

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BOR KARBÜR TAKVİYELİ FREN BALATALARININ  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HASAN AYTUĞ KURT**

**BALIKESİR, EYLÜL - 2019**

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BOR KARBÜR TAKVİYELİ FREN BALATALARININ**  
**MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HASAN AYTUĞ KURT**

**Jüri Üyeleri : Dr.Öğr.Üyesi Recep KOÇ (Tez Danışmanı)**

**Prof.Dr.İrfan AY**

**Prof.Dr.İbrahim MUTLU**

**BALIKESİR, EYLÜL - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Hasan Aytuğ KURT tarafından hazırlanan "BOR KARBÜR TAKVİYELİ FREN BALATALARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 09.09.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

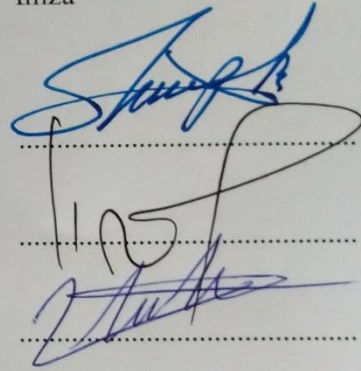
Jüri Üyeleri

Danışman  
Dr.Recep KOÇ

Üye  
Prof.Dr.İrfan AY

Üye  
Prof.Dr.İbrahim MUTLU

İmza



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....



**Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2019/022 nolu proje ile desteklenmiştir.**



## ÖZET

### BOR KARBÜR TAKVİYELİ FREN BALATALARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HASAN AYTUĞ KURT

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ RECEP KOÇ)

BALIKESİR, EYLÜL - 2019

Motorlu araç teknolojisindeki ilerlemeler neticesinde günümüzde hız/hızlanma kabiliyeti yüksek araçlar üretilmiş ve buna mukabil olarak bu araçların kontrolü için yüksek teknolojik fren balataları ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Uzun yıllardır balata teknolojisinin önemli hammaddelerinden olan asbestin, Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından kanserojen maddeler sınıflandırmasında “Kesin Kanserojen” olarak gruplandırılması bu malzemenin alternatiflerinin araştırılması ihtiyacını meydana getirmiştir.

Bu çalışmada dünya bor rezervinin yaklaşık %73'üne sahip olan ülkemizde bor türevi yüksek teknolojik malzemelerin üretiminin öneminden bahsedilmiştir. Asbest ve elyaf katkı malzemesi bulunmayan disk fren balatası üretimi için farklı kütleli yüzdelerde 10 ve 100 µm tane büyüklüğündeki bor karbür malzemesi takviye edilerek balata numuneleri üretilmiştir.

Sonuç olarak, üretilen numunelere TS 555 standardı kapsamında muhtelif testler uygulanmıştır. Ardından bor karbür takviyeli balata numuneleri yaygın kullanımda olan bir balata ile mekanik özellikler cihetinden karşılaştırılmış ve en uygun bor karbür takviyeli balata numunesi belirlenmiştir. Sonuç olarak, yeni oluşturulan bor karbür takviyeli balata malzemesinin aynı zamanda yeni kompozit malzeme olarak farklı alanlarda sürtünme malzemesi olarak kullanılabileceği öneriler sunulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELER:** Fren balatası, bor minerali, bor karbür, kompozit balata

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF BRAKE PADS REINFORCED BY BORON CARBIDE**

**MSC THESIS**

**HASAN AYTUĞ KURT**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. RECEP KOÇ )**

**BALIKESİR, SEPTEMBER 2019**

Due to advances in motor vehicle technology, nowadays, vehicles with high speed&acceleration capability have been produced, in addition, high technological brake pads have been required to control these vehicles. For many years, asbestos, one of the most important raw materials of padding technology, has been grouped by the International Agency for Research on Cancer (IARC) as "Definite Carcinogen" in the classification of carcinogenic substances, requiring the search for alternatives to this material.

In this study, the importance of producing boron-derived high-tech materials in our country, which has about 73% of the world boron reserves, has been discussed. For the production of asbestos and non-fiber additive disc brake liner, 10 and 100  $\mu\text{m}$  grain size of boron carbide had been added to specimen as different mass percentages and samples were produced.

Subsequently, various tests were applied to the specimens produced according to TS 555 standard. Following the tests, reinforced specimens are compared with the mechanical properties which is widely used and the most convenient specimen has been determined. Finally, proposals will be made on the different areas where the new composite created from the experiments will be used.

**KEYWORDS:** Brake pads, boron, boron carbide, composite pads



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OTOMOBİL FREN SİSTEMLERİ</b> .....	<b>6</b>
2.1 Fren Sistemi Elemanları .....	9
2.1.1 Fren Kampanası .....	10
2.1.2 Fren Diski .....	11
2.1.3 Fren Ana Merkezi .....	12
2.1.4 Fren Servosu .....	13
2.1.5 Basınç Oranlama Valfi.....	13
2.2 Fren Çeşitleri .....	13
2.2.1 Tasarımlarına Göre Fren Çeşitleri .....	13
2.2.2 Fren Gücünün İletim Sistemine Göre Fren Çeşitleri .....	14
<b>3. BOR MİNERALİ</b> .....	<b>17</b>
3.1 Borun Endüstride Kullanımı.....	18
3.2 Bor Karbür (B <sub>4</sub> C).....	19
3.2.1 Bor Karbