata içeriğine ilave edilerek 3 farklı numune üretilmiştir. Tüm numuneler için artan kızılçam kozalağı tozu ile spesifik aşınma oranı ve yoğunluğunun arttığını belirtmişlerdir. Deneysel sonuçlarda, kızılçam kozalağı tozunun kullanılmasıyla sürtünme tabakasının genel performansının önemli ölçüde iyileştiğini gözlemlemiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte, daha hızlı difüzyon nedeniyle fren balatasındaki bileşenlerin de etkilendiğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, kızılçam kozalağı tozunun fren balataları için bağlayıcı olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Akpınar vd. (2011), içerdiği yüksek reçine kapasitesini göz önünde bulundurarak, karaçam kozalağının maun cevizi tozuna alternatif olması amacıyla fren balatasında sürtünme tozu olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Modifiye işleminde maun cevizine uygulanan sıcak yağ metodu kullanılmıştır. Kozalak kırılma bir yapıya sahip hale geldikten sonra kurutma ve öğütme işlemi yapılmıştır. Eleme işleminden sonra karaçam kozalak tozu balata içeriğinde sürtünme tozu olarak kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Yapılan çalışmada kütle oranları %5, %10, %15, %20 ve %25 olan, karaçam kozalağı katkıli 5 numune ve 5 adet maun cevizi tozu katkıli numune üretilmiştir. Üretilen numunelerin, sürtünme katsayısı, aşınma direnci ve yük-zaman ile oluşan sıcaklıkları incelenmiştir. Uygulanan deneyler sonucunda, en yüksek sürtünme katsayısı performansının %10 karaçam kozalağı katkıli fren balatası numunesinde görülmesine karşın en yüksek aşınma miktarının da yine bu numunede olduğunu belirtmişlerdir. En düşük aşınma miktarının %25 maun cevizi tozu katkıli numunede görüldüğünü ve maun cevizi tozu miktarı artışının aşınma oranını azalttığını gözlemlemiştir. Üretilen numune balataların, standartlarda öngörülen aşınma ve sürtünme katsayısı değerleri arasında kaldığı ve karaçam kozalağı katkıli balataların, otomotiv fren balatalarında kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır.

Keskin (2019), zeytin çekirdeği tozunu kullanarak balatanın aşınma özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Ağırlıkça %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında zeytin

çekirdeği tozu eklenerek 5 farklı kompozisyon oluşturmuştur. Ticari bir balatadan alınan örneklere yoğunluk, sertlik, pin-on disk aşınma testleri uygulamış ve sonuçları karşılaştırmıştır. Çalışma sonunda, zeytin çekirdeği tozunun oranı arttıkça sertlik ve yoğunluk değerlerinin azaldığını gözlemlemiştir. Sertlik ve yoğunluk değerleri azaldıkça sürtünme katsayısının arttığı sonucuna ulaşmıştır. Hızın artmasıyla birlikte aşınma oranı ve sürtünme katsayısının arttığını, basıncın artmasıyla birlikte aşınma oranı ve sürtünme katsayısının azaldığını tespit etmiştir. Zeytin çekirdeği tozu içeren numunelerin aşınma oranının, ticari fren balatasının aşınma oranından daha yüksek çıktığını gözlemlemiştir. Fren balatası üretiminde takviye malzemesi olarak zeytin çekirdeği tozunun kullanılabilir olduğu sonucunu elde etmiştir.

Adegbola vd. (2017), fren balatasında yeni bir sürtünme malzemesi olarak inek kemiklerini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada, artan inek kemiği partikül boyutları ile aşınma oranının arttığını belirtmişlerdir. Elde ettikleri sürtünme katsayısının, sürtünmeli fren balatası için önerilen standart dahilinde olduğunu açıklamışlardır. Üretilen numunelerin sertlik ve yoğunluklarının inek kemiği partikül boyutlarındaki artışla azaldığını, inek kemiği partikül boyutu arttıkça yağ, su emdirme, aşınma oranı ve kömürleşme yüzdesinin arttığını gözlemlemiştir. Çalışmanın sonucunda, inek kemiği partiküllü kompozit malzemelerin fren balatalarının üretiminde asbest yerine uygun bir ikame olarak kullanılabilceği ifade edilmiştir.

Singaravelu vd. (2019: 6502-6523), fren balatalarının geliştirilmesinde deniz ürünleri endüstrisinin katı atıklarından biri olan yengeç kabuğunun kullanımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, dolgu maddesi olarak kimyasal işlem görmüş yengeç kabuğu tozu, ısıtılmış işlem görmüş yengeç kabuğu tozu ve yengeç kabuğu tozu içermeyen numuneye sahip üç farklı fren balatası üretilmiştir. Geliştirilen kompozitler endüstriyel standartlara göre fiziksel, kimyasal, termal, mekanik özellikleri açısından test edilmiştir. Kimyasal olarak işlenmiş yengeç kabuğu tozu bazlı sürtünme kompozitleri için aşınma direncinin, diğerlerine göre daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Termal olarak işlenmiş tozun ve sürtünme kompozitinin, diğerlerine kıyasla daha iyi termal stabilite gösterdiğini belirtmişlerdir. Yengeç kabuğu tozunun, sürtünme malzemeleri formülasyonlarında dolgu maddesi olarak etkin bir şekilde kullanılabilceği sonucuna varmışlardır.

Edokpia vd. (2014), asbestin yerine yumurta kabuğu parçacıklarını ve bağlayıcı olarak Arap zambını kullanarak ürettikleri çevre dostu fren balatalarının özelliklerinin incelenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Fren balatası formülasyonu, Arap zambının ağırlıkça %3 ila %18 arasında değiştirilmesiyle üretilmiştir. Geliştirilen fren balatası numunelerinin basınç dayanımı,

sertliği ve yoğunluğunun yumurta kabuğu partiküllerinde Arap zamkının ağırlıkça %3'ten %18'e çıkarılmasıyla arttığını, yağ emme, su emme, ağınma hızının azaldığını gözlemlemişlerdir. Ağırlıkça %18 Arap zamkını içeren balata formülasyonunun en iyi özellikleri verdiğini ve ticari fren balatası ile olumlu şekilde karşılaştırıldığını belirtmişlerdir. Bunun sonucunda  evre dostu fren balatası olarak üretimde kullanılabilir olduğunu incelemişlerdir.

Bala vd. (2016: 95-108), toz haline getirilmiş inek toynaklarını kullanarak otomobil fren balatasının geliştirilmesi için bir araştırma yapmıştır. Yapılan çalışmada, epoksi reçine, baryum sülfat, grafit ve alüminyum oksit ile birlikte toz haline getirilmiş inek toynakları kullanılarak asbestsiz fren balatası üretmişlerdir. Üretilen numunelerin basıncı dayanımı, sertlik, bağıl yoğunluk ve sürtünme katsayısının epoksi reçine yüzdesindeki artış ve toz haline getirilmiş inek toynaklarındaki azalma ile arttığını gözlemlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçların, ticari fren balataları ve diğer deneysel fren balataları formülasyonları ile olumlu bir şekilde karşılaştırıldığında, toz haline getirilmiş inek toynaklarının, fren balatası formülasyonlarında asbestin yerini almak için kullanılabilereğinin bir göstergesi olduğunu belirtmişlerdir.

## BÖLÜM III

### FREN SİSTEMLERİ

Fren sistemleri, araçlarda en kısa sürede kontrollü bir şekilde duruş sağlama, duran aracın hareket etmesini engelleme ve emniyetli frenleme gibi görevleri yerine getiren en önemli kısımdır. Frenleme sırasında aracın kinetik enerjisi sürtünmenin etkisiyle ısı enerjisine çevrilmektedir. Bu nedenle fren sistemlerinde kullanılacak malzemelerin seçimi oldukça önemlidir. İdeal olarak fren sistemlerini oluşturmak için kullanılan malzemeler iyi ısı iletkenlik, iyi korozyon direnci, düşük gürültü, düşük ağırlık, uzun dayanıklılık, sabit sürtünme, düşük aşınma oranı, iyi maliyet ve fayda oranı gibi kriterleri karşılamalıdır (Maluf vd., 2007: 149-158).

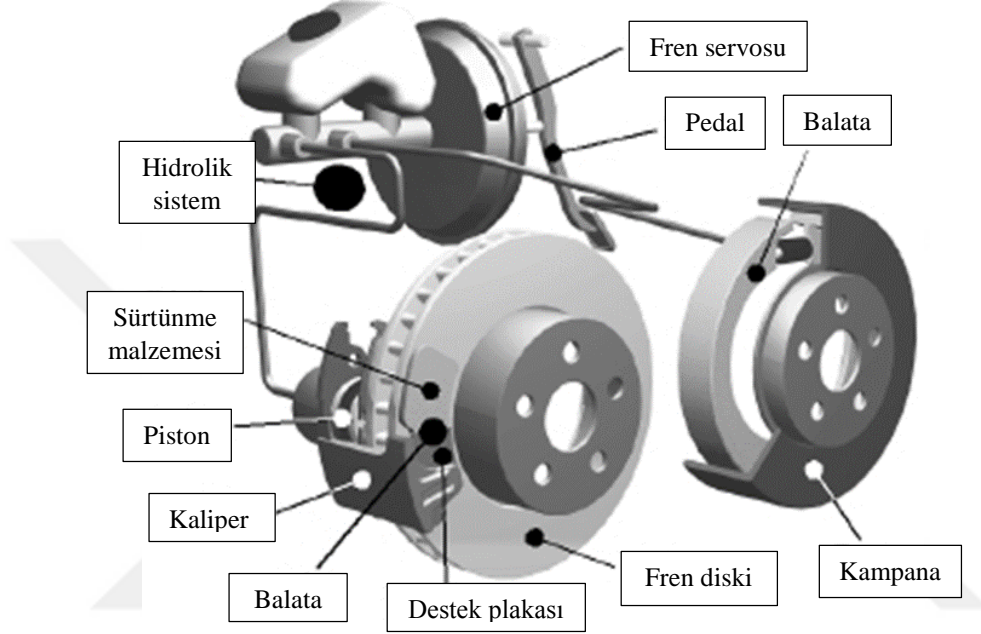
Taşıtlardaki fren sistemi kampanalı ve diskli olmak üzere iki çeşittir. Geçmiş yıllarda kampana frenlerin yaygın kullanımının yanı sıra günümüzde disk fren uygulaması daha çok tercih edilmektedir. Genelde ön tekerleklerde disk fren arka tekerleklerde ise kampana fren sistemi kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ve araçlardan yüksek performans beklentisi, disk frenlerin daha yaygın kullanımını sağlamıştır. Uzun yıllar diskler ön frenlerde kullanılmış olup, daha sonra modern araçlarda arka kampanaların yerine de kullanılmaya başlanmıştır. Disk fren sistemlerinin hafiflikleri, basit tasarımları ve daha iyi performans göstermeleri tercih edilmesindeki önemli faktörlerdir. Diskler tasarımları gereği kampanalara göre daha çabuk soğurlar ve bundan dolayı aşırı ısınmaya neden olan zor fren koşullarında daha başarılı olmaktadır. Çabuk soğumalarının nedeni ise havalandırma kanallarının bulunmasıdır. Tasarımları gereği suyu hemen savurup atarak havalandırma yönünden daha iyi imkan sağlamaktadır (Yavuzaslan, 2006). Şekil 3.2’de disk fren ve kampanalı fren gösterilmiştir.

#### 3.1. Kampana Fren Sistemleri

Fren kampanası, üstü düz olan silindir şeklinde bir fren sistemi parçasıdır. Kampanalı sistemde, fren tablası üzerine yerleştirilmiş fren balataları yer almaktadır. Hidrolik basıncın fren silindirlerine etki etmesiyle fren balataları kampana yüzeyine sıkıştırılarak frenleme işlemi uygulanmaktadır. Fren yapıldığında balatalar, kampananın iç yüzeyine sürtünerek tekerleklerin dönüşünde yavaşlama sağlamaktadır. Frenleme sırasında aracın hareket halinde olması nedeniyle meydana gelen kinetik enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Oluşan ısı kampananın hava ile temasta kalan dış yüzeyi tarafından havaya aktarılır ve ısının bir kısmı fren balataları üzerinde kalır (Yavuzaslan, 2006). Şekil 3.1 kampana fren balatalarını göstermektedir.



Şekil 3. 1. Kampana Fren Balataları



Şekil 3. 2. Disk Fren Ve Kampanalı Fren

**Kaynak:** Eriksson, 2000

### 3.2. Disk Fren Sistemleri

Disk fren sisteminde, frenleme kaliper ile balatalar arasındaki diskin karşıt kenarlardan sıkıştırılmasıyla sağlanmaktadır. Bu mekanizmada sürtünme oluşturularak dönme hızı yavaşlatılmaktadır. Tipik bir disk fren sistemi fren balatalarından, kaliperden ve diskten oluşmaktadır. Disk fren, aksel yönde hareket eden bir otomobilde kullanılan aksel mekanik fren türüdür. Frenler uygulandığında, fren balatalarının ve disk yüzeylerinin sürtünmesi büyük miktarda ısı üretmektedir. 400–500 C gibi bir sıcaklıkta kalabilmek için, fren diski ve fren balatası malzemeleri yüksek mekanik ve termal streslerle desteklenebilir. Ayrıca, yüzey çatlaması, sarsıntı ve sürtünme yüzeylerinin yüksek aşınmasını önlemek için üretilen ısının aktarılması zorunludur (Pranta vd., 2021: 1882-1890).

Disk fren sistemleri tasarım olarak daha basittir. Tasarımlarından dolayı kampanalara göre daha çabuk soğurlar ve bu nedenle aşırı ısınmaya karşı daha toleranslı sistemlerdir. Çabuk

soğumalarının sebebi havalandırma kanallarına sahip olmalarıdır. Kampanalarda ise havalandırma kanalları yoktur (Gümüş, 2012).

### **3.2.1. Disk Fren Elemanları**

#### **3.2.1.1. Kaliper**

Fren ana merkezinden gelen hidrolik basınç kuvveti ve üzerinde bulunan pistonun yardımıyla balataları disk yüzeyine bastırır. Kaliper pistonu, hidrolik basınç kuvvetiyle iki balatayı da diske doğru iterek frenleme etkisini oluşturmaktadır (Kurt, 2019).

#### **3.2.1.2. Disk**

Fren diskinin iki ana görevi bulunmaktadır. Bunlardan biri mekanik kuvvetin iletilmesi, diğeri ise çalışma sırasında üretilen ısının dağıtılmasıdır.

#### **3.2.1.3. Balatalar**

Aracın sürüş sırasında emniyetini sağlaması açısından fren balatalarına önemli bir görev düşmektedir. Kompozit bir malzeme olan balata, kendisi ve frenlemeye çalıştığı eş karşı yüzey arasındaki kaymayı kontrollü bir şekilde yavaşlatmak ve sonunda durdurmak amacıyla kullanılmaktadır (Sarıyerli Domaç, 2006). Şekil 3.3'te disk fren balatası gösterilmektedir.



**Şekil 3. 3. Disk Fren Balatası**

Fren balataları metalik fren balataları, karbon-karbon kompozitler ve organik polimerik (reçine bağlı) sürtünme malzemeleri olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılabilir. Organik sürtünme malzemeleri de asbest esaslı ve asbest içermeyen organik fren balataları olarak ikiye ayrılmaktadır (Bijwe, 1997: 378-396).

## **Balatalardan İstenilen Özellikler**

Sürtünme malzemelerinin kullanıma elverişli olması için, birçok çeşitli özelliği bir arada barındırması gerekmektedir. Sürtünme malzemelerinden iyi bir sürtünme performansı sağlaması için beklenen özellikler:

- Yüksek mekanik mukavemet
- Yüksek ısı direncine sahip olma
- Isıyı hızlı bir şekilde dağıtabilme
- Uzun ömürlü ve kararlı sürtünme performansına sahip olma
- İyi korozyon direnci
- Düşük gürültü seviyesi
- Zor şartlardan etkilenmeme
- Yüksek aşınma mukavemeti
- Karşı malzemede düşük aşınma
- İçerdiği malzemelerin sağlığa zarar vermemesi
- Çevre dostu olması
- Sürtünme davranışındaki değişimin az olması (Timur ve Kılıç, 2013: 10-14).

## BÖLÜM IV

### FREN SÜRTÜNME MALZEMELERİ

Balatalar genellikle birtakım farklı malzemenin bileşiminden oluşmaktadır. Bazen 20 veya 25'e kadar farklı bileşen kullanılmaktadır (Eriksson, 2000). Fren balatasının bileşenleri bağlayıcılar, takviye malzemeleri, sürtünme katkı malzemeleri ve dolgu malzemeleri olarak dört ana grupta sınıflandırılabilir.

#### 4.1. Bağlayıcılar

Bir bağlayıcının amacı, mekanik ve termal stresler altında fren balatalarının yapısal bütünlüğünü korumaktır. Bir fren balatasının bileşenlerini bir arada tutmalı ve bileşenlerinin parçalanmasını önlemelidir. Fren balataları için bağlayıcıların seçimi önemlidir, çünkü frenleme işlemi sırasında yapısal olarak her zaman bozulmadan kalmazsa, takviye edici lifler veya yağlayıcılar gibi diğer bileşenler parçalanacaktır. Bu nedenle yüksek ısı direncine sahip olması gerekir. Bağlayıcılar, dezavantajları işlevselliğini tehlikeye atmayacak şekilde uygulamaya özel olmalıdır (Chan ve Stachowiak, 2004: 953-966). Tablo 4.1'de bazı bağlayıcı malzemeler ve özellikleri gösterilmiştir.

Fenolik reçineler, yüksek sertlik, basınç dayanımı, orta derecede termal direnç, sürünme direnci gibi mekanik özelliklerin iyi bir kombinasyonunun yanı sıra düşük maliyeti nedeniyle sürtünme malzemelerinde sürekli bağlayıcı olarak kullanılmaktadır (Gurunath ve Bijwe, 2007: 1212-1219). Yüksek enerjili frenleme uygulamalarında, indüklenen sıcaklık, yüksek sıcaklık oksidasyonu yoluyla fenolik reçineyi parçalamaya yetecek kadar yüksek olabilir. Fenolik reçineler yaklaşık 450 °C'de karbonlaşır (Yesnik, 1996); bunun ötesindeki sıcaklıklarda, kömürleşerek ve buharlaşarak ayrışır (Chan ve Stachowiak, 2004: 953-966). Bu işlem, aşınma yüzeyindeki yoğunluğu azaltır ve gözenekliliği artırır. Ayrıca kompozit, aşınma yüzeyindeki yapısal bütünlüğünü kaybeder (Lampert vd., 1998). Kırılgan olmaları ve çok düşük darbe direncine sahip olmaları da fenolik reçinelerin önemli dezavantajları arasındadır.

Genellikle bağlayıcı malzeme olarak fenolik reçine tercih edilmesine rağmen sentetik reçineler ve maun cevizi kabuğu sıvısı bazlı fenolikler de kullanılabilir. Reçinelere lastik, epoksi gibi malzemeler takviye edilerek bazı özellikler kazandırılabilir (Sugözü, 2016).

**Tablo 4. 1.** Bağlayıcılar

Bağlayıcı	Avantajlar	Dezavantajlar
<b>Fenolik reçine</b>	Ucuz ve üretimi kolay	Kırılgan, düşük darbe dayanımı, yüksek derecede toksik, nispeten düşük sıcaklıklarda ayrışır (450 °C).
<b>COPNA reçinesi</b>	Grafit ile yüksek yapışma gücü; bu nedenle saf fenolik reçineden daha iyi aşınma direncine sahiptir.	Nispeten düşük sıcaklıklarda bozunur (450 ile 500 °C arasında).
<b>Silikonla modifiye edilmiş fenolik reçine</b>	Saf fenolik reçineden daha iyi darbe direnci; saf fenolik reçineden daha iyi ısı ve kimyasal direnç; geliştirilmiş su geçirmezlik	Baz hala fenolik ve oldukça zehirlidir.
<b>Siyanat ester reçinesi</b>	Yüksek ısı direnci, kimyasal olarak inert, titreşim sönümleyici	Kırılgan, düşük darbe direnci
<b>Epoksi ile modifiye edilmiş fenolik reçine</b>	Saf fenolik reçineden daha iyi ısı direnci	Baz hala fenolik ve oldukça zehirlidir
<b>Termoplastik poliamid reçine</b>	Aşınmaya dayanıklı; termal solma göstermez.	Fenolik reçineden üç kat daha düşük termal iletkenlik

**Kaynak:** Chan ve Stachowiak, 2004: 953-966.

#### 4.2. Takviye Malzemeleri (Güçlendiriciler)

Takviye malzemeleri balataya sağlamlık ve rijitlik gibi mekanik mukavemet özellikleri kazandırır. Termal kararlılık, aşınma direnci ve sürtünme özelliklerine de etki etmektedir. Çevreye zararlı etkisi bulunan asbest malzemesi yıllarca takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Asbestin yasaklanmasının sonucunda alternatif olarak farklı elyaf takviye malzemeleri ortaya çıkmıştır. Günümüzde fren balatalarında takviye malzemesi olarak metal (genellikle çelik yünü), aramid (kevlar), seramik, cam (cam yünü), mineral ya da diğer organik elyaflar (bor vb.) kullanılmaktadır. Tablo 4. 2’de bazı güçlendirici lifler ve özellikleri verilmiştir.

Asbest (amyant), lifli yapıda bulunan doğal bir mineraldir. Malzemeye eklendiğinde iyi derecede dayanıklılık sağlaması ve yüksek sıcaklıklarda kararlılığını koruyabilmesi sebebiyle asbest fren balatalarında takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Asbest, özelliklerinden dolayı fren balatalarının dışında endüstride farklı birçok alanda kendine yer bulmuştur.

Endüstriyel uygulamalarda kullanılabilen asbest liflerinin ana karakteristik özellikleri:

- Termal, elektriksel ve ses yalıtımları

- Yanmazlık
- Matris takviyesi (çimento, plastik ve reçineler)
- Adsorpsiyon kapasitesi (filtrasyon, sıvı sterilizasyon)
- Aşınma ve sürtünme özellikleri (sürtünme malzemeleri)
- Kimyasal atalet (asitler hariç) (Virta, 2002).

Malzeme olarak pek çok yararlı özelliği olmasına rağmen asbest maddesinin bulunduğu takdirde insan sağlığına ciddi zararlar verdiği anlaşıldığından dolayı kullanımı yasaklanmıştır.

**Tablo 4. 2.** Güçlendirici Lifler

Bileşenler	Avantajlar	Dezavantajlar
<b>Cam</b>	Yeterli termal esneklik (1430 °C'lik yüksek erime noktası, ancak yaklaşık 600 °C'de yumuşamaya başlayacaktır)	Kırılgan
<b>Metalik</b>	Termal olarak esnek çelik ve bakır, 1000 °C'den daha yüksek erime noktalarına sahiptir.	Büyük miktarlar aşırı rotor aşınmasına neden olabilir; paslanabilir.
<b>Aramid</b>	Ağırlık oranına iyi sertlik, mükemmel termal esneklik, iyi aşınma direnci	Yumuşak, diğer lifler olmadan kullanılamaz.
<b>Potasyum titanat (bir tür seramik)</b>	Termal olarak esnek (yaklaşık 1371 °C'lik yüksek erime noktası); çok sert—iyi aşınma direnci	Sağlık tehlikesi
<b>Sepiyolit</b>	Termal olarak esnek (yaklaşık 1550 °C'lik yüksek erime noktası); sıvı izlerini emebilir.	Potansiyel sağlık tehlikesi
<b>Seramik</b>	Termal olarak esnek (yaklaşık 1700–2040 °C yüksek erime noktası); iyi sertlik-ağırlık oranı	Kırılgan

**Kaynak:** Chan ve Stachowiak, 2004: 953-966.

### 4.3. Sürtünme Katkı Malzemeleri

Sabit sürtünme özellikleri sağlamak ve hem balata hem de diskin aşınma oranlarını kontrol etmek için eklenir. Grafit ve farklı metal sülfidler gibi katı yağlayıcılar, öncelikle yüksek sıcaklıklarda sürtünme katsayısını stabilize etmek için kullanılır. Aşındırıcı parçacıklar, tipik olarak alümina ve silika, hem sürtünme katsayısını hem de disk aşınmasını artırır. İkincisinin amacı, demir oksitleri ve diğer istenmeyen yüzey filmlerini diskten çıkararak daha iyi tanımlanmış bir sürtünme yüzeyi sağlamaktır (Eriksson vd., 2002: 26-36). Tablo 4. 3'te bazı sürtünme katkı malzemeleri ve özellikleri verilmiştir.

**Tablo 4. 3.** Sürtünme Katkı Malzemeleri

<b>Sürtünme Katkı Maddeleri</b>	<b>Özellikler</b>
<b>Grafit</b>	Doğal veya sentetik formlarda ve pul veya toz halinde bulunan yaygın olarak kullanılan yağlayıcıdır. Kendi kendini idame ettiren bir yağlayıcı tabaka oluşturabilir.
<b>Metal Sülfürler</b>	Grafitten daha düşük iletkenlik ile iyi yağlama özellikleri; örnekler arasında antimon/kalay/bakır/kurşun sülfürler bulunur.
<b>Metal oksitler</b>	Metal oksitler, yüksek erime sıcaklıklarına ve yüksek sertliğe sahip olduklarından dolayı fren balata malzemelerinde sürtünme düzenleyiciler olarak kullanılmaktadır (Toros, 2011).

**Kaynak:** Chan ve Stachowiak, 2004: 953-966.

#### 4.4. Dolgu Malzemeleri

Dolgu maddeleri balatalarda esas olarak maliyeti düşürmek ama aynı zamanda hacim doldurmak ve üretilebilirliği artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Gerçek dolgu maddesi seçimi, sürtünme malzemesinin türü kadar sürtünme malzemesindeki belirli bileşenlere de bağlıdır. Örneğin, çok fazla frenleme gürültüsü üreten metalik bir balata, baryum sülfattan (ısı stabilitesi) daha fazla maun cevizi ve mika (gürültü bastırıcılar) gibi dolgu maddeleri gerektirecektir. Bu nedenle kullanılacak özel dolgu, sürtünme malzemesinin bileşenlerine bağlıdır (Chan ve Stachowiak, 2004: 953-966). Maun cevizi tozu organik olarak kullanılan bir dolgu malzemesidir. Diğer dolgu maddeleri ise barit, baryum sülfat, mika, kalsiyum karbonat ve vermikülit gibi malzemelerdir. Tablo 4.4’te bazı dolgu maddeleri ve özellikleri verilmiştir.

**Tablo 4. 4.** Dolgu Malzemeleri

<b>Dolgu Malzemesi</b>	<b>Özellikler</b>
<b>Baryum sülfat(Barit)</b>	Sürtünme malzemesine ısı stabilitesi verir, sürtünme özelliğine yardımcı olur.
<b>Kalsiyum karbonat</b>	Sürtünme malzemesine ısı kararlılığı kazandırır.
<b>Mika</b>	Düşük frekanslı fren gürültüsünü bastırır, ancak sürtünme malzemesinde katmanlar arası ayrılmaya neden olur.
<b>Vermikülit</b>	Düşük frekanslı fren gürültüsünü bastırır, ancak düşük ısı direncine sahiptir.
<b>Alkali metal titanatlar</b>	Sürtünme katsayısının kararlılığını destekler.
<b>Molibden trioksit</b>	Yüksek sıcaklık koşullarında sürtünme balatasının termal solmasını ve çatlamasını önler.
<b>Maun cevizi tozu</b>	Fren gürültüsünü bastırır ancak sürtünme malzemesine iyi yapışmaz.
<b>Kauçuk tozu</b>	Fren gürültüsünü bastırır ancak sürtünme malzemesine iyi yapışmaz.

**Kaynak:** Chan ve Stachowiak, 2004: 953-966.

## BÖLÜM V

### TOZ METALURJİSİ

Toz metalurjisi (T/M), metal veya seramik tozların üretilerek mekanik ve termik uygulamalarla birleştirilmesi sonucu parça haline getirilmesi işlemidir. Otomotiv endüstrisinde kullanılan parçaların bir kısmının üretim yönteminde tamamen T/M uygulanmaktadır. T/M ürünlerinin özellikleri; toz tanelerinin üretim metodu, bileşimi, toz boyutu ve şekli, yağlayıcı tipi, pres basıncı, sinterleme sıcaklığı, sinterleme süresi, bitirme işlemleri gibi vb. pek çok değişkene bağlıdır (Güven, 2011: 22-28). Toz metalürjisi yönteminde kullanılan tozlar genel olarak metalik olmakla beraber organikler ve minerallerden oluşabilmektedir (Köse, 2019).

Fren balatalarının üretiminde toz metalurjisi yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemde kompoziti oluşturacak tozların karıştırılıp, ön şeklinin verilmesi (soğuk presleme) işleminin ardından ısı işlem prosesinin tamamlanmasıyla balata üretimi sağlanmaktadır.

#### 5.1. Toz Metalurjisi Yöntemi

##### 5.1.1. Tozların Tane Boyut Ölçümü

Tozların tane boyutunu belirlemek için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Toz parçacıklarının tamamı aynı boyutta değildir. Ortalama tane boyutu özelliğinden yararlanarak parçacık boyutu belirlenmektedir. Tozun parçacık geometrisi girift yapıdaysa, parçacık boyutu ölçüm yöntemleri de değişkenlik gösterir (Köksal, 2021).

Toz tane boyutunu belirlemede en yaygın olarak kullanılan, bir dizi elek ile yapılan elek analizi yöntemidir. Tozlar meş sayısı (inceliği) giderek azalan bir dizi elekten geçirilerek ayrılırlar. Elek yönteminde toz parçacığının gerçek boyutu tam ölçülemez, tozların tane boyutu genellikle iki meş arası olarak ifade edilir.

##### 5.1.2. Tozların Karıştırılması

Toz partiküllerinin homojen olması karıştırma işleminin esas amacıdır. Üretilmesi planlanan parçanın performansını yükseltmesinden dolayı farklı yoğunluk, boyut ve formdaki toz partiküllerinin homojen olarak karışmaları önemli bir işlemdir ( Köksal, 2021). Sıkıştırma ve sinterleme işlemlerinden de iyi sonuçlar elde etmek için tozların homojen hale getirilmesi gerekmektedir.

### 5.1.3. Tozların Preslenmesi

Karıştırma işleminden sonra homojen olarak dağılan toz partiküllerine istenilen şekli vermek için bir kalıp içerisinde presle uygulanan sıkıştırma işlemidir.

**Soğuk Presleme:** Belirli bir basınç altında, herhangi bir ısıl işlem olmadan malzemeye ön şeklini vermek amacıyla uygulanan işlemdir.

**Sıcak Presleme:** Kompozit malzemenin yoğunluğunu ve mukavemetini artırmak için uygulanır. Bu işlemde kalıp presleme öncesi ısıtılır. Isı ile birlikte karışımı oluşturan parçacıklar birbirine yapışır (Köse, 2019).

### 5.1.4. Tozların Sinterlenmesi

Kompozit karışımı oluşturan preslenmiş tozlara yüksek ısı uygulayarak parçacıkların bağlanmasını sağlamak, mukavemet ve sertliğini artırmak ve malzeme özelliklerini iyileştirmek için uygulanan bir ısıl işlemdir.

Toz metalurjisinde bu aşamalar dışında bazı durumlarda malzeme üzerinde iyileştirmelere gerek duyulabilir. Bu nedenle gözenek doldurma, yağ emdirme, kaplama gibi vb. ek işlemler de uygulanabilir.

## BÖLÜM VI

### MATERYAL VE YÖNTEM

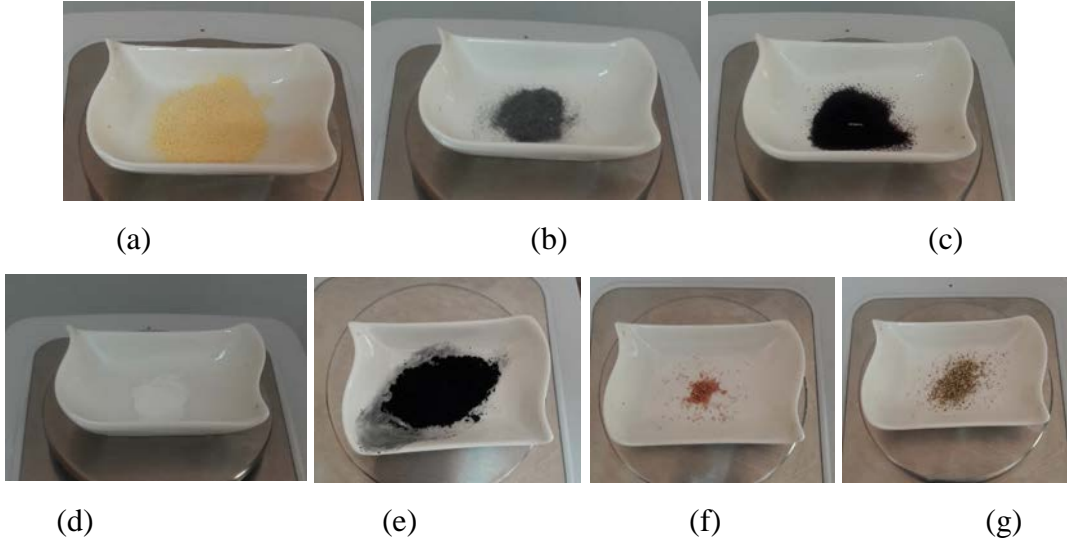
#### 6.1. Numune Üretimi

Deneyisel çalışmalar için hazırlanan numune kompozisyonları ve üretim parametreleri belirlenirken literatür araştırması yapılmıştır. Balata kompozitlerinin üretiminde toz metalurjisi tekniği uygulanarak asbest içermeyen bileşenler kullanılmıştır. Balata kompozisyonu içerisinde mısır kabuğu, keten, kenevir, hindistan cevizi ve bambu organik atık ürünlerinden elde edilen toz malzemeler kullanılarak 16 adet farklı içerikli balata numunesi üretilmiştir.

##### 6.1.1. Numune İçeriği

Fren balata numuneleri bağlayıcı, takviye malzemesi, sürtünme düzenleyiciler, aşındırıcı malzeme ve katı yağlayıcı ile birlikte farklı oranlarda eklenen organik atık içeriklerinden hazırlanmıştır.

Numune içeriğinde kullanılan toz malzemeler Şekil 6.1’ de gösterildiği gibidir.





(h)

**Şekil 6. 1.** Numune Kompozisyonunda Kullanılan Malzemeler: (a) Fenolik reçine, (b) Çelik yünü, (c) Maun cevizi(cashew) tozu, (d) Alümina, (e) Grafit, (f) Bakır talaşı, (g) Pirinç talaşı, (h) Barit

Şekil 6.2'de gösterilen mısır kabuğu (M), keten (KT), kenevir (KN), hindistan cevizi (H) ve bambu (B) bu araştırmada katkı malzemesi olarak kullanılmıştır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



**Şekil 6. 2.** Numune Kompozisyonunda Kullanılan Organik Atık Malzemeler  
(a) Mısır kabuğu, (b) Keten, (c) Kenevir, (d) Hindistan cevizi, (e) Bambu

Balata içeriğinde bulunan her malzemenin balata üzerinde farklı işlevi bulunmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan toz malzemelerin balata kompozisyonu içerisindeki işlevleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

**Tablo 6. 1.** Numune Üretiminde Kullanılan Malzemelerin İşlevleri

Malzeme	İşlev
Fenolik Reçine	Bağlayıcı malzeme (yapıştırıcı)
Çelik Yünü	Takviye malzemesi (elyaf)
Maun Cevizi Tozu	Sürtünme düzenleyici
Alümina	Aşındırıcı (Abrazif)
Grafit	Katı yağlayıcı
Bakır Talaşı	Sürtünme düzenleyici
Pirinç Talaşı	Sürtünme düzenleyici
Barit	Dolgu malzemesi

### 6.1.2. Numunelerin Formülasyonunun Belirlenmesi

Deneylerde kullanılan malzeme miktarlarının belirlenmesinde kütleli oran esas alınmıştır. Numuneler, dört farklı oranda (% 0, %5, %10 ve %15) organik atık tozu eklenerek üretilmiştir. Balata numunelerini oluşturan malzemelerin kütleli oranları Tablo 6.2’de verilmiştir.

**Tablo 6. 2.** Balata Numunelerini Oluşturan Malzemelerin Miktarları (% Kütleli)

NUMUNE KODLARI	MALZEMELER									TOPLAM
	Fenolik Reçine	Çelik Yünü	Maun Cevizi (Cashew)	Alümina	Grafit	Bakır Talaşı	Pirinç Talaşı	Organik Atık Tozu	Barit	
<b>R</b>	20	10	10	10	5	5	5	0	35	100
<b>M-5</b>	20	10	10	10	5	5	5	5	30	100
<b>M-10</b>	20	10	10	10	5	5	5	10	25	100
<b>M-15</b>	20	10	10	10	5	5	5	15	20	100
<b>KT-5</b>	20	10	10	10	5	5	5	5	30	100
<b>KT-10</b>	20	10	10	10	5	5	5	10	25	100
<b>KT-15</b>	20	10	10	10	5	5	5	15	20	100
<b>KN-5</b>	20	10	10	10	5	5	5	5	30	100
<b>KN-10</b>	20	10	10	10	5	5	5	10	25	100
<b>KN-15</b>	20	10	10	10	5	5	5	15	20	100
<b>H-5</b>	20	10	10	10	5	5	5	5	30	100
<b>H-10</b>	20	10	10	10	5	5	5	10	25	100
<b>H-15</b>	20	10	10	10	5	5	5	15	20	100
<b>B-5</b>	20	10	10	10	5	5	5	5	30	100
<b>B-10</b>	20	10	10	10	5	5	5	10	25	100
<b>B-15</b>	20	10	10	10	5	5	5	15	20	100

### 6.1.3. Üretim Prosesi

Deneylerde kullanılan balata numunelerinin üretiminde öncelikle balata içeriğini oluşturan malzemelerden biri olan organik atıklar öğütülerek toz haline getirilmiştir. Şekil 6.3'te öğütülen organik atık görülmektedir.



Şekil 6. 3. Öğütme İşlemi

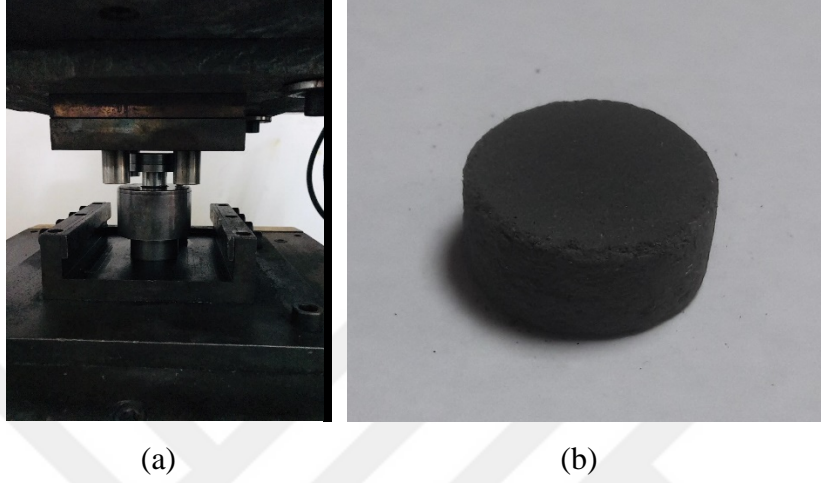
Daha sonra eleme yöntemi kullanılarak toz haline getirilen atık malzemelerin tane boyutları Şekil 6.4'te gösterilen elek sarsma cihazı ile belirlenmiştir. Malzemelerin tane boyutu 45 (355  $\mu\text{m}$ ), 75 (196  $\mu\text{m}$ ), 125 (120  $\mu\text{m}$ ) olarak üç farklı değerde belirlenmiştir.



Şekil 6. 4. Eleme Yöntemiyle Tane Boyutu Belirlenmesi

Balata içeriğini oluşturan her malzemenin miktarını belirlemek için 0.01 g hassasiyetinde terazi kullanılmıştır. Tartılan malzemeler karıştırılmak üzere toz karıştırma işleminin uygulanacağı kaba aktarılmıştır. Karışımın homojenliğini sağlamak için numune

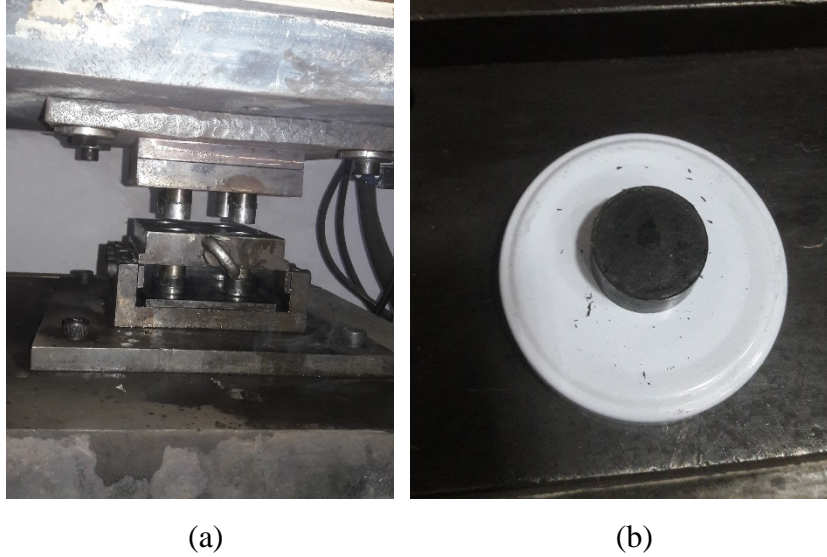
içeriği 10 dakika boyunca manuel olarak karıştırılmıştır. Elde edilen toz karışımı, Şekil 6.5 (a)'da gösterilen 25.4 mm çapındaki soğuk pres kalıbına yerleştirilerek oda sıcaklığında, 80 bar basınç altında, 2 dakika süresince preslenmiştir. Şekil 6.5 (b)'de soğuk presleme işlemi sonrasında kalıptan çıkan numune gösterilmiştir.



**Şekil 6. 5.** (a) Hidrolik Pres ile Soğuk Presleme İşlemi (b) Soğuk Presleme İşlemiyle Ön Şekli Oluşan Numune

Soğuk presleme işlemiyle ön şeklini almış olan numunelerin kalıptan çıkarılması ve sıcak pres kalıbına yerleştirilmesi sırasında malzeme, dağılma ve parçalanma gibi durumlara karşı hassas olduğundan dolayı dikkatli davranılmıştır. Basınç ve sıcaklık değerlerinin kontrolü sağlanabilen hidrolik presin tek eksen boyunca uyguladığı basınç sayesinde kalıba doldurulan toz karışımı preslenerek sıkıştırılmıştır. Toz karışımı doldurulduktan sonra, üst baskı plakası ile basma uygulanmış ve sıkıştırılmış karışım kalıbın dikey yönde ters çevrilerek tekrar basılmasıyla çıkartılmıştır.

Sıcak presleme aşamasında numuneler Şekil 6.6 (a)'da gösterilen hidrolik pres yardımıyla 10 dakika boyunca 130 bar basınca maruz bırakılmıştır. Sıcak pres kalıpları elektrik enerjisi kullanılarak, alt ve üst tablalardan elde edilen sıcaklık 150 °C olana kadar ısıtılmıştır. Şekil 6.6 (b)'de sıcak presleme işlemi sonrasında kalıptan çıkan numune gösterilmiştir. Sıcak presleme işlemi uygulandıktan sonra numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.



**Şekil 6. 6.** (a) Hidrolik Pres ile Sıcak Presleme İşlemi (b) Sıcak Presleme İşlemi Sonucu Oluşan Numune

Üretilen numunelerin yüzeyindeki pürüzlü durumu gidermek ve deneylerden daha sağlıklı sonuçlar alabilmek için düzgün yüzeyler elde edilene kadar zımparalama işlemi uygulanmış olup, numuneler teste hazır hale getirilmiştir. Zımparalama işlemi tamamlanan numuneler Şekil 6.15'de gösterilen pabucun 2 mm derinliğindeki orta kısmında bulunan alana sıkı geçme şeklinde yerleştirilmiştir.

## 6.2. Numune Üretiminde Kullanılan Materyaller

### 6.2.1. Elek Sarsma Cihazı

Numune içeriklerinde kullanılan organik atık malzemelerin tane boyutu dairesel ve düşey hareket sistemli olan, 60 dak'ya kadar ayarlanabilir zaman sayacı bulunan Şekil 6.7'de gösterilen Jeotest marka elek sarsma cihazı ile belirlenmiştir (Şekil 6.7). Cihazda 45 (355  $\mu\text{m}$ ), 75 (196  $\mu\text{m}$ ), 125 (120  $\mu\text{m}$ ), 150 (100  $\mu\text{m}$ ), 180 (85  $\mu\text{m}$ ) ve 300 (48  $\mu\text{m}$ ) mesh olmak üzere 6 farklı elek bulunmaktadır.



**Şekil 6. 7. Elek Sarsma Cihazı**

### **6.2.2. Hassas Terazi**

Bu çalışmada, üretimden önce balata içeriğini oluşturan tozların kütlelerinin ve üretilen numunelerin deney öncesi ve sonrası aşınma miktarının belirlenmesi için kütlelerinin ölçümü Şekil 6.8'de gösterilen DESİS marka EHB model 0.01g hassasiyetindeki terazi kullanılarak yapılmıştır.



**Şekil 6. 8. Hassas Terazi**

### **6.2.3. Toz Karıştırma Kabı**

Toz malzemelerin karışımını sağlamak için numuneleri oluşturan malzemeler hassas terazide tartıldıktan sonra toz kabına aktarılmıştır. Toz karıştırma işlemi manuel olarak uygulanmış olup homojen bir karışım sağlanmıştır.

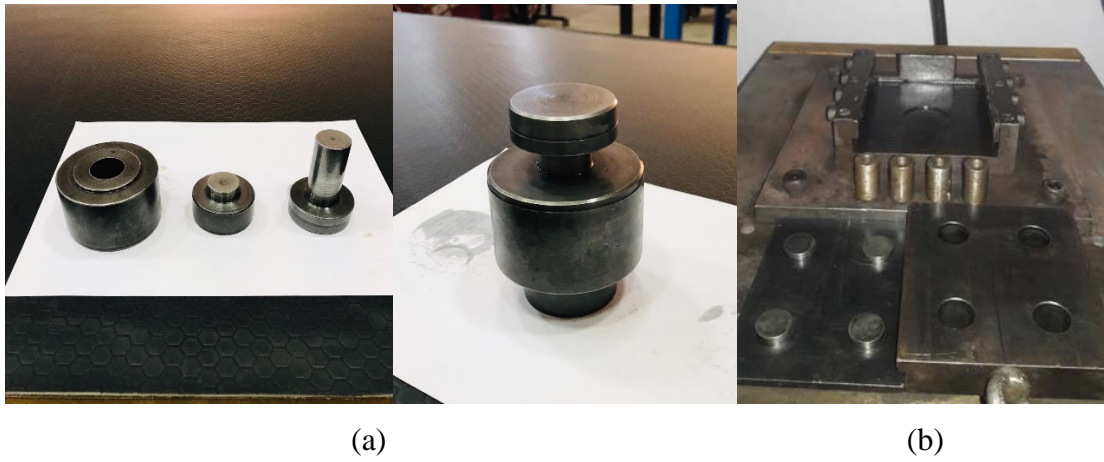
#### 6.2.4. Hidrolik Pres Ve Kalıplar

Hidrolik presler malzemeleri ezme, sıkıştırmak, yapıştırma ve kalıplaştırmak gibi vb. amaçlarla kullanılmaktadır. Hidrolik preslerde, elektrik motoru yardımıyla çalışan pompalar vasıtasıyla sisteme basınçlı yağ basılır. Çeşitli yön denetim valfleri ve basınç ayar regülatörleri ile denetlenerek basılan yağ, silindirlere iletilir ve silindirler doğrusal bir şekilde ileri geri hareket ederler. Bu işlem mekanik enerjiyi meydana getirmektedir. Hareketlenme sonucu silindirlere bağlı olan hareketli kafa aşağı yukarı hareket etmektedir. Presin aşağı yukarı hızlarında ve tonajında istenen değerlerde ayarlama yapılabilmektedir. Hidrolik pres Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6. 9. Hidrolik Pres

Pres üzerinde bulunan tablalar tüm yüzeyde hassas ısı dağılımı sağlamaktadır. Böylece malzemeler ısıtılarak kalıp içerisinde şekillendirilmektedir. İşlem görece malzemeler pres kalıpları içerisine yerleştirilir ve belirlenen basınç ve sıcaklık ayarları yapılarak presleme işlemi uygulanır. Şekil 6.10 (a)'da numune fren balatalarının üretiminde kullanılan soğuk pres, Şekil 6.10 (b)'de sıcak pres kalıpları gösterilmiştir.



**Şekil 6. 10.** (a) Soğuk Pres Kalıbı (b) Sıcak Pres Kalıpları

### 6.3. Testler İçin Kullanılan Cihazlar

Bu çalışma, organik atık malzemelerin otomotiv fren balatalarında kullanımının frenleme performansına etkilerinin araştırılması üzerine yapılmıştır. Testlerde Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında bulunan sürtünme test cihazı, elek sarma cihazı, hassas terazi, toz karıştırma cihazı, soğuk-sıcak presleme kalıpları, hidrolik pres, sertlik ölçüm cihazı, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ve İskenderun Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (İSTE-BTM) bulunan numune kaplama cihazı, EDS (Enerji Dağılım Spektroskopisi) ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) cihazı kullanılmıştır.

#### 6.3.1. Sürtünme Test Cihazı

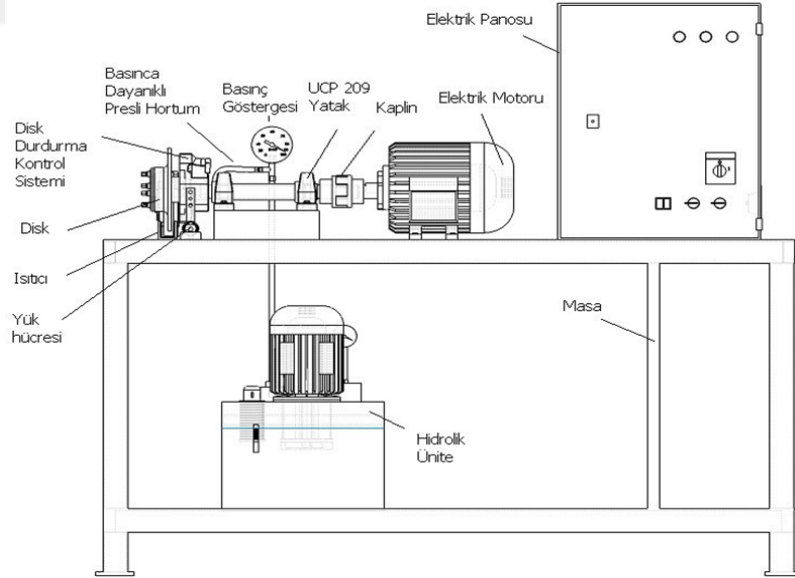
Deneylerde, numunelerin sürtünme katsayısı-zaman karakteristiklerinin belirlenmesi için Şekil 6.11'de gösterilen sürtünme katsayısı, fren kuvveti ve balata yüzey sıcaklığı gibi değerleri deney esnasında bilgisayar ortamına aktarabilen sürtünme ve aşınma test cihazı kullanılmıştır. TS 555 (1992: Akt. Sugözü, 2016) ve TS 9076'da (1991: Akt. Sugözü, 2016) belirtilen şartlara uygun olarak, üretilen balataların sürtünme katsayısı, aşınma dayanımı gibi özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler Şekil 6.11'de gösterilen özel tasarım bir deney düzeneğinde yapılmıştır (Sugözü, 2016).

Deneylerde, test cihazının panelinde bulunan basınç kısmına girilen değerler ile hidrolik ünite sisteme basınç uygulayarak, balata takılı fren pabuçlarını diske doğru iter. Test cihazı kontrol paneline girilen devir sayısı değeri doğrultusunda disk dönmeye başlar. Diskin dönmesi

sırasında fren balatasına uygulanan basınçtan oluşan sürtünme kuvveti balatanın da disk ile birlikte dönme eğilimini artırır. Bu döndürme kuvveti elektronik olarak yük hücresi vasıtasıyla ölçülmektedir. Numune balata ile diskin bu dairesel dönme hareketi, yük kolunun ucuna yerleştirilmiş olan bir mil ile yük hücresinin yük algılama ucundan algılanan değerler, fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneline aktarılmaktadır. Böylece dönme sırasında balata ile fren diski arasındaki sürtünme kuvveti değeri elde edilmektedir. Fren balatası test cihazının şematik görünüşü Şekil 6.12'de gösterilmiştir (Sugözü, 2016).



Şekil 6. 11. Sürtünme Test Cihazı



Şekil 6. 12. Fren Balatası Deney Cihazının Şematik Görünümü

**Kaynak:** Sugözü, 2009

Sürtünme test cihazının bilgisayar kontrol paneli üzerinde bulunan süre, devir, basınç, moment farkı ve alan değerleri kısmına girilen bilgiler dijital olarak ara birim kartları

yardımla kontrol sinyallerine dönüştürülmektedir. İntertör uygulanan kontrol sinyallerine göre orantılı olarak diski çeviren elektrik motorunun devir sayısını ayarlamaktadır (Sugözü, 2016).



Şekil 6. 13. Balata Test Programı

Farklı yüzey basınçlarında yük hücresi ekranında görülen değer ve moment kolu dikkate alınarak, Şekil 6.13'te görülen program tarafından otomatik olarak belirlenen sürtünme katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Sugözü, 2009).

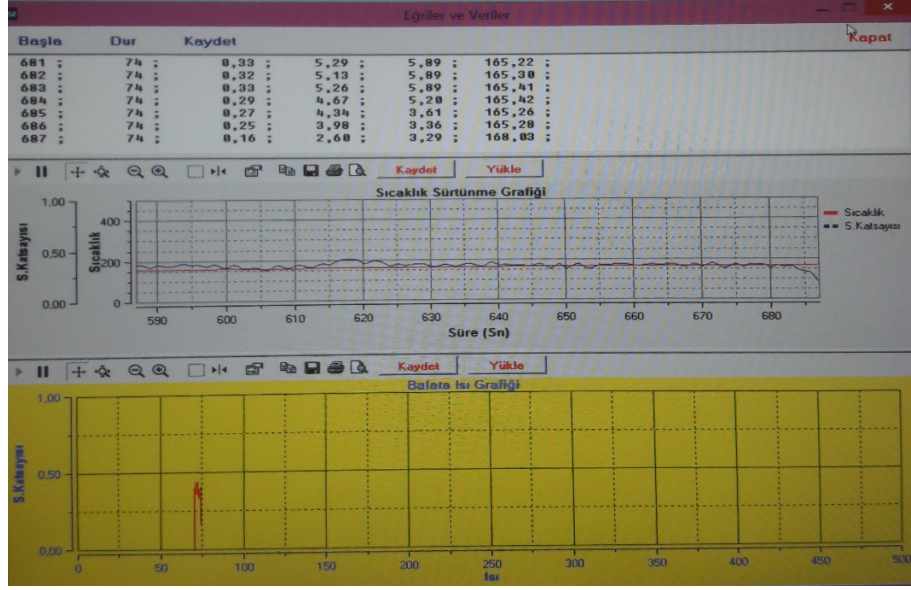
$$\mu = \frac{F_s \times 1,92}{F} \quad (6.1)$$

$$F = P \times A \quad (6.2)$$

Formüllerde,

$\mu$  = Sürtünme katsayısı,  $F$  = Uygulanan kuvvet (kg),  $F_s$  = Sürtünme kuvveti (Yük hücresinden okunan kuvvet (kg)),  $P$  = Basınç ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ), 1,92= Cihaz sabiti,  $A$ =Balata alanı ( $\text{mm}^2$ ) 'nı ifade etmektedir.

Fren balatası sürtünme test cihazı çalışırken test programına aktarılan veriler sayesinde Şekil 6.14'te görülen sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı-zaman, sıcaklık-zaman grafikleri elde edilebilmektedir.



Şekil 6. 14. Balata Test Programı Grafik Göstergesi



Şekil 6. 15. Test Cihazında Kullanılan Balata Tutucu

**Kaynak:** Sugözü, 2016

### 6.3.2. Sertlik Ölçüm Cihazı

Üretilen numunelerin sertlik değerlerini belirlemek için Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında bulunan DIGIROCK-RSR marka Rockwell sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Sertlik ölçme işlemleri HRL test metodunda, 1/4" bilya batıcı uç kullanılarak ön yük 10 kgf ve toplam yük 60 kgf (588,4 N) olarak ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri, numunelerin deneylerde aşınan yüzeyinden alınmıştır. Numunelerin üç farklı noktasından değerler alınarak aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Şekil 6.16 'da kullanılan sertlik ölçüm cihazı gösterilmektedir.



**Şekil 6. 16. Sertlik Ölçüm Cihazı**

### **6.3.3 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı**

Balata numunelerine uygulanan aşınma-sürtünme testlerinin öncesi ve sonrasında, balataların yüzey pürüzlülüğünü belirlemek için ölçümler yapılmıştır.

Bu ölçümlerde, Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında bulunan, Şekil 6.17'de gösterilen, hareket mesafesi 6 mm, hareket hızı 1.0 mm/s, ölçüm aralığı  $R_a = 0.05-10.0\mu\text{m}$  olan "Time TR110" marka yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Cihazın cut-off uzunlukları: 0.25mm / 0.8mm / 2.5mm olarak belirtilmiştir.



**Şekil 6. 17. Yüzey Pürüzlülük Test Cihazı**

### **6.4. Kaplama Cihazı**

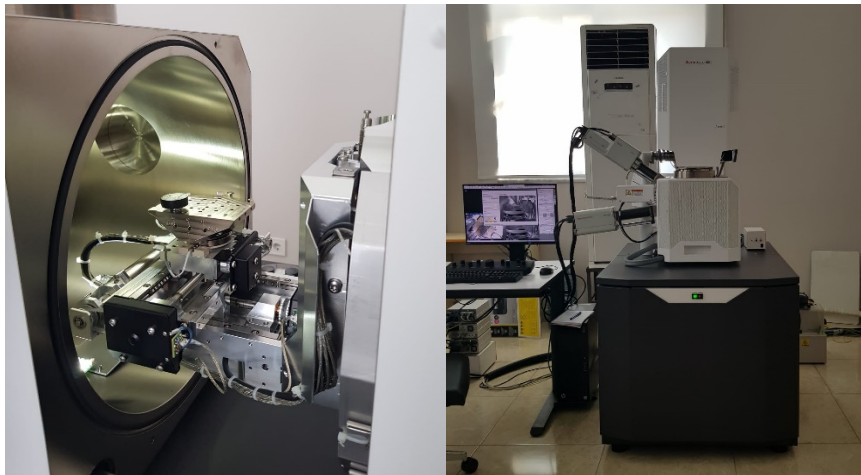
Taramalı elektron mikroskopundan numunelerin mikroyapı görüntülerinin alınabilmesi için numunelerin iletken olması gerekmektedir. Bu nedenle numune yüzeylerine altın-paladyum kaplama yapılarak iletkenliği sağlanmıştır. Kaplama işlemi, Şekil 6.18'de verilen Quorum marka Q150R S model miknatıssal saçtırma cihazı kullanılarak yapılmıştır.



**Şekil 6. 18.** Kaplama Cihazı

### **6.5. SEM (Taramalı elektron mikroskobu) ve EDS (Enerji Dağılım Spektrometrisi)**

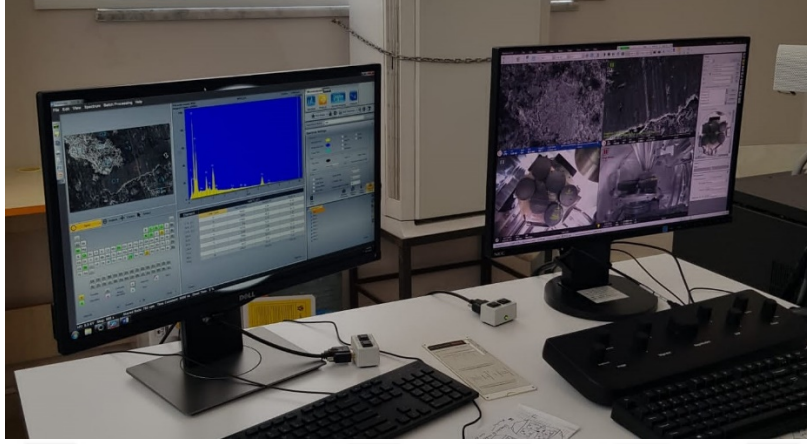
Test sonrasında numunelerin aşınan yüzeylerinin mikro yapısını incelemek için Thermo Fisher Scientific marka Apreo S model, alan emisyonlu elektron tabancası bulunan taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. SEM analizi, bir numuneyi 500.000x'e kadar büyütebilmektedir. Balatalardan 500x büyütülerek SEM görüntüleri alınmıştır. Şekil 6.19'da Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) gösterilmiştir.



**Şekil 6. 19.** Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM analizi ile değerlendirilen belirli bir noktadan ya da bölgeden numune hakkında temel bilgi almak için, SEM 'de kullanılan Thermo Scientific UltraDry Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDS) dedektörü sayesinde element analizleri yapılmaktadır. Bunun sonucunda

numunenin kimyasal bileşimi hakkında veri elde edilmektedir. Numunelerin 500x'e kadar büyütülen bölgelerinden Şekil 6.20'de gösterildiği gibi EDS analizleri alınmıştır.



Şekil 6. 20. EDS ve SEM Görüntüleri

#### 6.6. USB mikroskop

Numunelere sürtünme testleri uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonra balata yüzeylerinin mikro yapısını incelemek için dijital USB mikroskop kullanılarak görüntüleri alınmıştır.

#### 6.7. Aşınma Ölçüm Yöntemi

TS 555'e göre (1992: Akt. Sugözü, 2016) numunelerin özgül aşınma özelliği kalınlık ve kütle metodu olarak iki ayrı yöntemle hesaplanmaktadır ve bulunan değerlerden büyük olanı balatanın özgül aşınması olarak kabul edilmektedir (Sugözü, 2016).

Kalınlık metodunda, numunenin kalınlığı sürtünme testinden önce ve sonra beş noktadan mikrometre ile ölçülerek numunelerin özgül aşınma miktarları hesaplanmaktadır.

Kütle metodunda ise numunenin kütlesi sürtünme testinden önce ve sonra hassasiyeti 0.01 g olan terazide tartılarak numunelerin özgül aşınma miktarları hesaplanmaktadır.

Numuneler aşındırma öncesinde ve sonrasında hassas terazi ile tartılmış ve aşağıdaki denklem (6.3) kullanılarak aşınma oranları hesaplanmıştır:

$$V = \frac{1}{2\pi R} \frac{m_1 - m_2}{nF\rho} \quad (6.3)$$

Burada,

V: özgül aşınma miktarını,

R: balatanın merkezi ile diskin merkezi arasındaki mesafeyi,

n: test boyunca diskin toplam dönme sayısını,

$m_1$ : balatanın test öncesi kütlesini,

$m_2$ : balatanın test sonrası kütlesini,

F: ortalama sürtünme kuvvetini,

$\rho$ : balatanın yoğunluğunu göstermektedir.

## 6.8. Yoğunluk Ölçüm Yöntemi

Üretilen numunelerin yoğunlukları Arşimet prensibine göre hesaplanmıştır. Yoğunluk ölçümü, Şekil 6.21 'de gösterilen 0,01 g hassasiyetindeki hassas terazi ile yapılmıştır. Hassas terazinin kalibrasyon ayarı yapılıp, aparatlar teraziye yerleştirilerek teste hazır hale getirilmiştir.



Şekil 6. 21. Arşimet Terazisi

Numune önce havada tartılmıştır. Daha sonra saf su bulunan kap içindeki kefeye yerleştirilerek su içerisindeki ağırlığı belirlenmiştir. Balatanın su emme durumuna maruz kalmamak için sudaki tartma işlemi mümkün olduğunca çabuk gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen değerler denklem (6.4)' de yerine yazılarak numunelerin yoğunlukları hesaplanmıştır:

$$\rho = \frac{W_h}{W_h - W_s} \rho_{su} \quad (6.4)$$

Burada,

$\rho$ : balatanın yoğunluğunu,

$W_h$ : numunenin havadaki ağırlığını,

$W_s$ : numunenin sudaki ağırlığını,

$\rho_{su}$ : suyun yoğunluğunu göstermektedir.



## BÖLÜM VII

### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Uygulanan çalışmada, beş farklı organik atık malzeme kullanılarak fren balatası numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelerin performanslarının değerlendirilmesi için kullanılan farklı organik atıklar dışında aynı içeriğe sahip olan katkısız bir referans numune üretilmiştir. Kullanılan organik atık malzemelerin, numunelerin sürtünme katsayısı, aşınma miktarı, mikroyapı, sertlik ve yoğunluk gibi özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

#### 7.1. Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değerlendirmesi

Numunelerin sürtünme kararlılığı aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir (Bijwe vd., 2012: 693-701).

$$FS = (\mu_{ort} / \mu_{max}) \cdot 100 \quad (7.1)$$

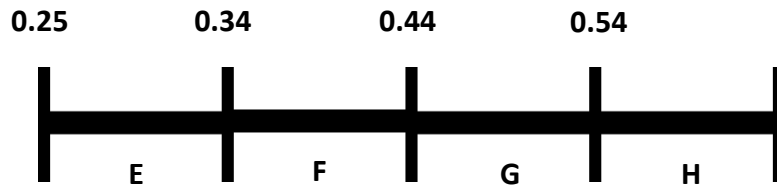
Burada,

FS : sürtünme kararlılığı,

$\mu_{ort}$  : ortalama sürtünme katsayısını,

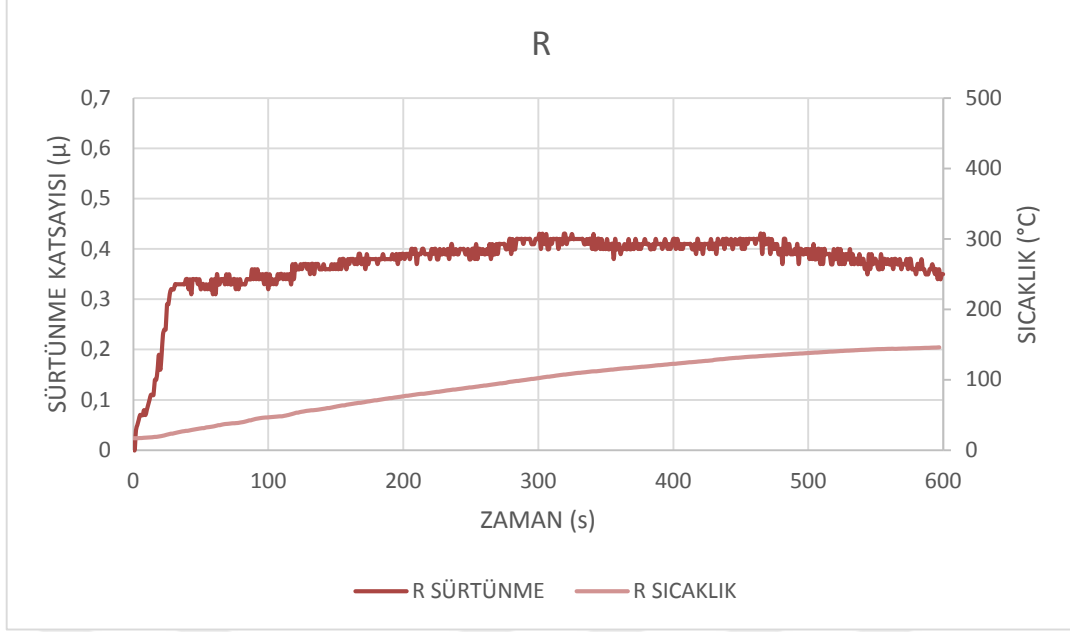
$\mu_{max}$  : en yüksek sürtünme katsayısını göstermektedir.

Şekil 7.1'deki skala fren balataları için sürtünme katsayısı değerlerinin 0.25 - 0.55 ve daha yukarısı için kabul edilmiş olduğunu göstermektedir. Her bir sürtünme katsayısı aralığı skaladaki gibi harflerle kodlanmıştır (Sugözü, 2016).



**Şekil 7. 1.** TS 555'e Göre Balata Sürtünme Katsayısı Performans Türleri

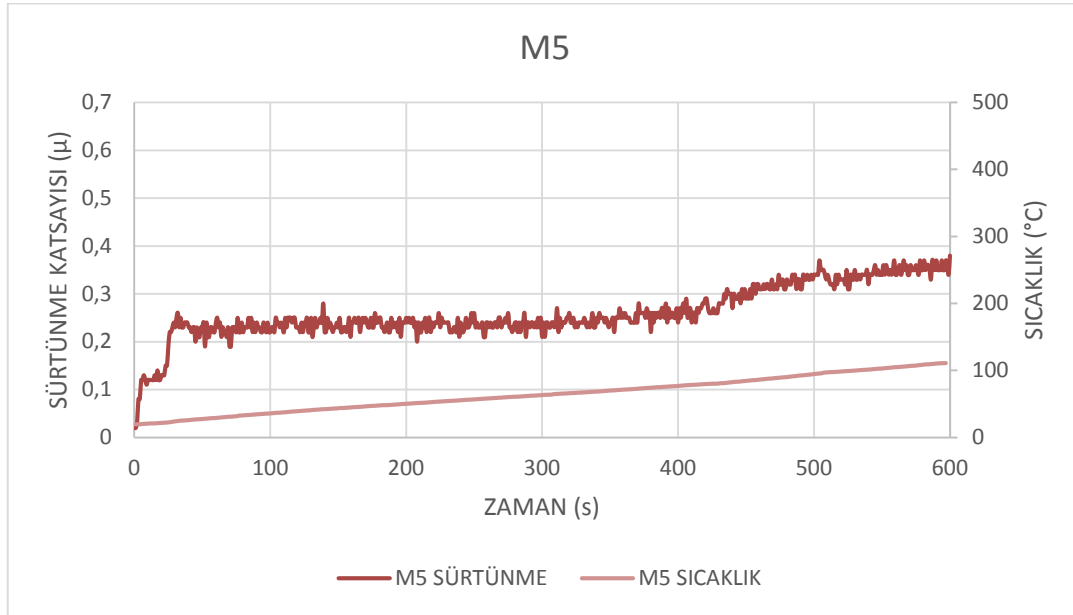
**Kaynak:** 1992: Akt. Sugözü, 2016



**Şekil 7. 2.** R Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

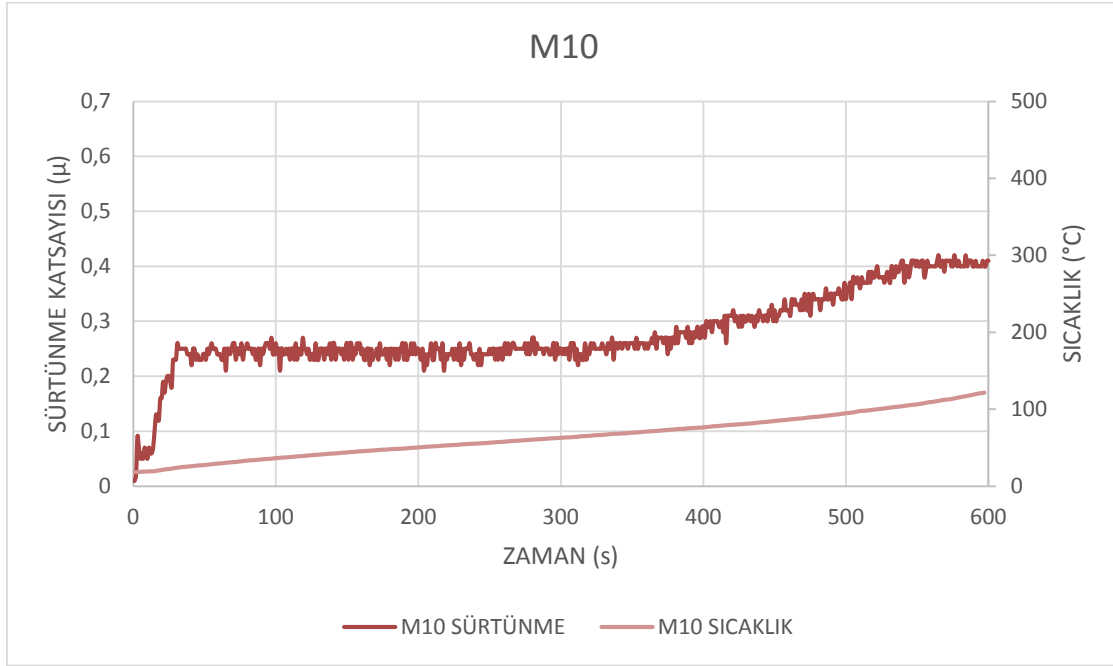
Katkısız R kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi Şekil 7.2 'de gösterilmektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde oluşan sıcaklık en düşük 17.16 °C, en yüksek ise 146.2 °C'dir. Numunenin ortalama sürtünme katsayısı 0.373'tür.

Mısır kabuğu tozu katkılı numunelerin grafikleri Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5' de verilmiştir.



**Şekil 7. 3.** M5 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

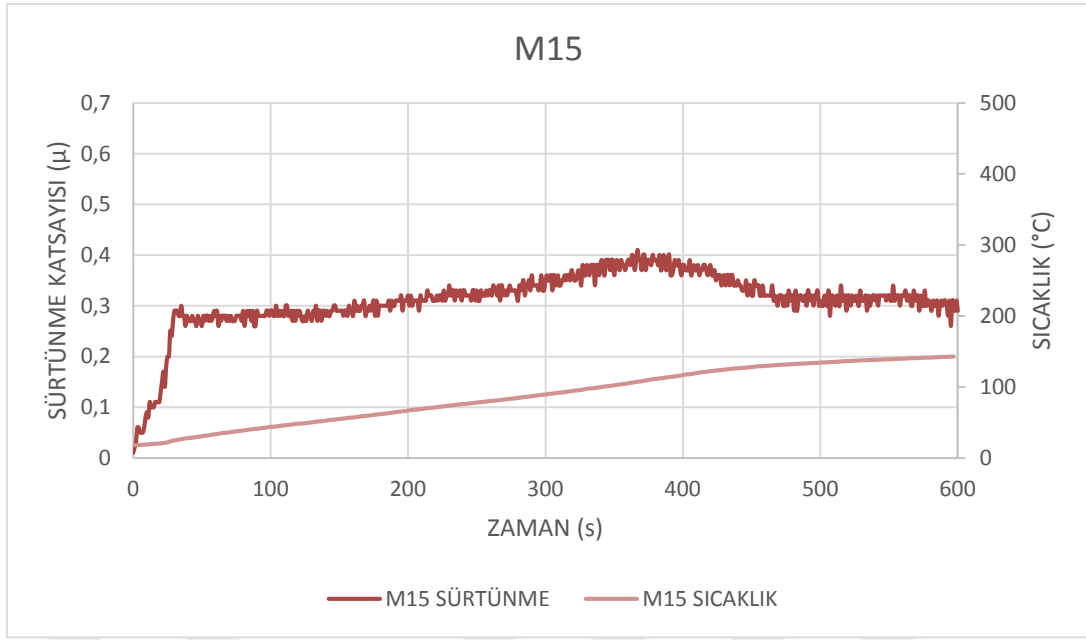
Şekil 7.3, %5 mısır kabuğu içeren M-5 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı-sıcaklık değişim grafiğini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 19.76 °C, en yüksek 111.47 °C'dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0.274'tür.



**Şekil 7. 4.** M10 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.4, %10 mısır kabuğu içeren M10 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı-sıcaklık değişim grafiğini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 18.24 °C, en yüksek 122.38 °C'dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0.288'dir.

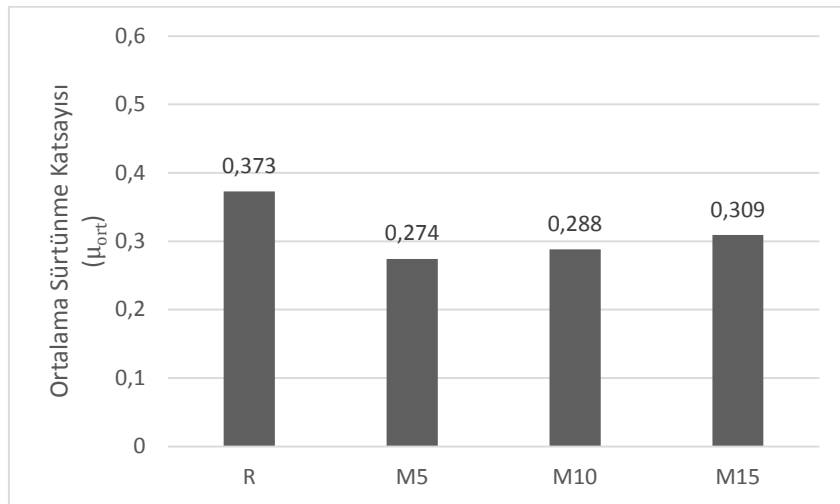
M5 ve M10 kodlu numunelerin grafikleri incelendiğinde sıcaklık artışıyla birlikte sürtünme katsayılarında da artış görülmektedir.



**Şekil 7. 5.** M15 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

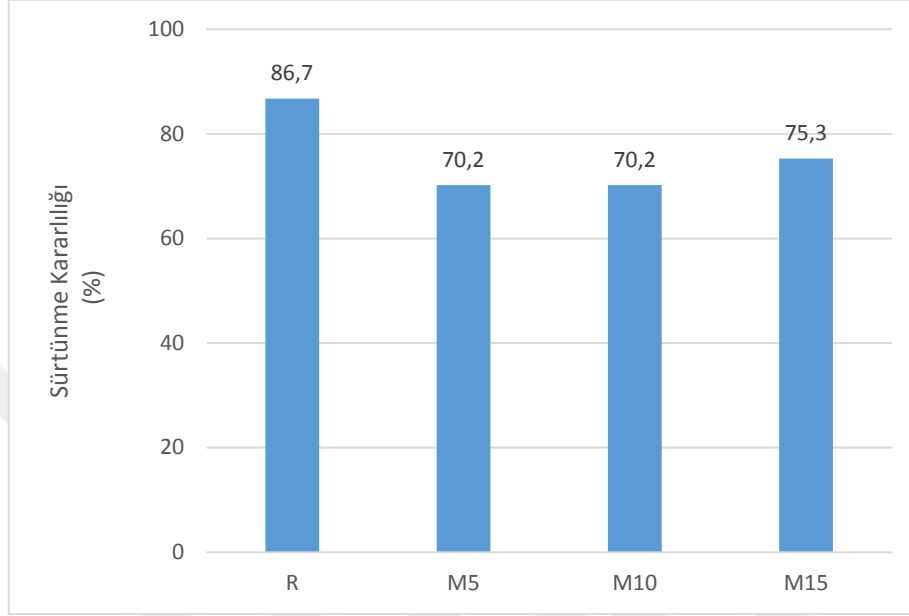
Şekil 7.5, %15 mısır kabuğu içeren M15 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde oluşan sıcaklık en düşük 17,86 °C, en yüksek 143,09 °C'dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0,309'dur.

M15 kodlu numuneye ait grafikte sürtünme katsayısı sıcaklık artışıyla birlikte belli bir noktaya kadar yükselmiş daha sonra düşmüştür.



**Şekil 7. 6.** Referans Numune ve Mısır Kabuğu İçeren Numunelerin Ortalama Sürtünme Katsayıları

Mısır kabuğu tozu katkılı numunelerin Şekil 7.6’da gösterilen değerleri incelendiğinde ortalama sürtünme katsayısının en yüksek katkısız numunede olduğu görülmektedir. Mısır kabuğu içerikli numuneler incelendiğinde mısır kabuğu oranının artmasıyla ortalama sürtünme katsayılarında da artış görülmüştür.

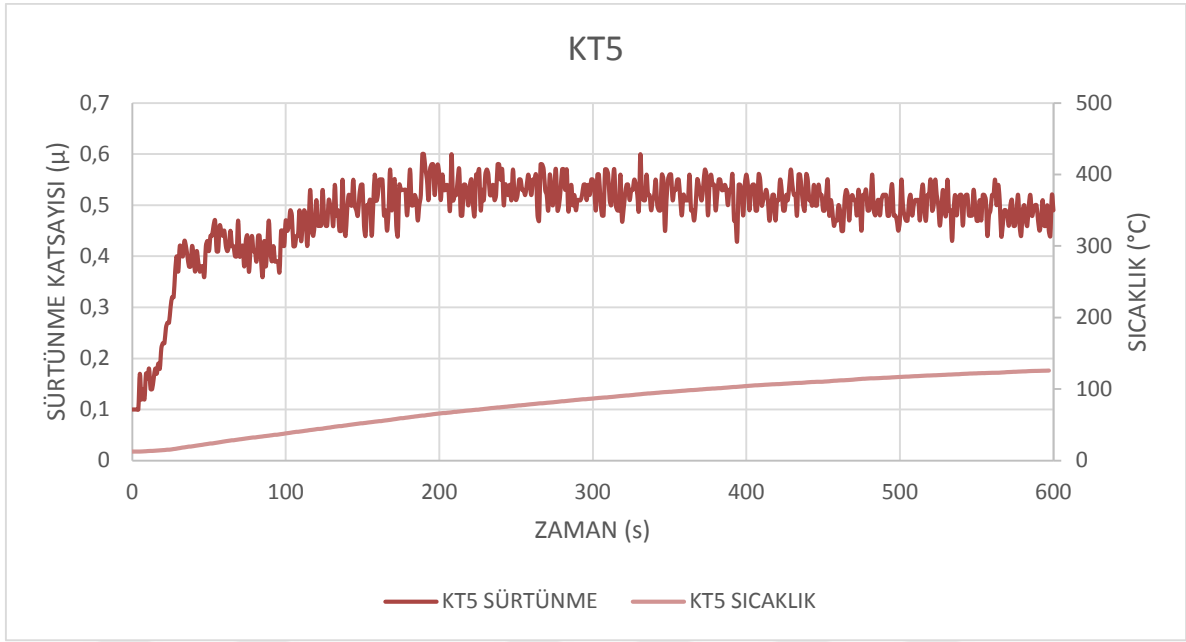


**Şekil 7. 7.** Referans Numune ve Mısır Kabuğu İçeren Numunelerin Sürtünme Kararlılıkları

Sürtünme performansı için % sürtünme stabilitesinin büyüklüğü mümkün olduğu kadar yüksek ve 100'e yakın olmalıdır (Bijwe vd., 2012: 693-701).

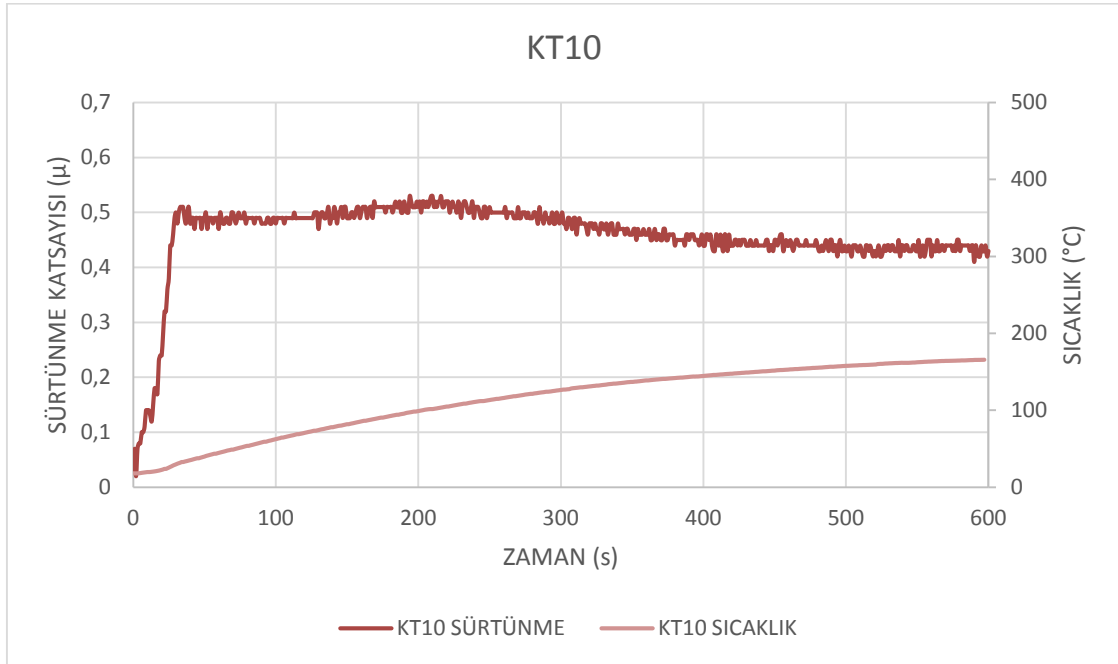
M kodlu numunelerin sürtünme kararlılıkları Şekil 7.7’deki grafikte gösterilmiştir. Buna göre katkısız numunenin ortalama sürtünme kararlılığının mısır kabuğu tozu içeren numunelerden daha fazla olduğu görülmektedir. M5 ve M10 kodlu numuneler aynı kararlılık oranına sahiptir.

Keten tozu katkılı numunelerin grafikleri Şekil 7.8, Şekil 7.9 ve Şekil 7.10’ da verilmiştir.



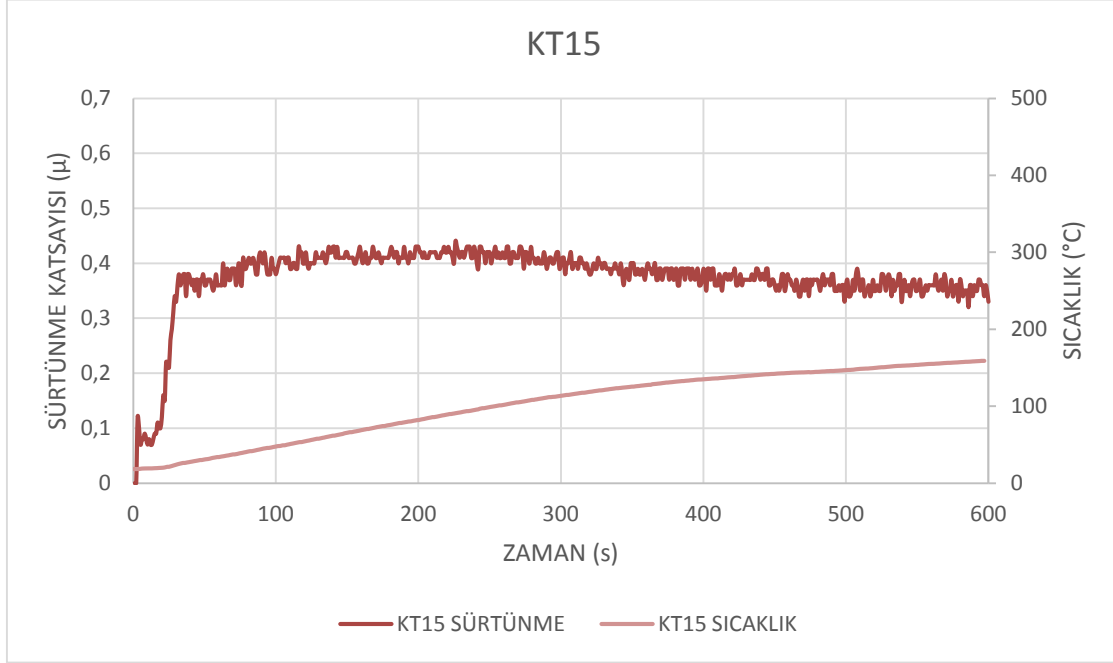
**Şekil 7. 8.** KT5 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.8, %5 keten içeren KT5 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 12,54 °C, en yüksek 126 °C'dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0,479'dur.



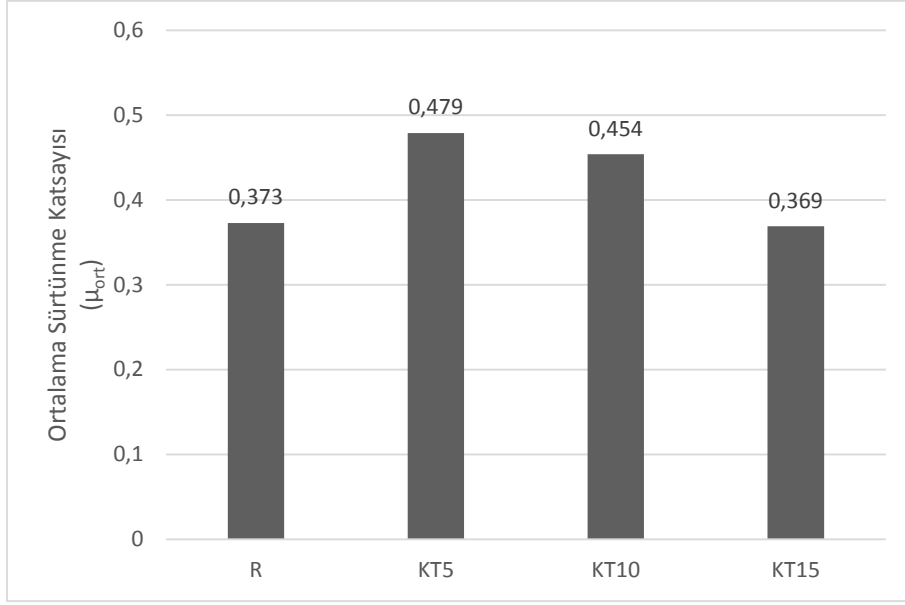
**Şekil 7. 9.** KT10 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.9, %10 keten içeren KT10 kodlu numunenin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı-sıcaklık değişim grafiğini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 18.05 °C, en yüksek ise 166.09 °C'dir. Ortalama sürtünme katsayısı 0.454'tür.



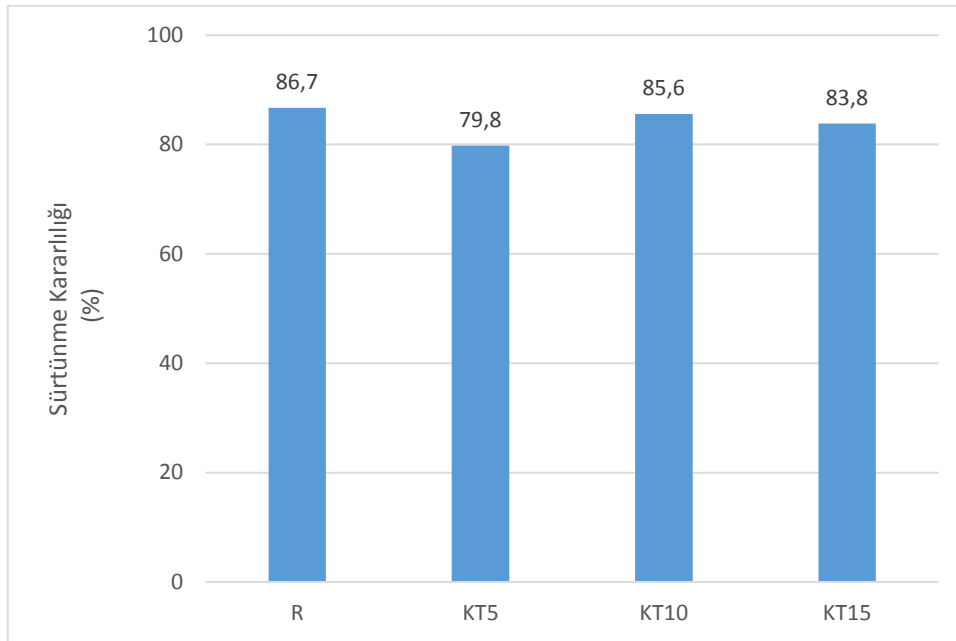
**Şekil 7. 10.** KT15 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.10, %15 keten içeren KT15 kodlu numunenin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde oluşan sıcaklık en düşük 18.27 °C, en yüksek ise 159.19 °C'dir. Ortalama sürtünme katsayısı 0.369'dur.



**Şekil 7. 11.** Referans Numune ve Keten İçeren Numunelerin Ortalama Sürtünme Katsayıları

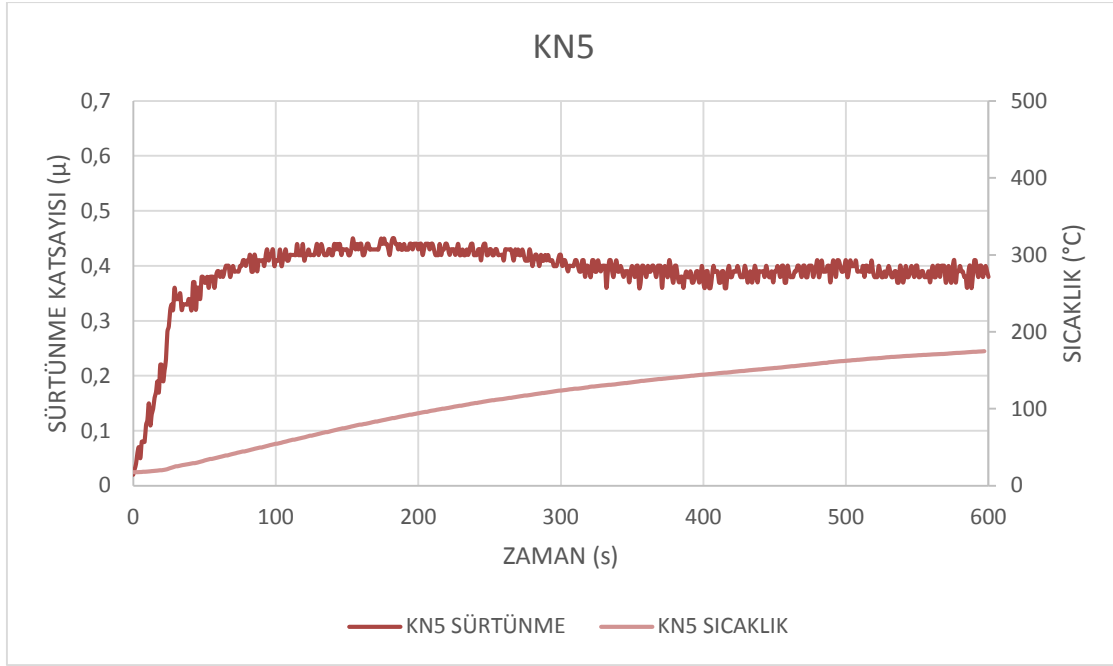
Şekil 7.11’de verilen keten içerikli numunelerin ortalama sürtünme katsayısı grafiği incelendiğinde keten oranı artıka ortalama sürtünme katsayısında azalma görülmektedir. Keten içerikli numuneler referans numunesine göre daha yüksek ortalama sürtünme katsayısına sahiptir.



**Şekil 7. 12.** Referans Numune ve Keten İçeren Numunelerin Sürtünme Kararlılıkları

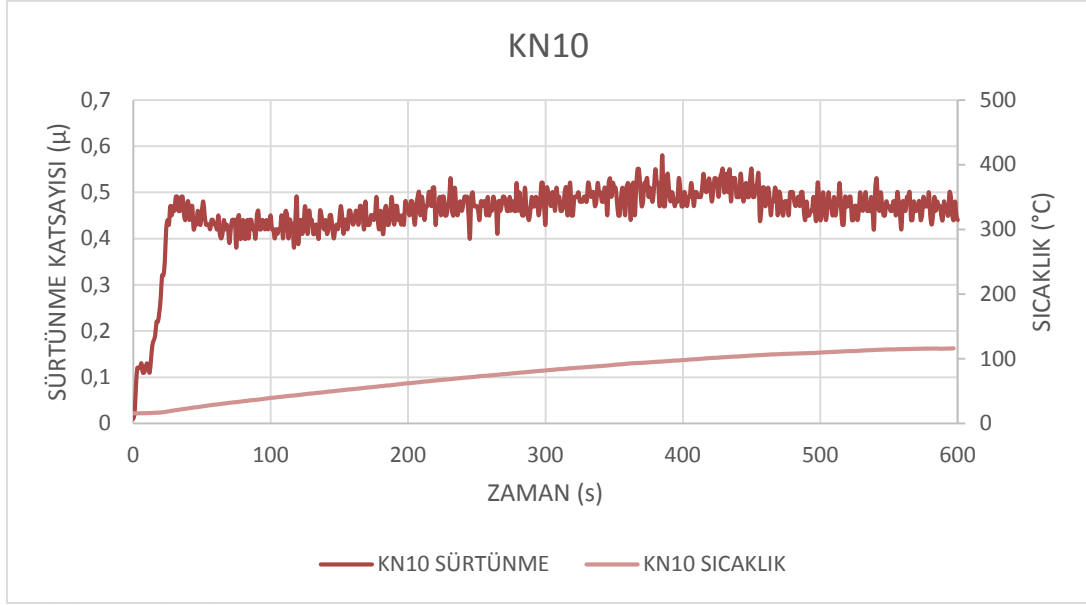
Keten içerikli numunelerin sürtünme kararlılığı grafikleri Şekil 7.12’de verilmiştir. En düşük kararlılık %5 keten içeren numunede görülmektedir. %10 ve %15 keten içerikli numunelerin sürtünme kararlılığı ile referans numunesinin sürtünme kararlılığı birbirine yakın değerlerdir.

Kenevir içerikli numunelerin grafikleri Şekil 7.13, Şekil 7.14 ve Şekil 7.15’de verilmiştir.



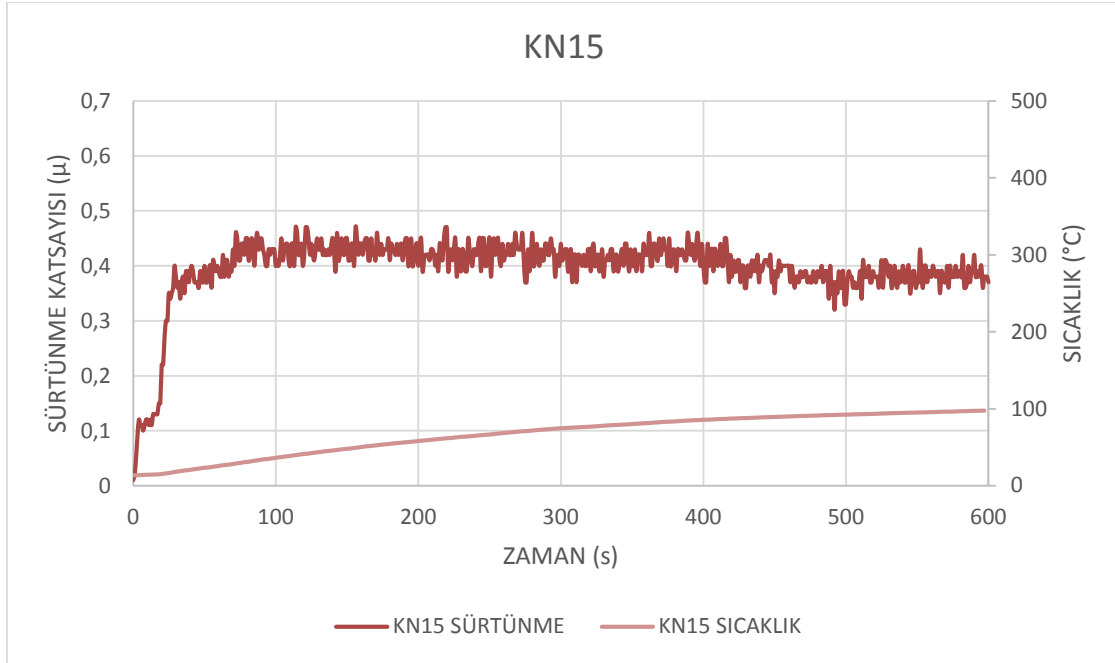
Şekil 7. 13. KN5 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.13, %5 kenevir içerikli KN5 kodlu numunenin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 17.36 °C, en yüksek ise 175.16 °C’dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0.390’dır.



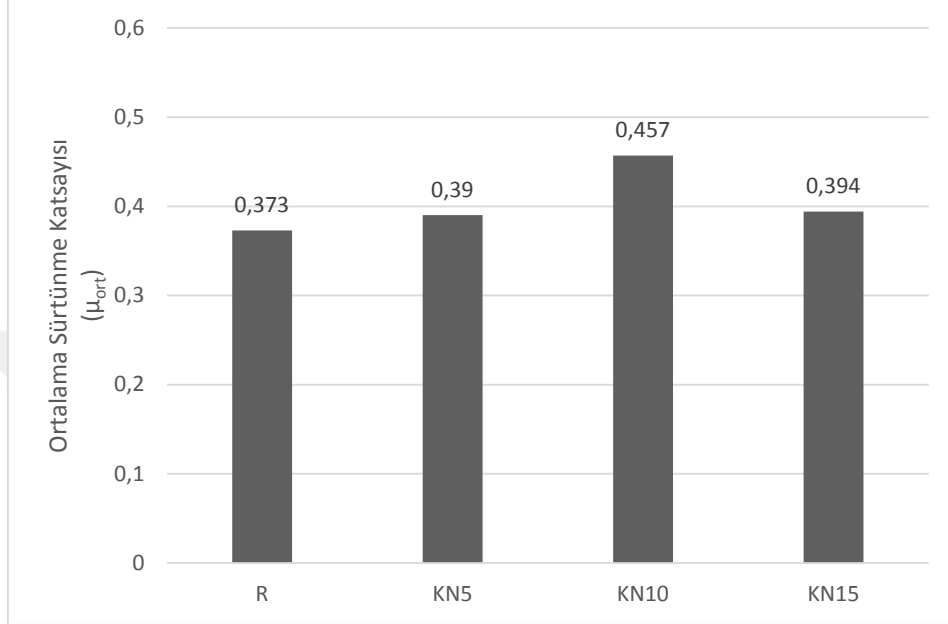
**Şekil 7. 14.** KN10 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.14, % 10 kenevir içerikli KN10 kodlu numunenin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı-sıcaklık değişim grafiğini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde oluşan sıcaklık en düşük 15.68 °C, en yüksek ise 116.25 °C'dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0.457'dir.



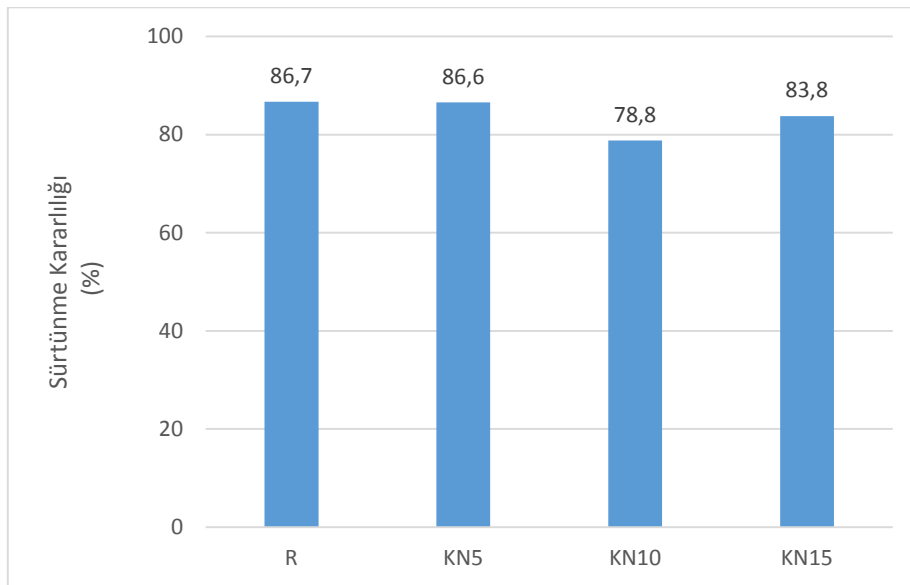
**Şekil 7. 15.** KN15 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.15, %15 kenevir içerikli KN15 kodlu numunenin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 13.58 °C, en yüksek ise 97.66 °C'dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0.394'tür.



Şekil 7. 16. Referans Numune ve Kenevir İçeren Numunelerin Ortalama Sürtünme Katsayıları

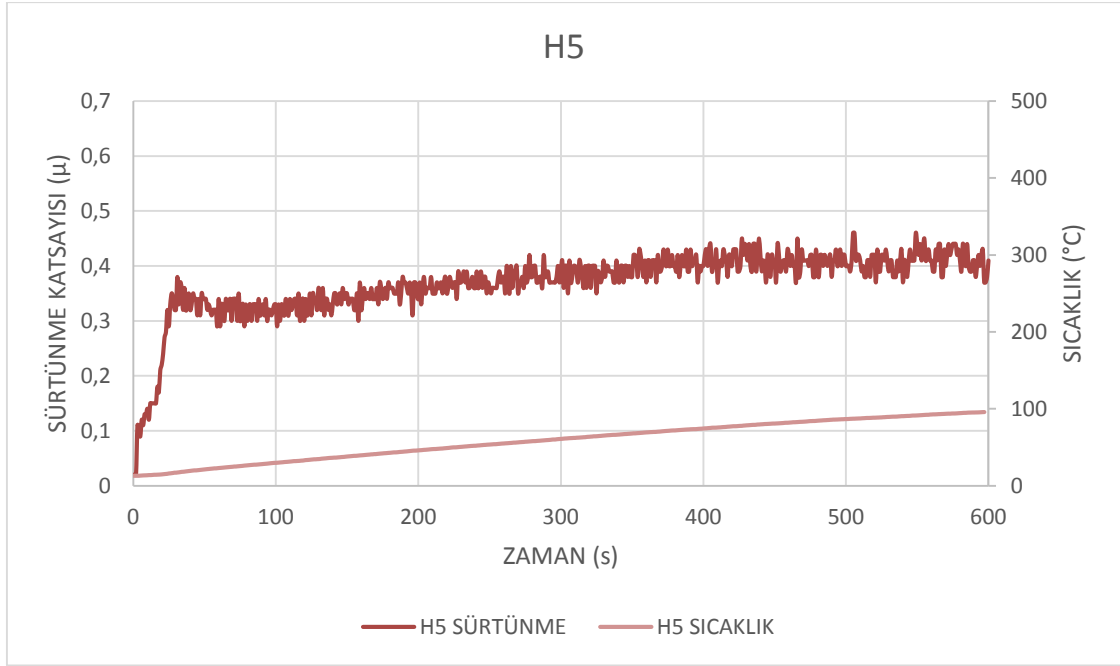
Şekil 7.16'da gösterilen grafik incelendiğinde numunelerde kenevir tozu oranı artıka ortalama sürtünme katsayısı değerlerinde önce artış daha sonra azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 17. Referans Numune ve Kenevir İçeren Numunelerin Sürtünme Kararlılıkları

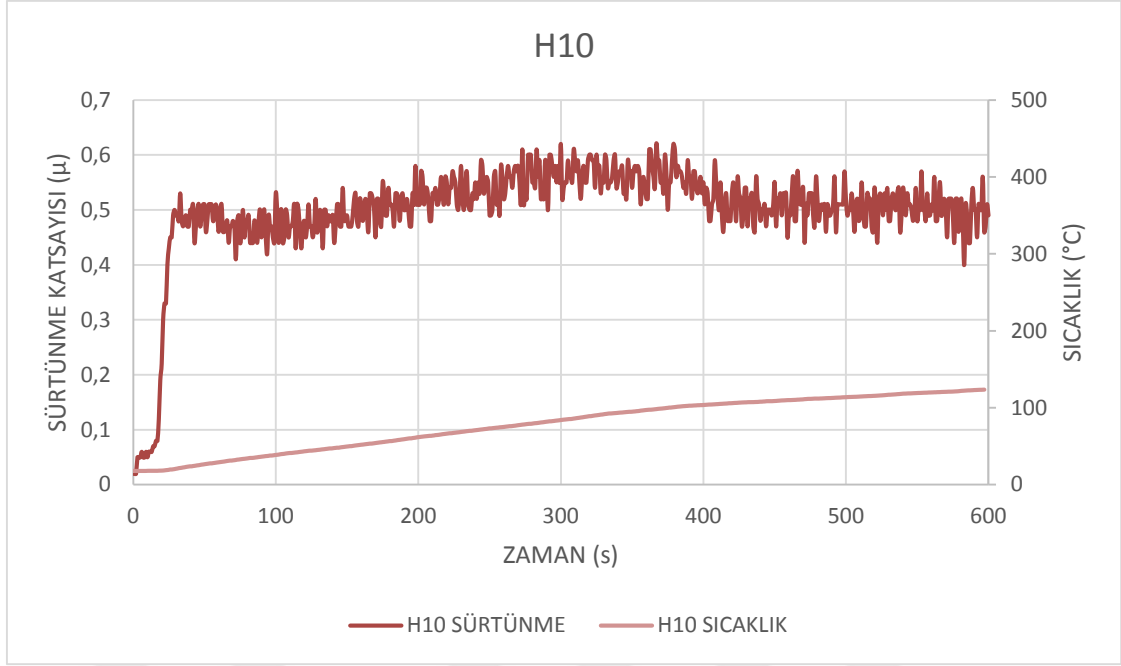
Şekil 7.17’de kenevir içerikli numunelerin sürtünme kararlılığı değerlerini gösteren grafik incelendiğinde en yüksek ortalama sürtünme katsayısına sahip olmasına rağmen en düşük kararlılığı KN10 kodlu numune sergilemiştir.

Hindistan cevizi kabuğu içerikli numunelerin grafikleri Şekil 7.18, Şekil 7.19 ve Şekil 7.20’de verilmiştir.



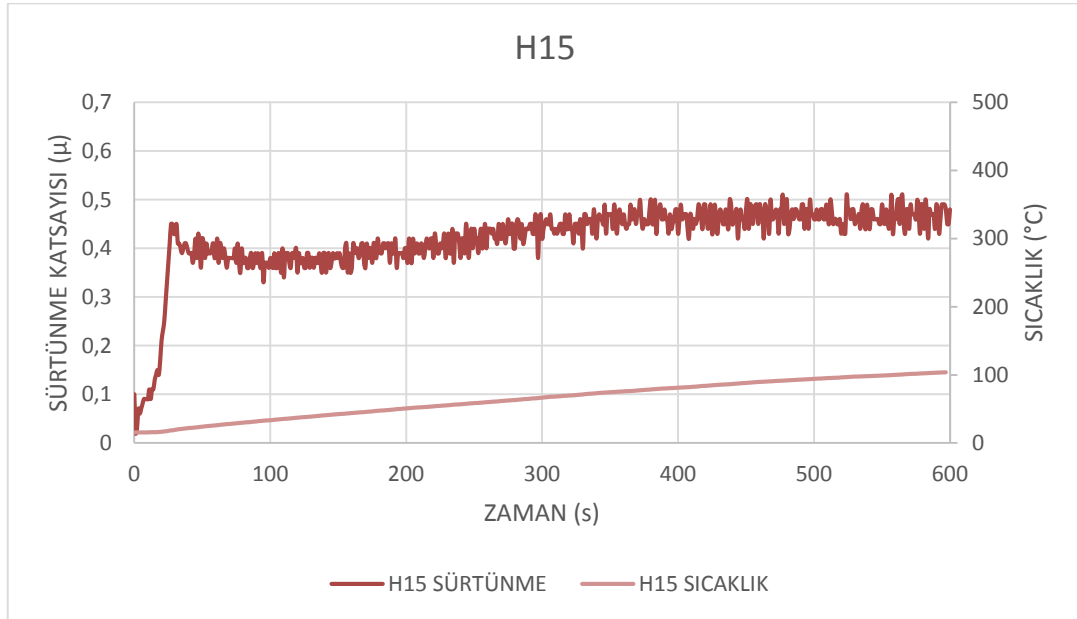
**Şekil 7. 18.** H5 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.18’de %5 hindistan cevizi kabuğu içerikli H5 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi gösterilmektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 12.92 °C, en yüksek ise 95.75 °C’dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0.370’tir.



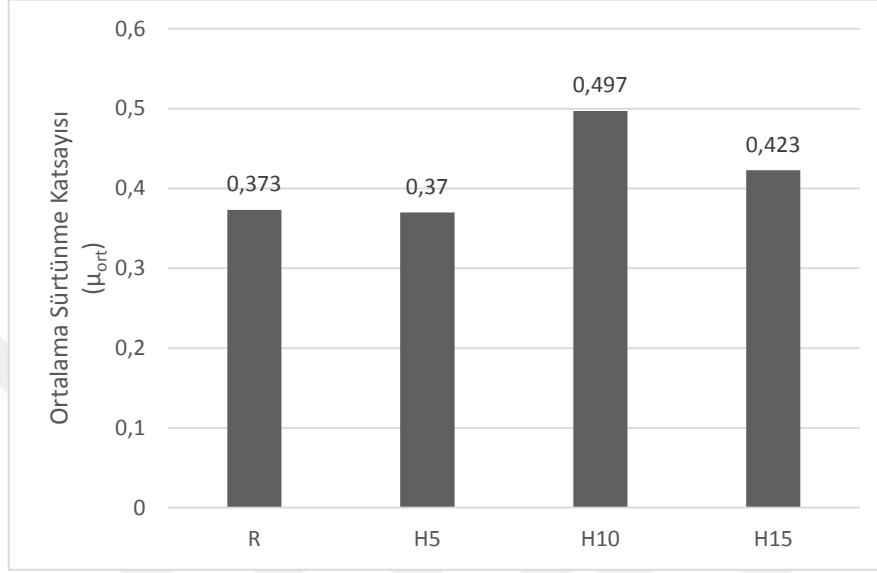
**Şekil 7. 19.** H10 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.19, %10 hindistan cevizi kabuğu içerikli H10 kodlu numunenin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde oluşan sıcaklık en düşük 17.84 °C, en yüksek ise 123.71 °C'dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0.497'dir.



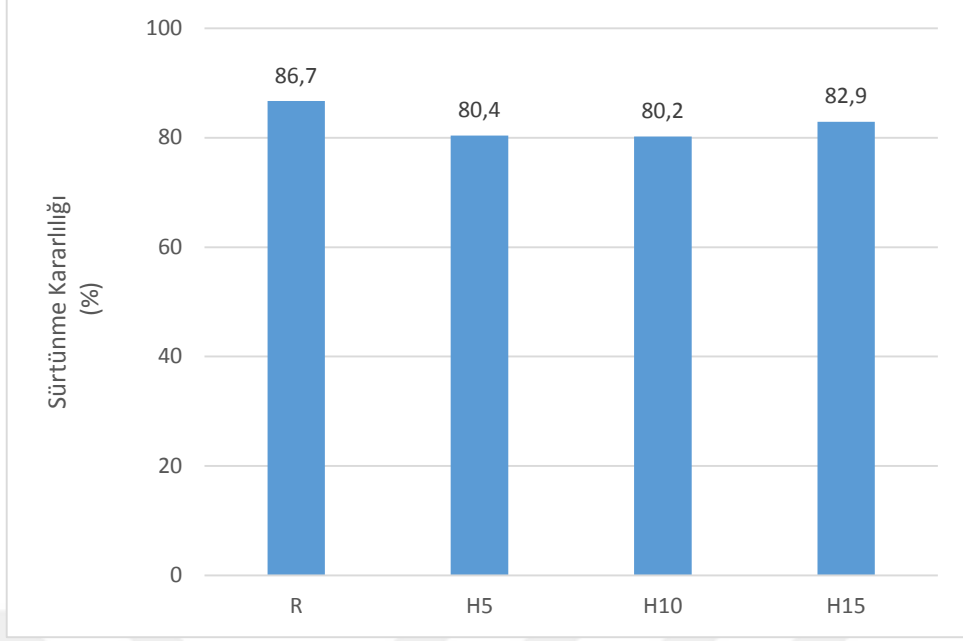
**Şekil 7. 20.** H15 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.20’de %15 hindistan cevizi kabuğu içerikli H15 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimini gösteren grafik verilmiştir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 15.6 °C, en yüksek ise 104.01 °C’dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0.423’tür.



**Şekil 7. 21.** Referans Numune ve Hindistan Cevizi Kabuğu İçeren Numunelerin Ortalama Sürtünme Katsayısı

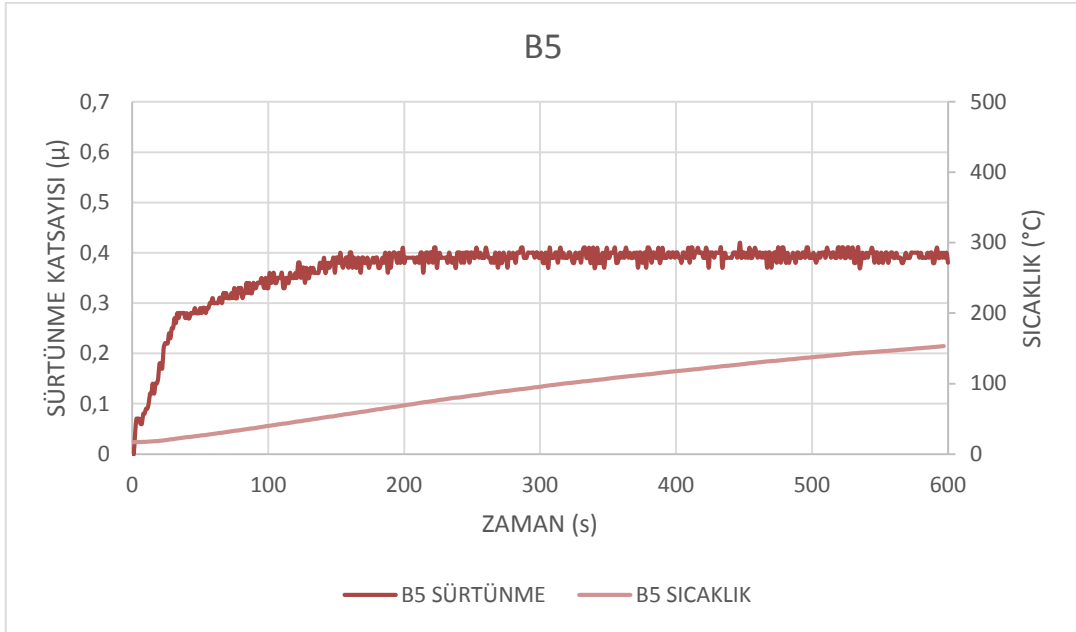
Şekil 7.21’deki grafik hindistan cevizi kabuğu tozu içerikli numunelerin katkı malzeme oranı artıkça ortalama sürtünme katsayısında ilk önce artma daha sonra azalma olduğunu göstermektedir. En yüksek sıcaklık H10 kodlu numunede görülürken en yüksek ortalama sürtünme katsayısı yine bu numunede görülmüştür.



**Şekil 7. 22.** Referans Numune ve Hindistan Cevizi Kabuğu İçeren Numunelerin Sürtünme Kararlılıkları

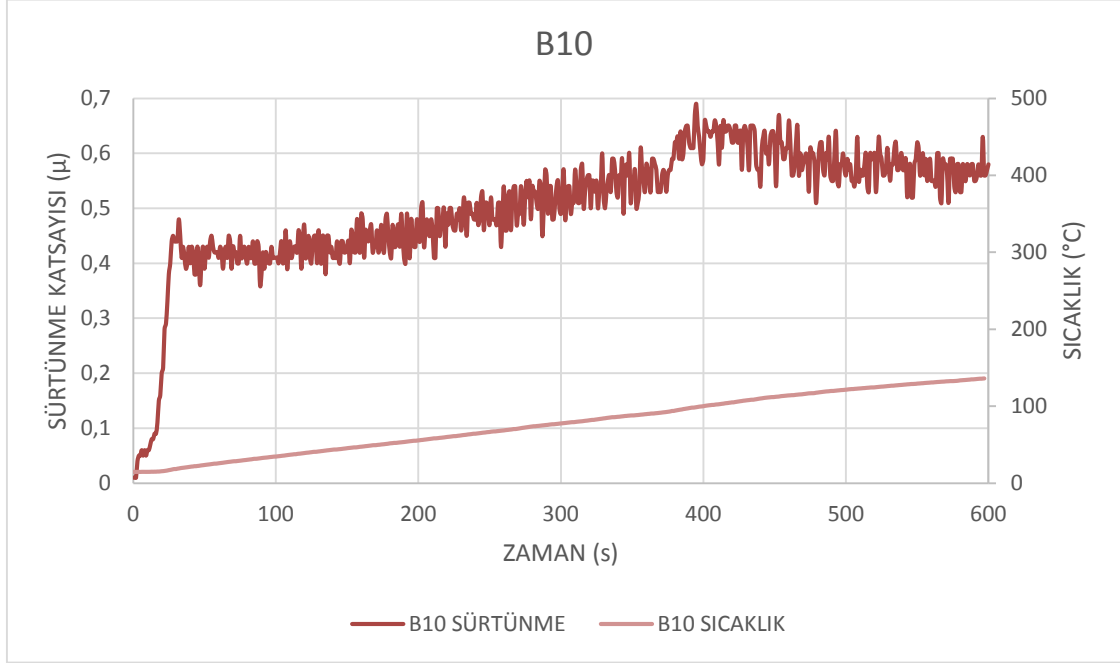
Şekil 7.22'deki sürtünme kararlılığı grafiği incelendiğinde hindistan cevizi kabuğu içerikli numuneler referans numuneye yakın kararlılık değerleri göstermiştir.

Bambu tozu katkılı numunelerin grafikleri Şekil 7.23, Şekil 7.24 ve Şekil 7.25'de verilmiştir.



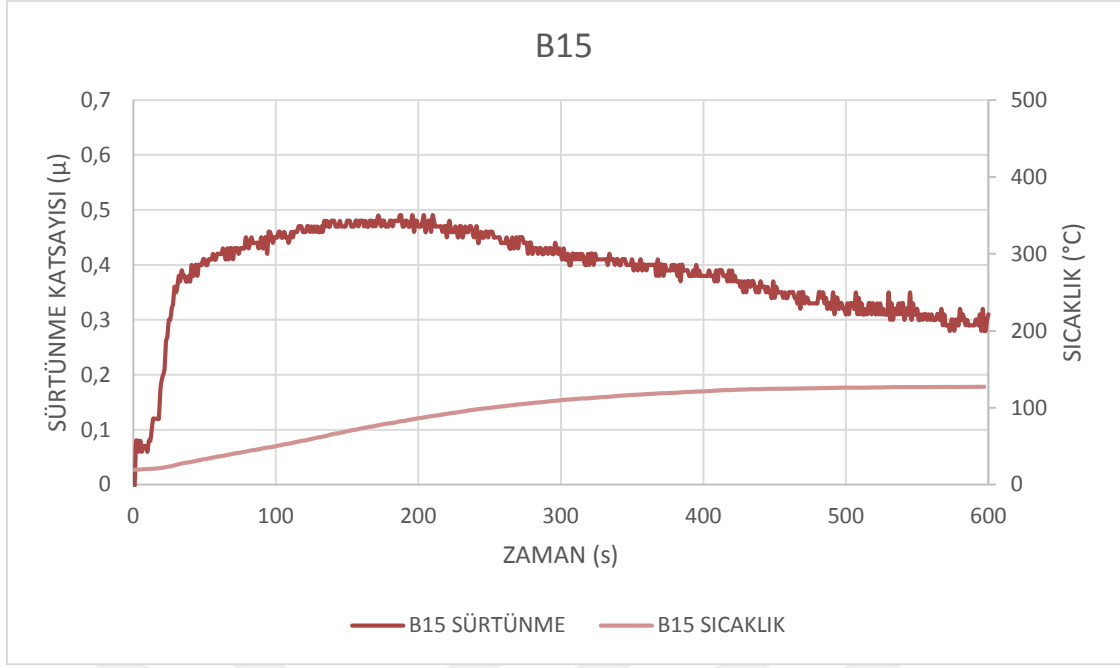
**Şekil 7. 23.** B5 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.23, %5 bambu içerikli B5 kodlu numunenin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 16.92 °C, en yüksek ise 153.81 °C'dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0.368'dir.



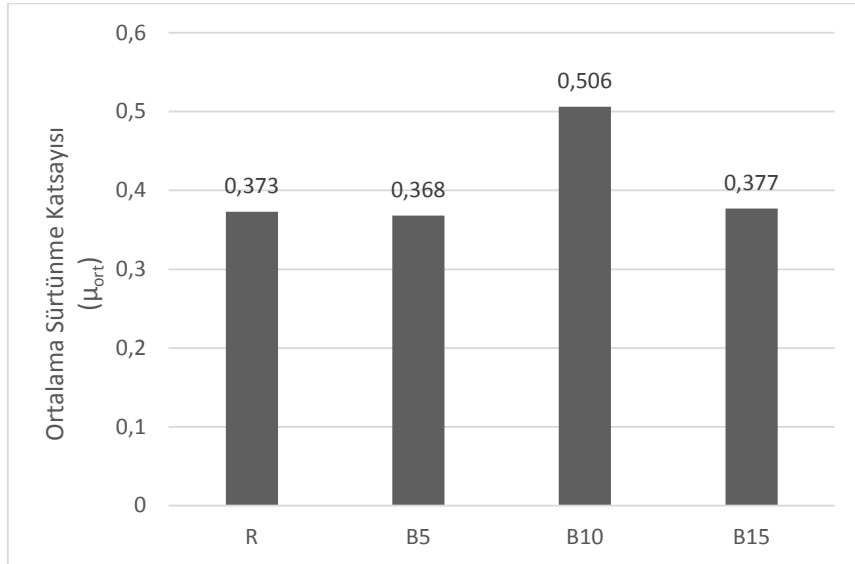
Şekil 7. 24. B10 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.24, %10 bambu içerikli B-10 kodlu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 14.61 °C, en yüksek ise 136.53 °C'dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0.506'dır.



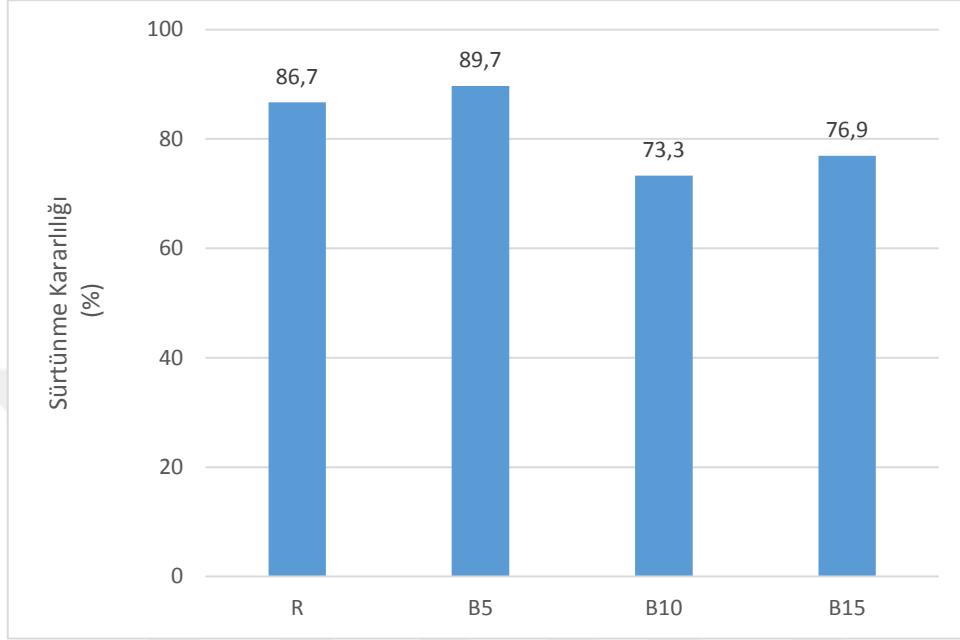
**Şekil 7. 25.** B15 Kodlu Balata Numunesinin Zamana Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimleri

Şekil 7.25, %15 bambu içerikli B15 kodlu numunenin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde oluşan sıcaklık en düşük 19.7 °C, en yüksek ise 127.3 °C'dir ve ortalama sürtünme katsayısı 0.377'dir.



**Şekil 7. 26.** Referans Numune ve Bambu İçeren Numunelerin Ortalama Sürtünme Katsayıları

Şekil 7.26'daki bambu tozu içerikli numunelerin ortalama sürtünme katsayıları grafiği incelendiğinde katkı malzemesinin artmasıyla ortalama sürtünme katsayısında ilk olarak artış daha sonra düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 27. Referans Numune ve Bambu İçeren Numunelerin Sürtünme Kararlılıkları

Şekil 7.27'de verilen sürtünme kararlılığı grafiğinde en düşük sürtünme kararlılığını en yüksek ortalama sürtünme katsayısına sahip olan %10 bambu içerikli B10 kodlu numune sergilemiştir.

## 7.2. Numunelerin Aşınma, Yoğunluk ve Sertlik Ölçümleri

Balata üretim aşamaları, balatanın sertlik ve yoğunluk değerlerini etkileyen değişkenlerdir. Soğuk ve sıcak presleme işlemi sırasında uygulanan presleme basıncı, balatanın sertliğini ve yoğunluğunu artırmaktadır (Ertan ve Yavuz, 2010: 1524-1532). Aynı üretim koşullarında üretilen numunelerin aşınma, sertlik, yoğunluk değerleri Tablo 7.1 - 7.5'da verilmiştir.

Tablo 7.1'de referans numune ve kütlece %5 , %10 ve %15 mısır kabuğu tozu içeren numunelerin ortalama sürtünme katsayısı, özgül aşınma miktarı, sertlik, yoğunluk değerleri verilmiştir. Referans numunenin yoğunluğu 2.253'tür. Kütlece %5 katkı içeren numunenin yoğunluğu 2.058 iken kütlece %10 ve %15 mısır kabuğu içerikli numunelerin yoğunlukları

daha düşüktür. Mısır kabuğu oranı artıkça numunelerin yoğunlukları azalmıştır. Numunelerde en düşük aşınma miktarı R kodlu numunede, en fazla aşınma miktarı ise %15 mısır kabuğu içerikli M15 kodlu numunede görülmüştür.

**Tablo 7. 1.** Referans Numune ve Mısır Kabuğu İçeren Numunelerin Özellikleri

Numune Kodu	Özgül Aşınma Miktarı $\times 10^{-6}$ ( $\text{cm}^3/(\text{N.m})$ )	Sertlik (HRL)	Yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Ortalama Sürtünme Katsayısı	Sürtünme Kararlılığı (%)	Balata Sınıfı
R	2.822	98.9	2.253	0.373	86.7	F
M5	4.601	87.0	2.058	0.274	70.2	E
M10	4.464	81.7	1.968	0.288	70.2	E
M15	5.140	80.3	1.916	0.309	75.3	E

Tablo 7.2 incelendiğinde, kütlece %5 keten içeren numunenin yoğunluğu 2.044 iken kütlece %10 ve %15 keten içeren numunelerin yoğunlukları daha düşüktür. Keten içerikli numunelerde R kodlu numuneye göre düşük yoğunluk değerleri gözlemlenmiştir ve keten oranı artıkça yoğunluk azalmıştır. Numunelerde en düşük aşınma miktarı %5 keten içerikli KT5 kodlu numunede, en fazla aşınma miktarı ise %15 içerikli KT15 kodlu numunede görülmüştür.

**Tablo 7. 2.** Referans Numune ve Keten İçeren Numunelerin Özellikleri

Numune Kodu	Özgül Aşınma Miktarı $\times 10^{-6}$ ( $\text{cm}^3/(\text{N.m})$ )	Sertlik (HRL)	Yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Ortalama Sürtünme Katsayısı	Sürtünme Kararlılığı (%)	Balata Sınıfı
R	2.822	98.9	2.253	0.373	86.7	F
KT5	2.791	95.2	2.044	0.479	79.8	G
KT10	3.686	93.4	1.995	0.454	85.6	G
KT15	4.748	81.7	1.894	0.369	83.8	F

Tablo 7.3 incelendiğinde, kütlece %5 kenevir içeren numunenin yoğunluğu 2.132 iken kütlece %10 ve %15 kenevir içeren numunelerin yoğunlukları daha düşüktür. Kenevir içerikli numuneler, referans numunenin yoğunluğuna göre daha düşüktür ve kenevir oranı artıkça yoğunluk değerleri azalmıştır. Numunelerde en düşük aşınma miktarı %10 kenevir içeren KN10 kodlu numunede, en fazla aşınma miktarı ise %5 kenevir içeren KN5 kodlu numunede görülmüştür.

**Tablo 7. 3.** Referans Numune ve Kenevir İçeren Numunelerin Özellikleri

Numune Kodu	Özgül Aşınma Miktarı $\times 10^{-6}$ ( $\text{cm}^3/(\text{N.m})$ )	Sertlik (HRL)	Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )	Ortalama Sürtünme Katsayısı	Sürtünme Kararlılığı (%)	Balata Sınıfı
R	2.822	98.9	2.253	0.373	86.7	F
KN5	4.677	99.8	2.132	0.390	86.6	F
KN10	2.252	96.2	2.004	0.457	78.8	G
KN15	3.433	93.4	1.913	0.394	83.8	F

Tablo 7.4 incelendiğinde, kütlece %5 hindistan cevizi kabuğu içeren numunenin yoğunluğu 2.083 iken kütlece %10 ve %15 içerikli numunelerin yoğunlukları daha düşüktür. Hindistan cevizi kabuğu içerikli numuneler, referans numunenin yoğunluğuna göre düşük yoğunluktadır ve hindistan cevizi kabuğu oranı artıkça yoğunluk değerleri azalmıştır. Numunelerde en düşük aşınma miktarı %5 hindistan cevizi kabuğu içerikli H5 kodlu numunede, en fazla aşınma miktarı ise R kodlu numunede görülmüştür. Hindistan cevizi kabuğu içeren numuneler referans numunesine göre daha az aşınma göstermiştir.

**Tablo 7. 4.** Referans Numune ve Hindistan Cevizi İçeren Numunelerin Özellikleri

Numune Kodu	Özgül Aşınma Miktarı $\times 10^{-6}$ ( $\text{cm}^3/(\text{N.m})$ )	Sertlik (HRL)	Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )	Ortalama Sürtünme Katsayısı	Sürtünme Kararlılığı (%)	Balata Sınıfı
R	2.822	98.9	2.253	0.373	86.7	F
H5	2.115	72.5	2.083	0.370	80.4	F
H10	2.704	79.9	1.958	0.497	80.2	G
H15	2.266	81.7	1.830	0.423	82.9	F

Tablo 7.5 incelendiğinde, kütlece %5 bambu içeren numunenin yoğunluğu 2.104 iken kütlece %10 ve %15 bambu içeren numunelerin yoğunlukları düşmüştür. Bambu içerikli numuneler, referans numunesinin yoğunluğuna göre düşük yoğunluk değerleri sergilemiştir. Numunelerde en düşük aşınma miktarı %15 bambu içeren B15 kodlu numunede, en fazla aşınma miktarı ise %5 bambu içeren B5 numunesinde görülmektedir.

**Tablo 7. 5.** Referans Numune ve Bambu İçeren Numunelerin Özellikleri

Numune Kodu	Özgül Aşınma Miktarı $\times 10^{-6}$ ( $\text{cm}^3/(\text{N.m})$ )	Sertlik (HRL)	Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )	Ortalama Sürtünme Katsayısı	Sürtünme Kararlılığı (%)	Balata Sınıfı
R	2.822	98.9	2.253	0.373	86.7	F
B5	3.639	95.0	2.104	0.368	89.7	F
B10	2.823	93.8	1.975	0.506	73.3	G
B15	2.456	90.8	1.947	0.377	76.9	F

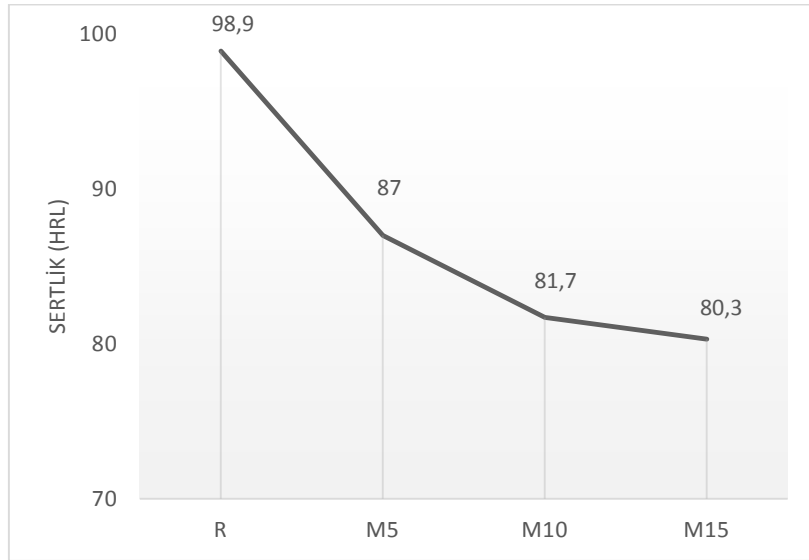
### 7.3. Yoğunluk

Tüm numunelerin Arşimet prensibine göre yapılan yoğunluk ölçümleri, Tablo 7.6'da gösterilmiştir. Yoğunluk ölçüm sonuçlarına göre, en yüksek yoğunluk değeri R kodlu numunede 2.253, en düşük yoğunluk değeri H15 kodlu numunede 1.830 olarak ölçülmüştür. Bütün numunelerde katkı malzeme oranı arttıkça yoğunluklarında düşme görülmektedir. Bu durum numunelerde kullanılan organik atık malzemelerin yoğunluklarının, dolgu malzemesi olarak eklenen baritin yoğunluğundan daha düşük olması ile açıklanabilir (Keskin, 2019).

### 7.4. Sertlik

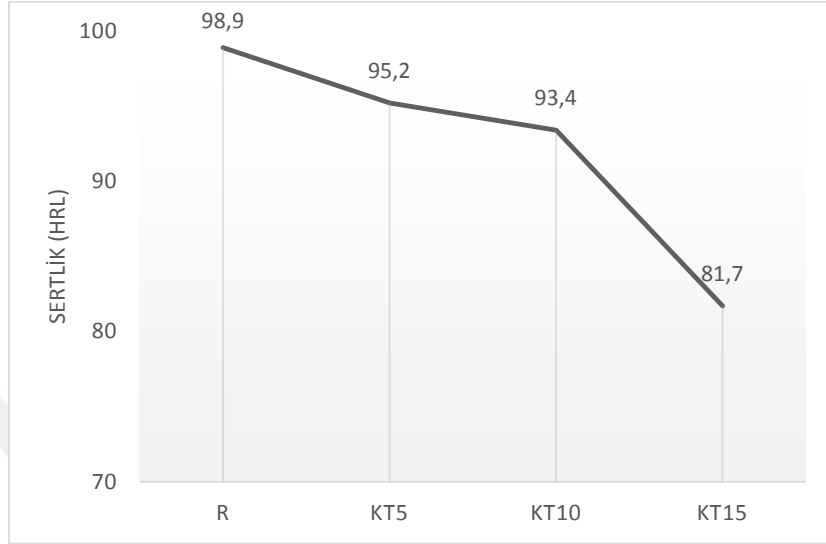
Numunelerin üç farklı noktasından alınan değerlerin aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. HRL skalasına göre yapılan sertlik ölçüm sonuçları Tablo 7.6'da verilmiştir. Numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde, değerler 72.5 - 99.8 arasında değişiklik göstermektedir.

Mısır kabuğu katkılı numunelerin sertlik değerleri Şekil 7.28'de verilmiştir. Mısır kabuğu oranı arttıkça numune sertlik değerinde giderek düşüş gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değeri R kodlu referans numunesinde görülmektedir.



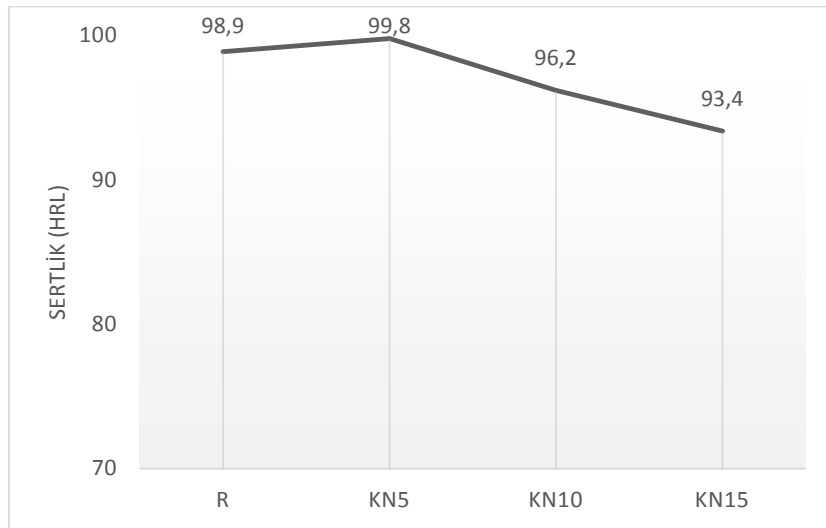
Şekil 7. 28. Referans Numune ve Mısır Kabuğu Tozu Katkılı Numunelerin Sertlik Değerleri

Keten tozu katkılı numunelerin sertlik değerleri Şekil 7.29’da verilmiştir. Keten oranı artıkça sertlik değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Sertlik değerleri R kodlu numunenin sertlik değerinden düşüktür.



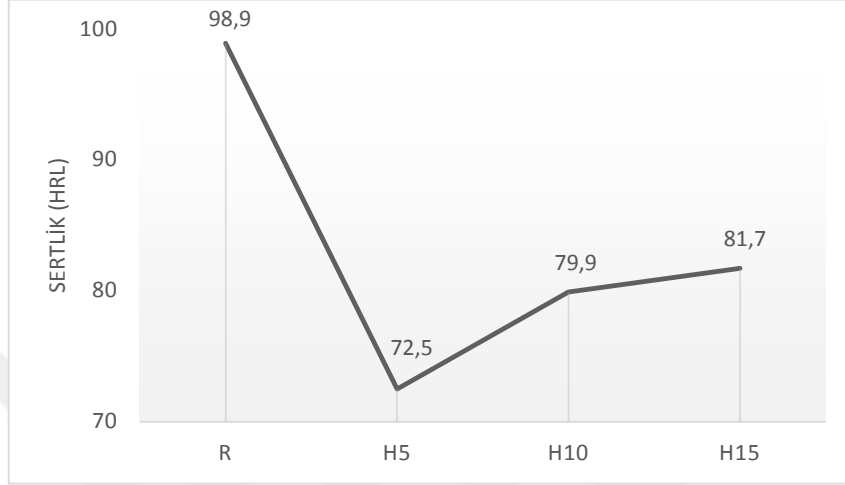
Şekil 7. 29. Referans Numune ve Keten Tozu Katkılı Numunelerin Sertlik Değerleri

Kenevir tozu katkılı numunelerin sertlik değerleri Şekil 7.30’da gösterilmiştir. %5 kenevir içeren numune en yüksek sertlik değerindedir. Fakat kenevir oranı artıkça değerlerde az da olsa düşüş gözlemlenmiştir. R kodlu numune KN5 kodlu numuneye göre daha düşük sertlik değerindedir.



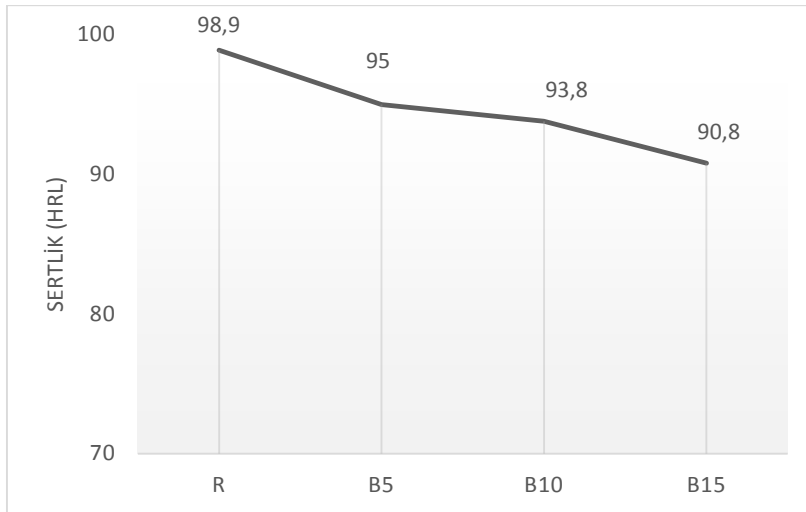
Şekil 7. 30. Referans Numune ve Kenevir Tozu Katkılı Numunelerin Sertlik Değerleri

Hindistan cevizi kabuğu tozu katkılı numunelerin sertlik değerleri Şekil 7.31’de gösterilmiştir. Hindistan cevizi kabuğu oranı artıkça numune sertlik değerlerinde artış görülmektedir. H kodlu numunelere ait sertlik değerleri R kodlu numunenin sertlik değerinden düşüktür.



**Şekil 7. 31.** Referans Numune ve Hindistan Cevizi Tozu Katkılı Numunelerin Sertlik Değerleri

Şekil 7.32’de verilen bambu tozu katkılı numunelerin sertlik değerleri yüksektir. Fakat bambu oranı artıkça değerlerde azalma görülmüştür. B kodlu numunelerin sertlik değerleri R kodlu numunenin sertlik değerinden düşüktür.



**Şekil 7. 32.** Referans Numune ve Bambu Tozu Katkılı Numunelerin Sertlik Değerleri

Sertlik testi sonuçlarına göre en yüksek sertlik değeri KN5 kodlu numuneye, en düşük sertlik değeri ise H5 kodlu numuneye aittir. R kodlu numunede ise sertlik en yüksek değere yakın bir değer olarak ölçülmüştür. H kodlu numunede ise malzeme oranı arttıkça sertlik oranının arttığı gözlemlenmiştir. M, KT, KN, B kodlu numunelerde katılan malzeme oranı arttıkça sertlik değerleri düşmüştür. Bunun nedeni, numunelere eklenen organik atık oranının artmasıyla malzemelerden kaynaklı olarak numunenin sünek bir yapıya dönüşmesi olabilir. Çok yumuşak sonuçlar düşük yoğunluklu daha yüksek aşınmayı, çok sert sonuçlar ise kırılabilirliği gösterebilir (Maleque vd.,2012:166-170).

**Tablo 7. 6. Tüm Numunelerin Özellikleri**

Numune Kodu	Özgül Aşınma Miktarı $\times 10^{-6}$ (cm <sup>3</sup> /(N.m))	Sertlik (HRL)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ortalama Sürtünme Katsayısı	Sürtünme Kararlılığı (%)	Balata Sınıfı
<b>R</b>	2.822	98.9	2.253	0.373	86.7	F
<b>M5</b>	4.601	87.0	2.058	0.274	70.2	E
<b>M10</b>	4.464	81.7	1.968	0.288	70.2	E
<b>M15</b>	5.140	80.3	1.916	0.309	75.3	E
<b>KT5</b>	2.791	95.2	2.044	0.479	79.8	G
<b>KT10</b>	3.686	93.4	1.995	0.454	85.6	G
<b>KT15</b>	4.748	81.7	1.894	0.369	83.8	F
<b>H5</b>	2.115	72.5	2.083	0.370	80.4	F
<b>H10</b>	2.704	79.9	1.958	0.497	80.2	G
<b>H15</b>	2.266	81.7	1.830	0.423	82.9	F
<b>KN5</b>	4.677	99.8	2.132	0.390	86.6	F
<b>KN10</b>	2.252	96.2	2.004	0.457	78.8	G
<b>KN15</b>	3.433	93.4	1.913	0.394	83.8	F
<b>B5</b>	3.639	95.0	2.104	0.368	89.7	F
<b>B10</b>	2.823	93.8	1.975	0.506	73.3	G
<b>B15</b>	2.456	90.8	1.947	0.377	76.9	F

Tablo 7.6 'da referans numune ve kütlece %5, %10 ve %15 organik atık içeren numunelerin özgül aşınma miktarı, sertlik, ortalama sürtünme katsayısı, yoğunluk, sürtünme kararlılığı ve balata sınıfı değerleri bir arada verilmiştir. Tablo 7.6'da verilen sonuçlara göre, bütün numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerlerinin TSE 555 (1992: Akt. Sugözü, 2016) standardına uygun olduğu görülmüştür.

### 7.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Numunelerin test öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, her bir numunede 4 farklı bölge üzerinden yapıp ortalaması alınmıştır. Üretilen kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 7.7' de verilmiştir.

Numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri test sonrasında, test öncesine göre azalma göstermiştir. Deney öncesinde en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 1.28 olarak KN5 kodlu numunede, en düşük değer ise 0.76 olarak B15 kodlu numunede ölçülmüştür. Deney sonrasında en yüksek değer 0.96 olarak M5 kodlu numunede, en düşük 0.63 değeriyle M15 kodlu numunede ölçülmüştür. Numunelerde katkı malzeme miktarı artıkça yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma görülmüştür.


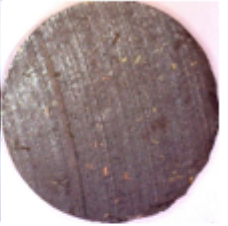

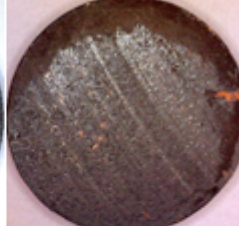







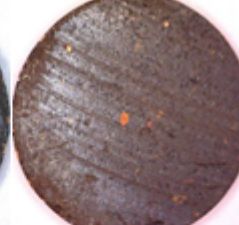

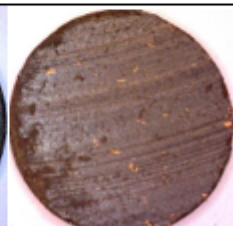


**Tablo 7. 7.** Numunelerin Yüzey Pürüzlülüğü

<b>Numune Kodu</b>	<b>Deney Öncesi Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)</b>	<b>Deney Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)</b>
<b>R</b>	0.91	0.82
<b>M5</b>	1.17	0.96
<b>M10</b>	0.99	0.72
<b>M15</b>	0.82	0.63
<b>KT5</b>	0.97	0.91
<b>KT10</b>	0.93	0.89
<b>KT15</b>	0.89	0.86
<b>H5</b>	1.01	0.91
<b>H10</b>	1.00	0.90
<b>H15</b>	0.91	0.88
<b>KN5</b>	1.28	0.94
<b>KN10</b>	0.9	0.75
<b>KN15</b>	0.8	0.74
<b>B5</b>	1.1	0.82
<b>B10</b>	1.04	0.73
<b>B15</b>	0.76	0.67

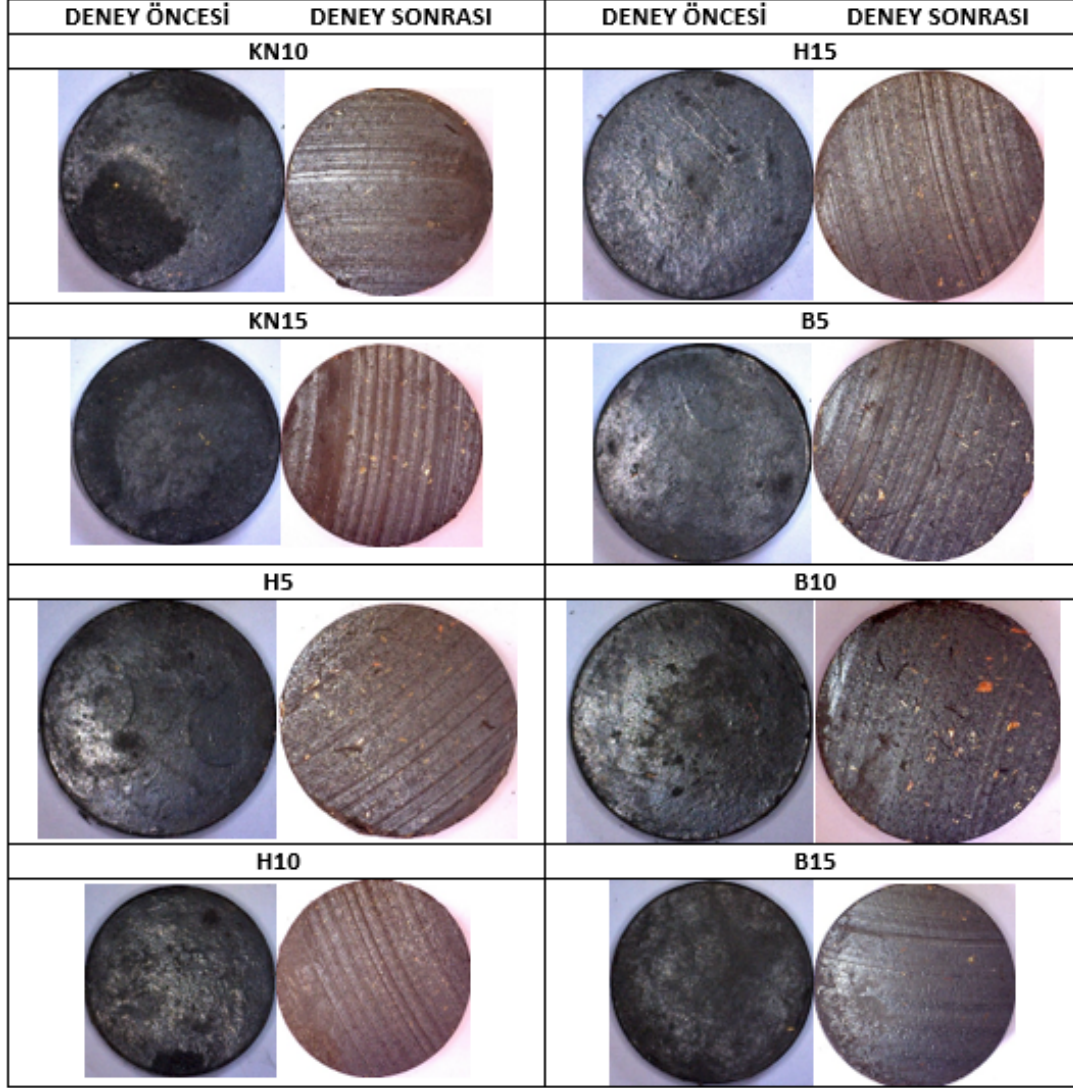
## 7.6. Yüzey Karakteristiği ve Mikroyapı İncelemeleri

Üretilen numunelerin mikroyapısını incelemek ve kimyasal bileşimini saptamak amacıyla dijital USB mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.

Numunelerin test öncesi ve test sonrası alınan USB mikroskop resimleri Şekil 7.33 ve Şekil 7.34'te görülmektedir. Resimler incelendiğinde numune içeriğinde bulunan bakır talaşı diğer tozlara göre daha büyük olduğundan dolayı aşınma öncesinde belirgin olarak görülmektedir. Sürtünme testi sonrasında ise numune yüzeyinden kopan partiküllerden dolayı bakır talaşı ile birlikte çelik yünü ve pirinç talaşı da görülmüştür.

DENEY ÖNCESİ	DENEY SONRASI	DENEY ÖNCESİ	DENEY SONRASI
<b>R</b>		<b>KT5</b>	
			
<b>M5</b>		<b>KT10</b>	
			
<b>M10</b>		<b>KT15</b>	
			
<b>M15</b>		<b>KN5</b>	
			

**Şekil 7. 33.** Numunelerin Test Öncesi ve Test Sonrası USB Mikroskop Görüntüleri

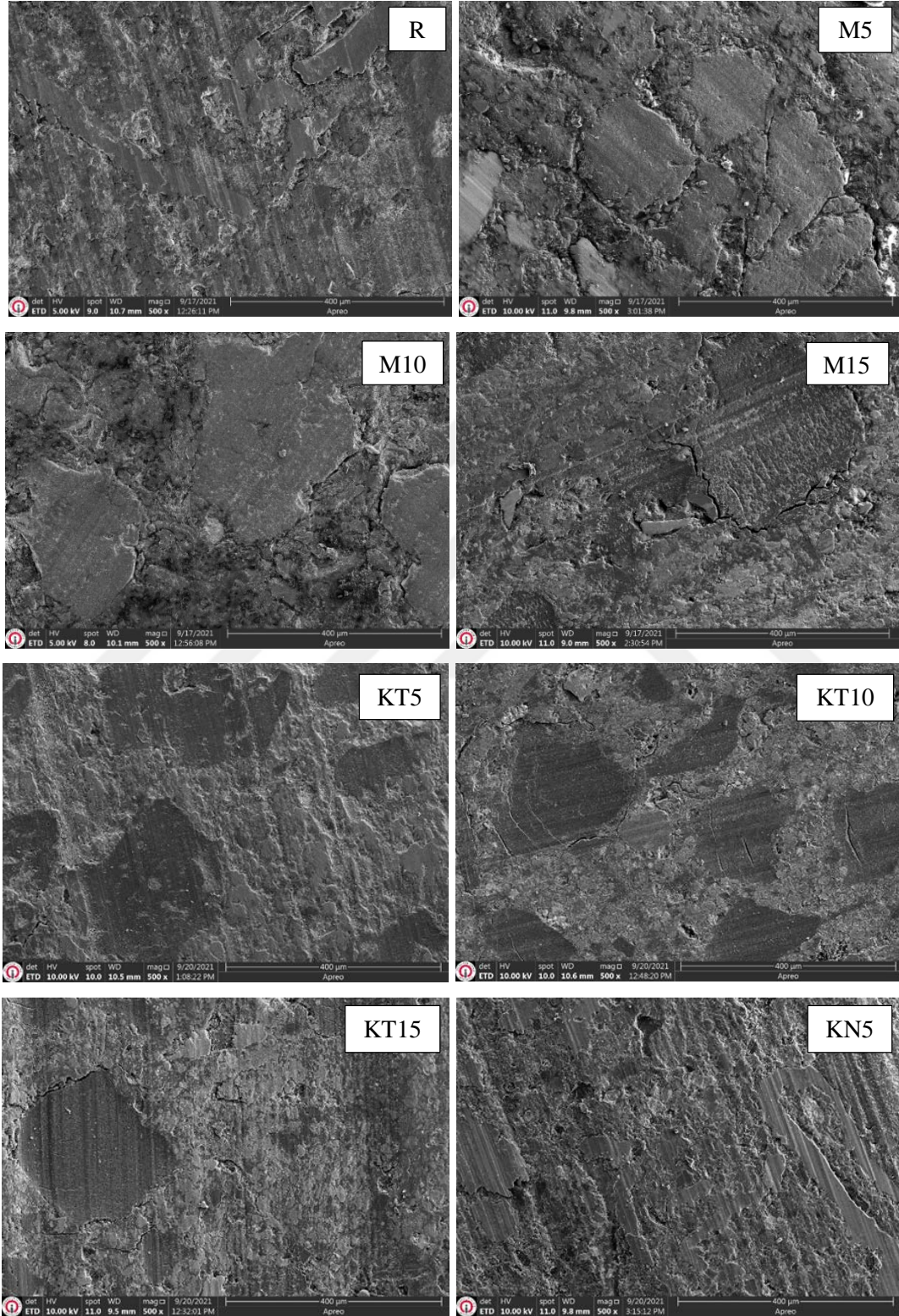


**Şekil 7. 34.** Numunelerin Test Öncesi ve Test Sonrası USB Mikroskop Görüntüleri

Bütün balata numunelerinin yüzeyi test sonrasında SEM ile 500x büyütülerek incelenmiştir. Şekil 7.35 ve Şekil 7.36 numunelerin aşınmış yüzeylerinin morfolojisini göstermektedir.

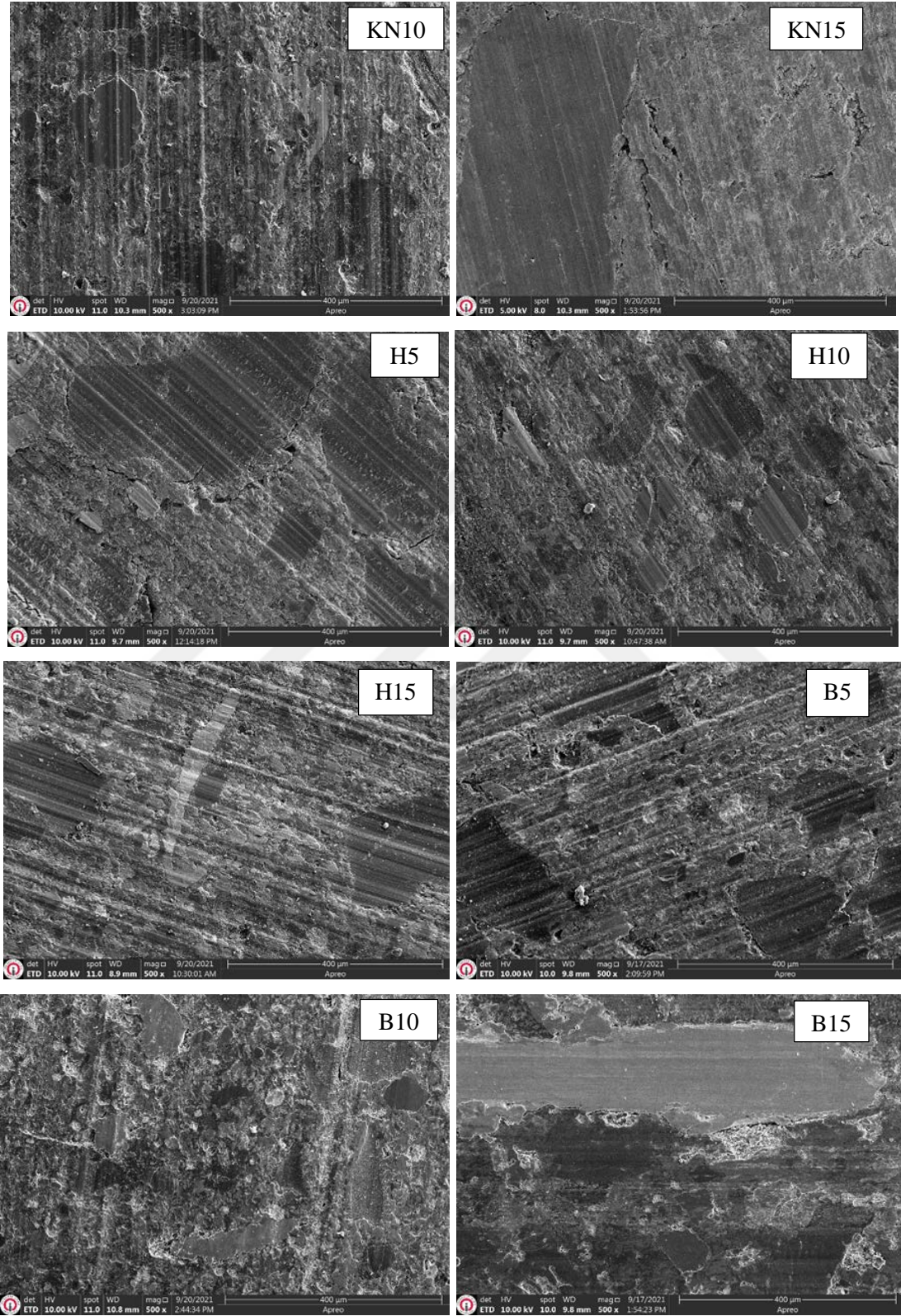
Balata kompozisyonu içeriğinde bulunan ve sertlik değeri diğer bileşenlere göre daha yüksek olan malzemeler (abrazifler) sürtünme esnasında çok az aşınırlar ya da hiç aşınma göstermezler. Böylece disk ile balata arasında sürtünme alanları meydana getirirler. Sürtünme ile diskten ya da balata yüzeyinden kopan aşınma kalıntıları sert partikülün etrafında sıkışarak birikir. Sürtünmenin devam etmesiyle meydana gelen sıcaklığın da etkisiyle sürtünme alanları büyüyerek sürtünme filmlerini oluşturmaktadır (Sugözü, 2016).

SEM resimlerinde gri renkte görülen bölgeler sürtünme ara yüzeyinde oluşan sürtünme filmidir. Sürtünme filmi bu görüntülerde açık gri renkte görülebilmektedir.



Şekil 7. 35. Numunelerin Test Sonrası SEM ile Çekilmiş Yüzey Görüntüleri

Sürtünme yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde mikro çatlaklar, boşluklar, adhezif aşınma ile abrazif aşınmayı gösteren izlerin bulunduğu görülmektedir.



Şekil 7. 36. Numunelerin Test Sonrası SEM ile Çekilmiş Yüzey Görüntüleri

Sürtünme sırasında balata ile disk arasına giren tanecikler yüzey üzerinde bir akma/kayma davranışı oluşturabilir. Bu kayma davranışı daha yavaş bir aşınmaya neden olur. Kayma ve abrazyon arasındaki fark çok belirgin değildir (Sugözü, 2016).

Mısır kabuğu katkılı numunelerin Tablo 7.6' da verilen aşınma ve sürtünme değerleri incelendiğinde sürtünme katsayılarının diğer numunelere göre daha düşük olduğu fakat aşınma oranlarının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, M kodlu numunelerin sürtünme filmlerinin oluşmadığından meydana gelmiştir. SEM görüntülerinde de sürtünme filmlerinin çok fazla oluşmadığı görülmektedir. Aşınma oranının yüksek olması ise abrazyonun bir sonucu olarak yüzeyden parça kopması sonucu oluşmuştur. Şekil 7.25'de verilen B15 kodlu numunenin grafiği incelendiğinde sürtünme katsayısının sıcaklık artışına bağlı olarak sürtünme tabakası oluşana kadar yükseldiği daha sonra sürtünme tabakası gelişimine bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Sürtünme katsayısındaki artışın ve Tablo 7.6'da verilen aşınma oranının oldukça düşük olmasının Şekil 7.36'da B15 kodlu numuneye ait SEM görüntüsündeki ara yüzeyde oluşan sürtünme filminden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla disk ile balata ara yüzeyinde oluşan sürtünme filminin balatanın sürtünme katsayısı ve aşınma oranı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılabilir (Ertan, 2008).

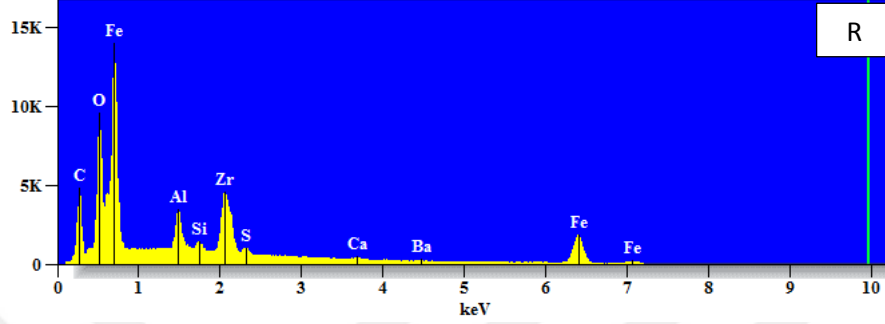
Numune yüzeyinde kalın bir sürtünme tabakası katmanı oluşması, abrazyonun sonucu ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkarılan alanlar baskın olarak yüzeyin yakınında grafit varlığı ile ilişkilendirilebilir. Grafit, yağlama özellikleri ile karakterize edilir ve bu durum sürtünme tabakasının düşük yapışması olarak belirtilebilir (Sugözü vd., 2018: 55-62).

## 7.7. EDS Analizi

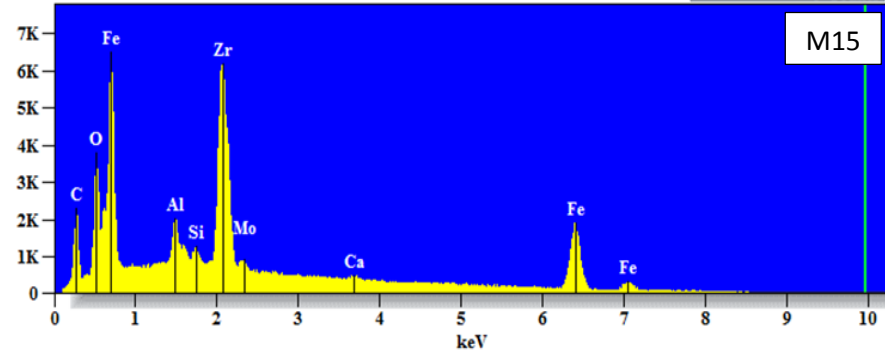
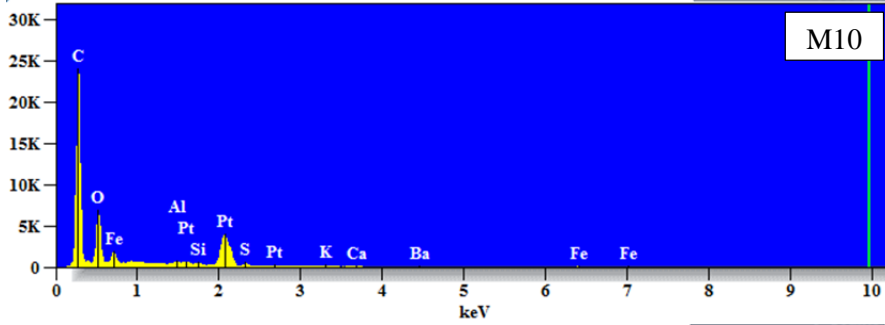
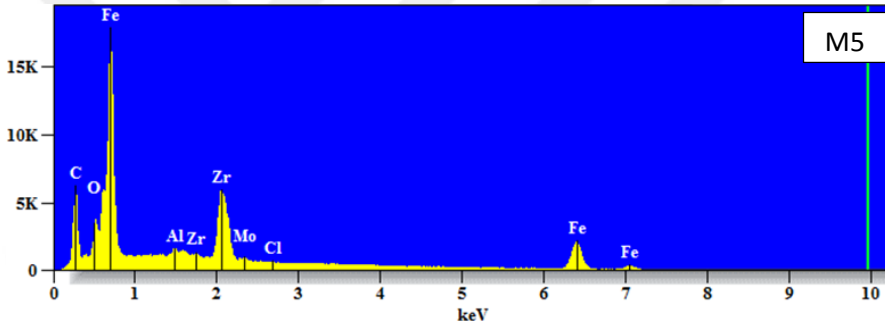
Numunelerin kimyasal bileşenleri test sonrasında SEM resimlerine bağlı EDS analizlerinden elde edilen sonuçlardan saptanmıştır. Şekil 7.37 – Şekil 7.42 numunelere ait EDS analizlerini göstermektedir.

Balata numunelerinde karbon, oksijen, kalsiyum, alüminyum, çinko, bakır, kobalt, platin, rubidyum, zirkonyum, silisyum, kükürt, azot, sodyum, baryum, potasyum, klor, molibden, magnezyum ve demir elementleri görülmüştür. EDS analizlerinde, numunelerin üretiminde kullanılan malzemelere ait elementler yüzey alanlarında görülmektedir. Balatayı oluşturan malzemelerden barit baryum elementini, grafit ise carbon elementini içerebilmektedir. Novalak tip fenolik reçine, formaldehit ( $CH_2O$ ) ve fenolün ( $C_6H_5OH$ ) asidik ortam veya katalizör etkisiyle reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. Çelik yünü, demir-karbon alaşımı, pirinç ise bakır-çinko alaşımıdır. Pirinç içerisinde bulunabilen diğer bazı elementler

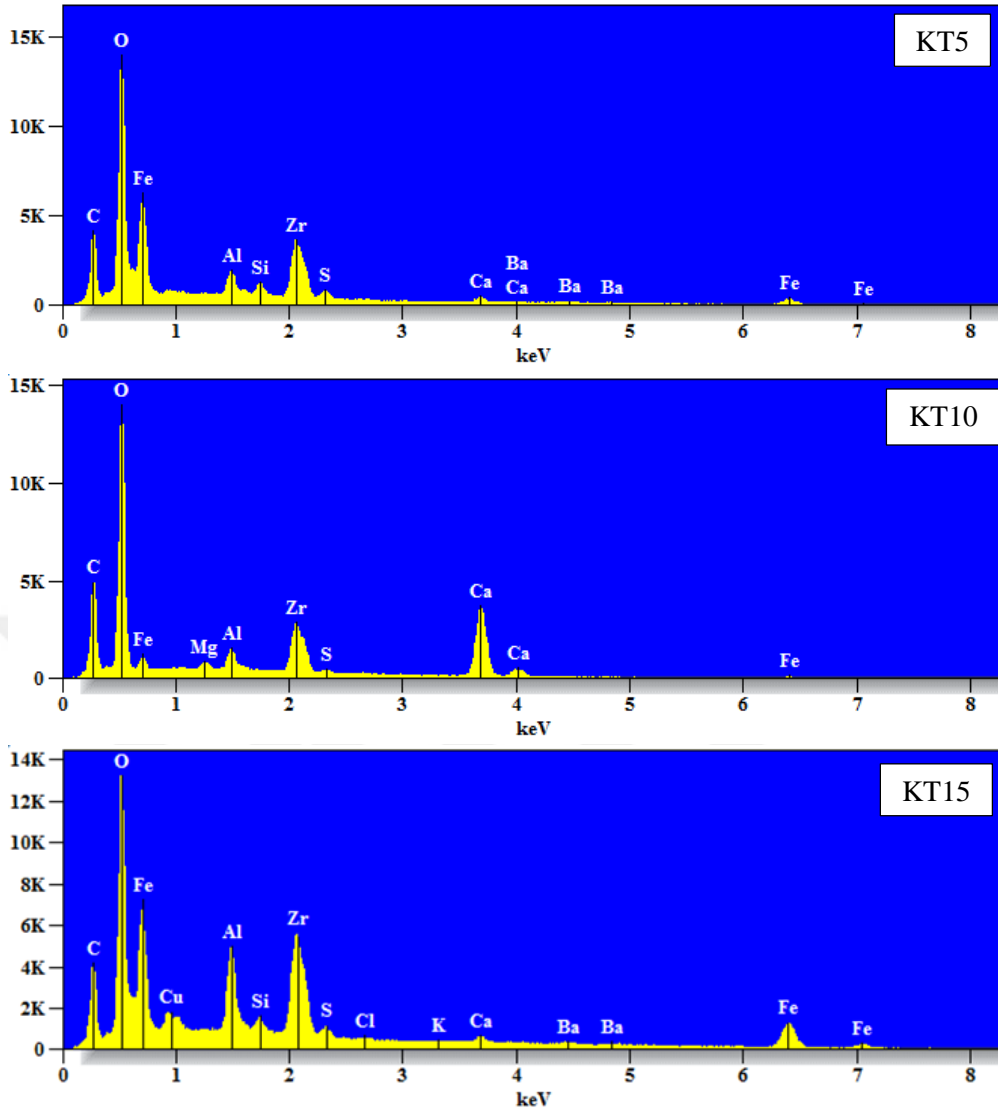
kalay, kurşun, nikel, mangan, alüminyum, demir, arsenik, antimon ve fosfordur (Sugözü, 2019: 1458-1465). Balata kompozisyonu içeriğinde bulunan maun cevizi tozunun ise kimyasal bileşimi tam olarak bilinmemekle birlikte, balata içeriğinde bulunmayan fakat EDS görüntülerinde az miktarda ortaya çıkan kalsiyum ve magnezyum elementleri maun cevizi içeriğinden gelmektedir (Handa ve Kato, 1996: 346-353).



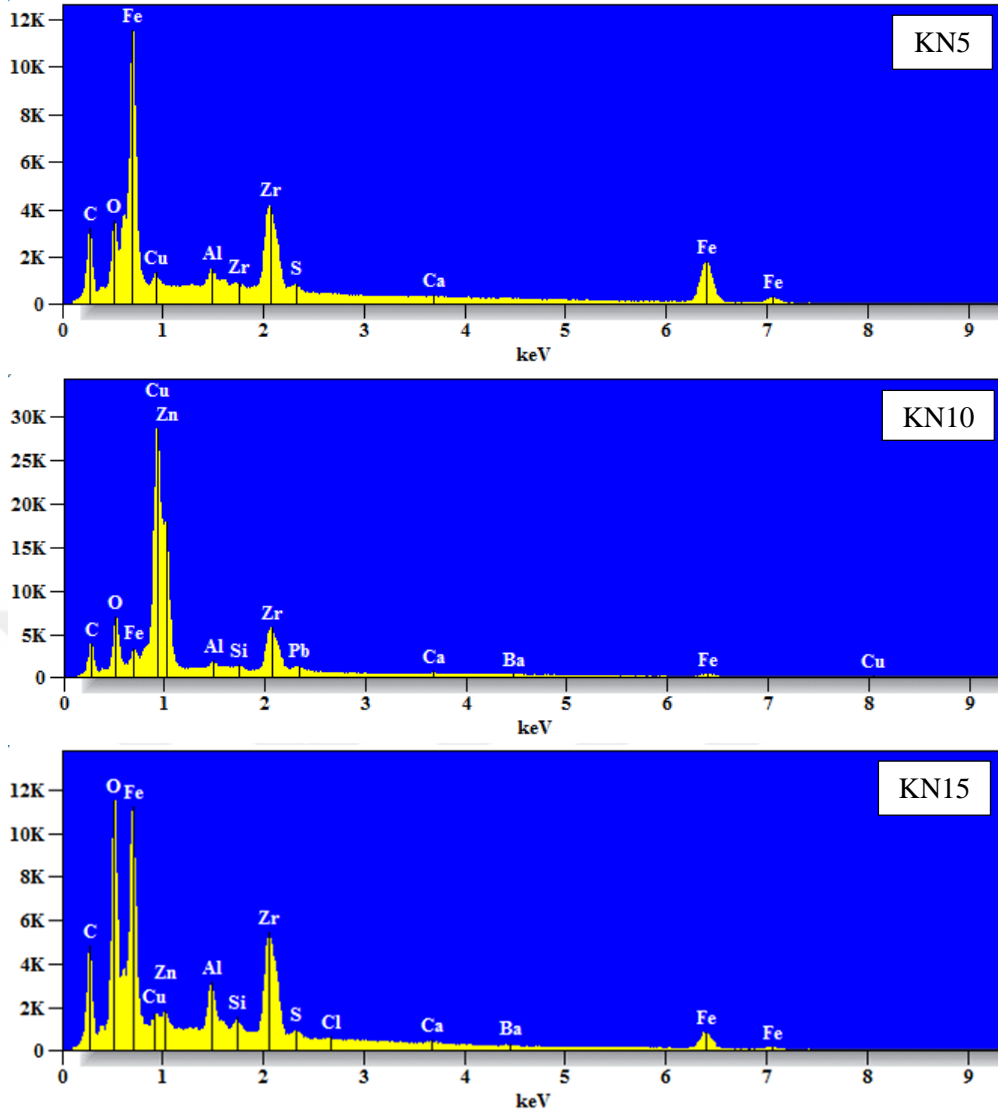
Şekil 7. 37. R Kodlu Numunenin EDS Analizi



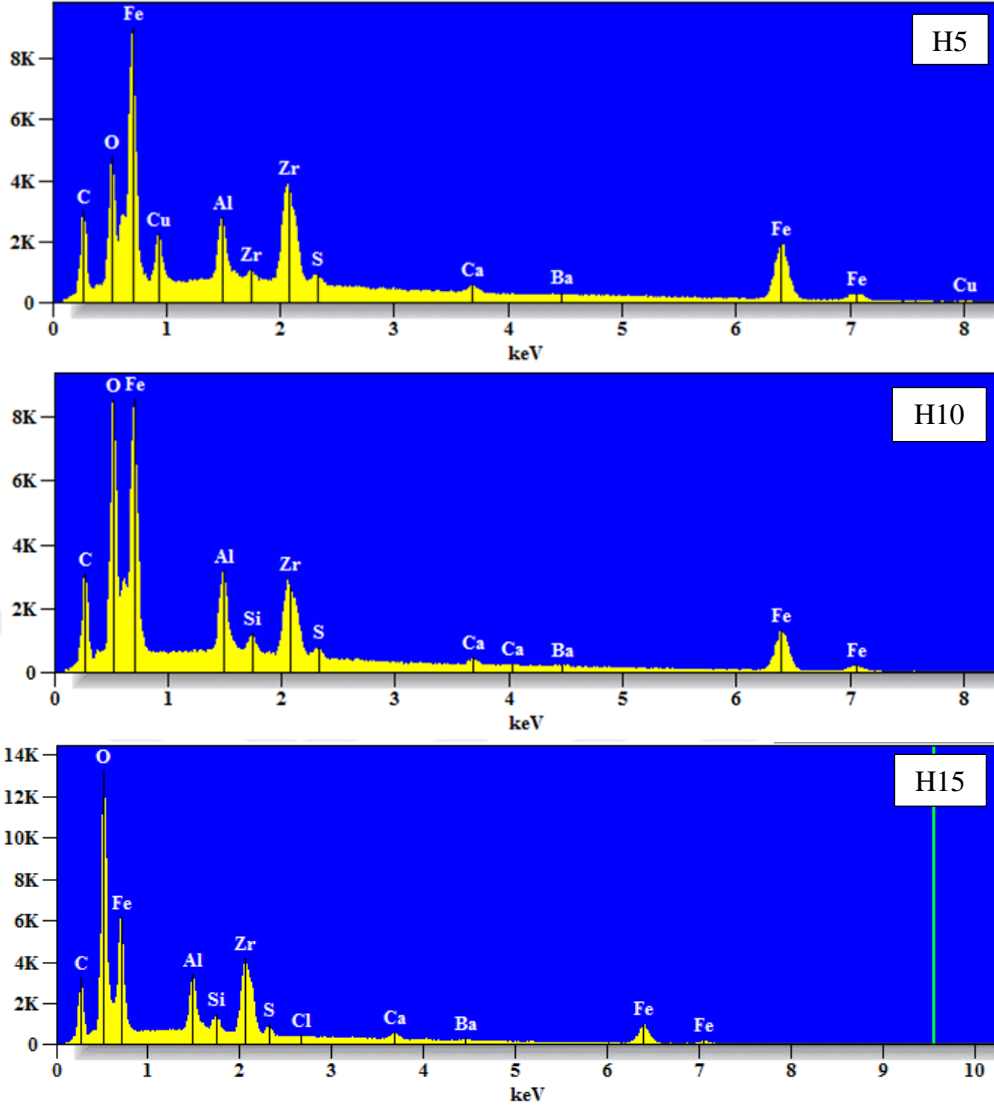
Şekil 7. 38. Mısırsı Kabuğu Katkılı Numunelerin EDS Analizi



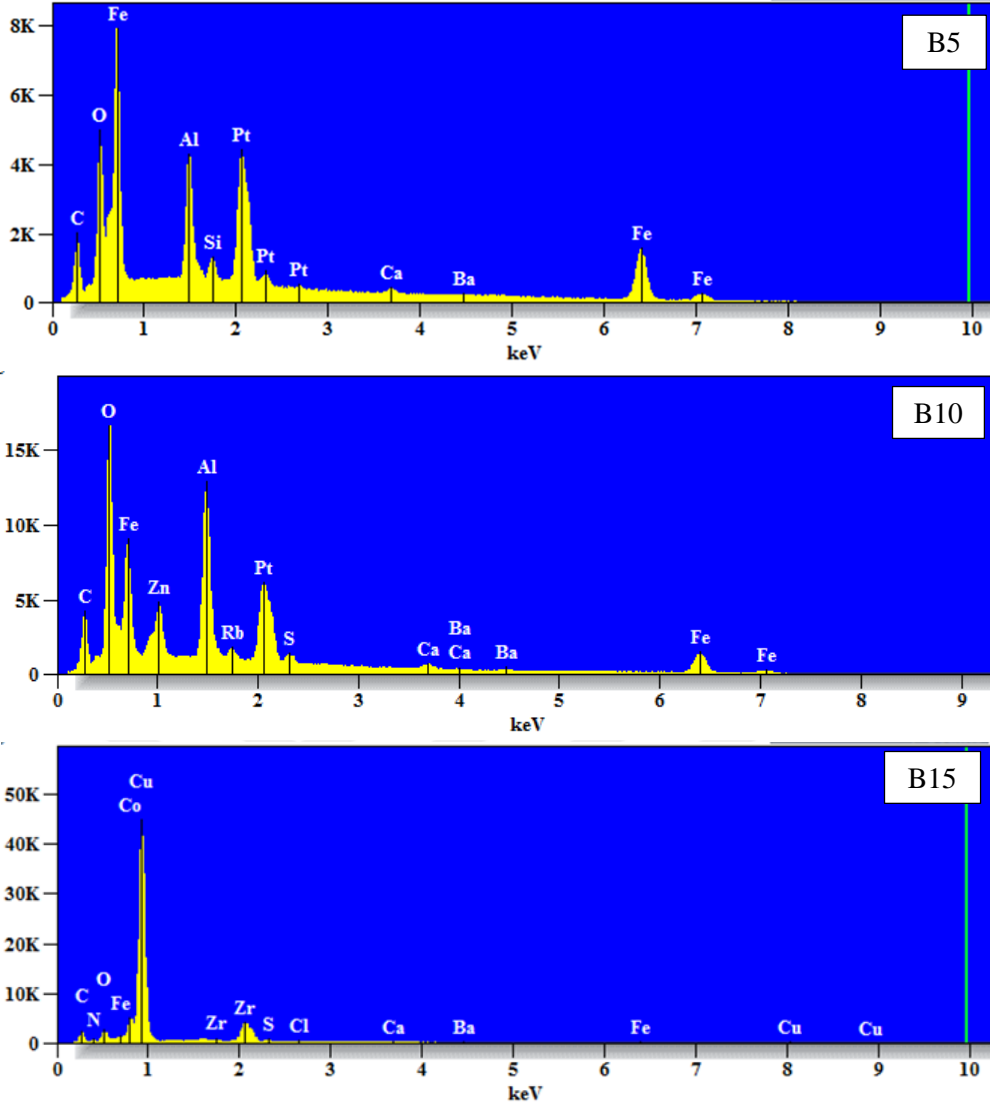
Şekil 7. 39. Keten Katkılı Numunelerin EDS Analizi



Şekil 7. 40. Kenevir Katkılı Numunelerin EDS Analizi



Şekil 7. 41. Hindistan Cevizi Kabuğu Katkılı Numunelerin EDS Analizi



Şekil 7. 42. Bambu Katkılı Numunelerin EDS Analizi

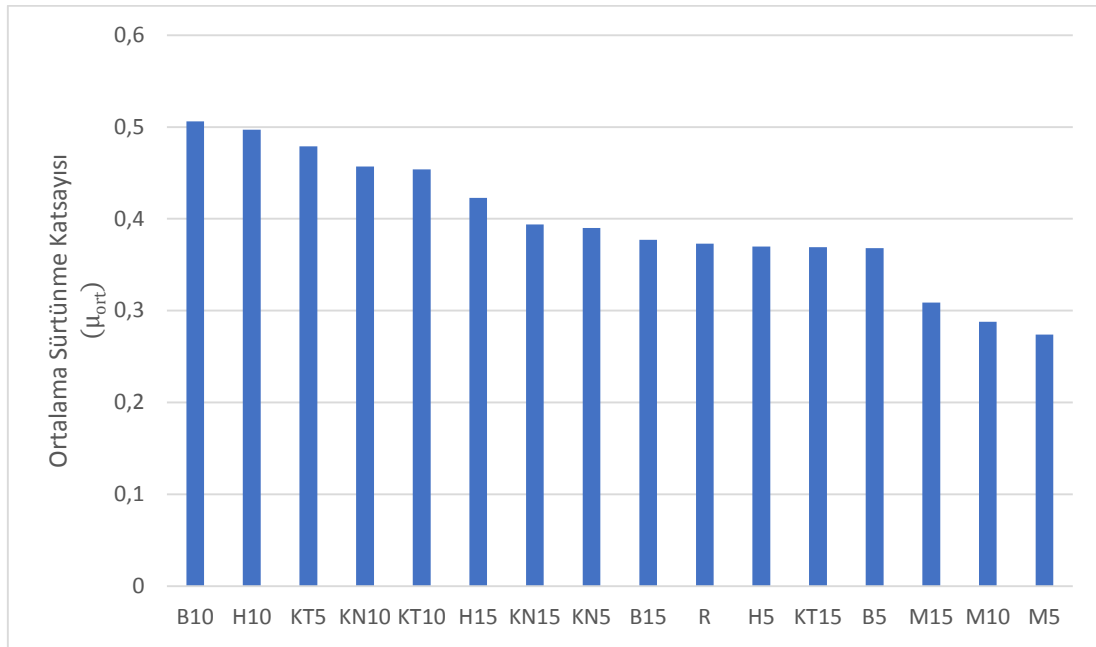
EDS analizleri incelenirken dikkate alınması gereken diğer bir nokta ise diski oluşturan malzemelerin elementleridir. Numunenin bilinen malzemelerinin içerisinde yer almayan elementlerin diskin yüzeyinden koparak numuneye yapışan partiküllerin olması ihtimali bulunmaktadır (Sugözü, 2016). Ayrıca numunelerde katkı malzemesi olarak kullanılan organik atıkların kimyasal bileşimi tam olarak bilinmediğinden EDS analizlerinde görülen diğer elementlerin organik atık içeriğinden de kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

### 7.8. Performans Değerlendirmesi

Bu çalışmada balataların sürtünme özelliklerini incelemek amacıyla mısır kabuğu, keten, kenevir, hindistan cevizi kabuğu ve bambu olmak üzere beş farklı malzeme içeriğine sahip olan 15 adet numune ve 1 adet referans numunesi olmak üzere 16 adet balata numunesi

üretimiştir. Farklı oranlarda üretilen numuneleri, aynı içerikli olanlarla ve içeriği farklı olan numunelerle daha iyi karşılaştırabilmek için sürtünme katsayıları Şekil 7.43'te, özgül aşınma miktarları Tablo 7.8 ve performans türleri Tablo 7.9'da birlikte verilmiştir.

Üretilen bütün balata numunelerinin ortalama sürtünme katsayısı ( $\mu_{ort}$ ) değerlerinin en yüksekten en düşüğe doğru sıralanışı Şekil 7.43' te gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek ortalama sürtünme katsayısının B10 kodlu %10 bambu tozu katkılı numuneye ait olduğu, en düşük değerin ise M5 kodlu %5 mısır kabuğu tozu katkılı numunede olduğu görölmektedir.



**Şekil 7. 43.** Balata Numunelerinin Ortalama Sürtünme Katsayıları

Balata özelliklerinde sürtünme katsayısının yüksek olması beklenirken özgül aşınma miktarının ise düşük olması beklenmektedir (Sugözü, 2016). Tablo 7.8'de numunelerin test sonrasında hesaplanan özgül aşınma miktarları en düşükten en yüksek'e sıralanmış şekilde verilmiştir. Numuneler arasında en düşük özgül aşınma miktarı %5 hindistan cevizi kabuğu tozu içeren H5 kodlu numunede, en fazla aşınma ise %15 mısır kabuğu tozu içeren M15 kodlu numunede görölmektedir. KT kodlu numunelerde katkı malzemesi oranı artıkça, B kodlu numunelerde ise katkı malzemesi oranı azaldıkça özgül aşınma miktarlarında artış görölmüştür.

**Tablo 7. 8.** Balata Numunelerinin Özgül Aşınma Miktarları

Numune Kodu	Özgül Aşınma Miktarı $\times 10^{-6}$ (cm <sup>3</sup> /(N.m))
H5	2,115
KN10	2,252
H15	2,266
B15	2,456
H10	2,704
KT5	2,791
R	2,822
B10	2,823
KN15	3,433
B5	3,639
KT10	3,686
M10	4,464
M5	4,601
KN5	4,677
KT15	4,748
M15	5,14

TSE 555 (1992: Akt. Sugözü, 2016) kapsamında sürtünme katsayılarına göre balatalar dört çeşittir. Tablo 7.9'da balata numunelerinin harflerle gösterilen performans türleri verilmiştir.

**Tablo 7. 9.** Balata Numunelerinin Performans Türleri

Numune Kodu	Performans Türü
M5	E
M10	E
M15	E
R	F
KT15	F
H5	F
H15	F
KN5	F
KN15	F
B5	F
B15	F
KT5	G
KT10	G
H10	G
KN10	G
B10	G

## BÖLÜM VIII

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, balata kompozisyonunu oluşturan malzemelere ilave olarak beş ayrı organik atık malzeme kullanımının fren balata performansındaki etkileri uygulanan deneylerle incelenmiştir. Kütlece üç farklı oranda (%5, %10 ve %15), beş farklı malzeme kullanılarak 15 adet numune ve 1 adet referans numunesi olmak üzere toplam 16 adet balata numunesi üretilmiştir. Balata içeriğinde dolgu malzemesi olarak kullanılan barit dışında diğer malzeme oranları sabit tutularak katkı malzeme oranlarında değişiklik yapılmıştır. Üretilen numunelerin sürtünme katsayısı ve özgül aşınma miktarları aşınma test cihazında uygulanan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Numunelerin yüzey karakteristiğini ve mikroyapısını incelemek amacıyla sürtünme testi öncesi USB mikroskop ve test sonrası ise USB mikroskop, SEM ve EDS görüntüleri alınmıştır.

Uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar;

1. Sürtünme testi uygulanan bütün numuneler arasından en yüksek sürtünme katsayısına 0.506 değeriyle kütlece %10 bambu içerikli B10 kodlu numune, en düşük sürtünme katsayısına ise 0.274 değeriyle kütlece %5 mısır kabuğu tozu içerikli M5 kodlu numune sahiptir.
2. Numuneler arasında en fazla aşınmayı %15 mısır kabuğu tozu içeren M15 kodlu numune, en az aşınmayı ise %5 hindistan cevizi kabuğu tozu içeren H5 kodlu numune göstermiştir.
3. Mısır kabuğu içeren numunelerde mısır kabuğu oranı arttıkça numunelerin ortalama sürtünme katsayısı artmasına rağmen, sertlik ve yoğunluk değerlerinde azalma görülmüştür. Mısır kabuğu içerikli numunelerin ortalama sürtünme katsayısı, sertlik ve yoğunluk değerleri referans numunesinin değerlerinden daha düşüktür.
4. Keten içeren numunelerde keten oranı arttıkça ortalama sürtünme katsayısı, sertlik ve yoğunluk değerlerinde azalma, aşınma değerlerinde ise artış görülmüştür. Keten içerikli numunelerin sonuçları incelendiğinde en iyi değerleri KT5 kodlu numune vermiştir.
5. Kenevir içeren numunelerde kenevir oranı arttıkça ortalama sürtünme katsayısında önce artış daha sonra azalma görülmüştür. Kenevir oranı arttıkça sertlik ve yoğunluk değerlerinde azalma görülmüştür. Kenevir içerikli numunelerin sonuçları

incelendiğinde en düşük aşınma oranı ve iyi performans değerlerinin KN10 kodlu numunede olduğu belirlenmiştir.

6. Hindistan cevizi kabuğu içeren numunelerde hindistan cevizi kabuğu oranı artıkça ortalama sürtünme katsayısında önce artış daha sonra azalma görülmüştür. H kodlu numunelerin sertlik değerlerinde artış, yoğunluk değerlerinde azalma olmuştur. Hindistan cevizi kabuğu içerikli numunelerden H10 kodlu numune en iyi performansı göstermiştir.
7. Bambu içeren numunelerde bambu oranı artıkça ortalama sürtünme katsayısında ilk olarak yükselme daha sonra düşüş gözlenmiştir. Sertlik ve yoğunluk değerlerinde azalma görülmüştür. Bambu içerikli numuneler arasında en iyi performansı B10 kodlu numune sergilemiştir.
8. Çalışmada kullanılan katkı malzemeleri bir arada değerlendirildiğinde en iyi sürtünme performansı sıralaması yüksekten düşüğe doğru bambu, hindistan cevizi, keten, kenevir, mısır kanuğu olarak belirlenmiştir.
9. Numuneler test sonrası taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı ile 500x büyütme ile analiz edilmiştir. Numunelerin test sonrası mikroyapıları incelendiğinde sürtünme yüzeylerinde sürtünme tabakaları, abrazif aşınmalar, boşluklar ve adeziv aşınmalar olduğu görülmüştür.

## 8.2. Öneriler

1. Çalışmalarda üretilen balata numune içerikleri ve oranları sabit tutularak deney parametrelerinin değiştirilmesi halinde sıcaklık, basınç ve sürenin numunelerin özelliklerine etkisi hakkında daha iyi sonuçlar elde edilebilir.
2. Yoğunluk ve sertlik değerleri düşük olan numunelerin üretim aşamasında presleme basınçları artırılarak balataların yoğunluğu ve sertliği artırılabilir. Ayrıca homojenlik ve yoğunluk artışının sağlanması, boşluk hacminin azaltılması için ek olarak ısıtma işlemi uygulanabilir.
3. Balata içeriğinde kullanılan tüm malzemelerin kimyasal bileşimleri belirlendiğinde EDS analizlerinde görüntülenen elementler ve davranışları hakkında daha net yorumlar oluşturulabilir.
4. Organik atık malzeme kullanılarak üretilen numunelerin deney sonuçlarından elde edilen olumlu özelliklere bakıldığında kullanılan malzeme oranlarının değiştirilerek ya da alternatif olarak farklı malzemeler kullanarak daha fazla çalışma yapılabilir.

## KAYNAKÇA

Adegbola, J. O., Adedayo, S. M., & Ohijeagbon, I. O. (2017). Development of Cow Bone Resin Composites as a Friction Material for Automobile Braking Systems. *Journal of Production Engineering*, 20(1).

Adeyemi, I. O., Nuhu, A. A., & Thankgod, E. B. (2016). Development of asbestos-free automotive brake pad using ternary agro-waste fillers. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 3(7).

Aigbodion, V. S., Akadike, U., Hassan, S. B., Asuke, F., & Agunsoye, J. O. (2010). Development of asbestos-free brake pad using bagasse. *Tribology in industry*, 32(1), 12.

Akıncıoğlu, G., Öktem, H. A. S. A. N., Uygur, I., & Akıncıoğlu, S. (2018). Determination of friction-wear performance and properties of eco-friendly brake pads reinforced with hazelnut shell and boron dusts. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(9), 4727-4737.

Akpınar, G., Köksal, N. S., Mutlu, İ., & Sugözü, İ. (2011). Karaçam Kozalağının Otomotiv Fren Balatalarında Kullanımının Araştırılması. 9.Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul.

Bala K. C., Okoli M., Abolarin M. S., (2016). Development of automobile brake lining using pulverized cow hooves. *Leonardo Journal of Science*, , 15(28): 95-108.

Bijwe, J. (1997). Composites as friction materials: Recent developments in non-asbestos fiber reinforced friction materials—a review. *Polymer composites*, 18(3), 378-396.

Bijwe, J., Aranganathan, N., Sharma, S., Dureja, N., & Kumar, R. (2012). Nano-abrasives in friction materials-influence on tribological properties. *Wear*, 296(1-2), 693-701.

Chan, D. S. E. A., & Stachowiak, G. W. (2004). Review of automotive brake friction materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 218(9), 953-966.

Edokpia, R. O., Aigbodion, V. S., Obiorah, O. B., & Atuanya, C. U., (2014). Evaluation of the properties of ecofriendly brake pad using egg shell particles–Gum Arabic. *ScienceDirect Elsevier*.

Elakhame, Z. U., Alhassan, O. A., & Samuel, A. E. (2014). Development and production of brake pads from palm kernel shell composites. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(10), 735-744.

Eriksson, M. (2000). Friction and contact phenomena of disc brakes related to squeal. *Acta Universitatis Upsaliensis*.

Eriksson, M., Bergman, F., & Jacobson, S. (2002). On the nature of tribological contact in automotive brakes. *Wear*, 252(1-2), 26-36.

Ertan, R. (2008). Fren Balata Malzemelerinin Optimizasyonu Ve Üretim Parametrelerinin Analizi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Ertan, R., & Yavuz, N. (2010). An experimental study on the effects of manufacturing parameters on the tribological properties of brake lining materials. *Wear*, 268(11-12), 1524-1532.

Gurunath, P. V., & Bijwe, J. (2007). Friction and wear studies on brake-pad materials based on newly developed resin. *Wear*, 263(7-12), 1212-1219.

Gümüş, E. (2012). Otomotivde kullanılan kompozit sürtünmeli fren balatalarında yerli uçucu kül katkısının balata özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Güven, Ş. (2011). Toz metalurjisi ve metalik köpükler. *Teknik Bilimler Dergisi*, 1(2), 22-28.

Handa, Y., & Kato, T. (1996). Effects of Cu powder, BaSO<sub>4</sub> and cashew dust on the wear and friction characteristics of automotive brake pads. *Tribology Transactions*, 39(2), 346-353.

Idris, U. D., Aigbodion, V. S., Abubakar, I. J., & Nwoye, C. I. (2015). Eco-friendly asbestos free brake-pad: Using banana peels. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 27(2), 185-192.

Keskin, E. (2019). Zeytin çekirdeği tozlarının taşıt fren balatalarında kullanımı ve aşınma özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.

Köksal, Ü. (2021). Toz Metalurjisi İle Üretilen W-Nb-V İlave Edilen Ni-Mo Çeliğine Sinterleme Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.

Köse, Y. B. (2019). Raylı taşımacılıkta kullanılan kompozit fren sabolarının üretim parametrelerinin frenleme performansına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

Kurt, H. A., (2019). Bor karbür takviyeli fren balatalarının mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Lampert, R. A., Biermann-Weaver, J. M., Jain, V. K., & Shih, P. T. K. (1998). Resin Mixture For Friction Materials. U.S. Patent No. 5,753,018. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Maleque, M. A., Atiqah, A., Talib, R. J., & Zahurin, H. (2012). New natural fibre reinforced aluminium composite for automotive brake pad. International journal of mechanical and materials engineering, 7(2), 166-170.

Maluf, O., Angeloni, M., Milan, M. T., Spinelli, D., & Bose Filho, W. W. (2007). Development of materials for automotive disc brakes. Minerva, 4(2), 149-158.

Pranta, M. H., Rabbi, M. S., Banik, S. C., Hafez, M. G., & Chu, Y. M., (2021). A computational study on structural and thermal behavior of modified disk brake rotors. Alexandria Engineering Journal, 61(3), 1882-1890.

Sarıyerli Domaç, G. S. (2006). Disk frenlerin tasarım ve tribolojik açıdan incelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Singaravelu, D. L., Vijay, R., Manoharan, S., & Kchaou, M. (2019). Development and performance evaluation of eco-friendly crab shell powder based brake pads for automotive applications. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 16(2), 6502-6523.

Sugoza, I., Mutlu, I., & Sugoza, K. B. (2018). The effect of ulexite to the tribological properties of brake lining materials. Polymer Composites, 39(1), 55-62.

Sugözü, B. (2016). Nano silika, nano alümina ve nano zirkon aşındırıcı parçacık katkısının fren balata özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Sugözü, I. (2019). Kompozit fren balatasında bakır oranının frenleme karakteristiğine etkisi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(4), 1458-1465.

Sugözü, İ. (2009). Bor Katkılı Asbestosuz Otomotiv Fren Balatası Üretimi Ve Frenleme Karakteristiğinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Sugözü, İ., & Kahya, K. (2018). Investigation of the Effect on Tribological Properties of the use of Pinus Brutia Cone as a Binder in Brake Pads. European Mechanical Science, 2(4), 115-118.

Sugözü, İ., & Mutlu, İ. (2008). Fren balata malzemelerinin sürtünme ve aşınmaya etkisinin incelenmesi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi (elektronik), 5(4), 33-40.

Sugözü, K. B. (2015). Otomotiv Fren Balata Malzemelerinde Maun Cevizi Tozunun Sürtünme Performansına Etkisi. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(2), 166-177.

Timur, M., & Kılıç, H. (2013). Mermer Atıkları Kullanılarak Üretilen Otomotiv Fren Balatasının Sürtünme Katsayısının Farklı Fren Balataları İle Karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(1), 10-14.

Toros, M. (2011). Fren Balatalarında Nano Malzemelerin Kullanımının Frenleme Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması. Selcuk University Institute of Natural and Applied Science. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 113.

TS 555 Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtülmeli Frenler İçin, 1992.

TS 9076 Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları ile Değerlendirilmesi, 1991.

Virta, R. L. (2002). Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses. p.28. Washington, DC: US Department of the Interior, US Geological Survey.

Yavuzaslan, N., (2006). Otomobillerde fren sistemleri ve incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yawas, D. S., Aku, S. Y., & Amaren, S. G. (2016). Morphology and properties of periwinkle shell asbestos-free brake pad. Journal of King Saud University-Engineering Sciences, 28(1), 103-109.

Yesnik, M. A. (1996). Friction Material Comprising Powdered Phenolic Resin And Method Of Making Same. U.S. Patent No. 5,529,666. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı**

**Doğum Tarihi**

**E-mail** :

**Öğrenim Durumu** :

<b>Derece</b>	<b>Bölüm/Program</b>	<b>Üniversite</b>	<b>Yıl</b>
Lisans			
Yüksek Lisans			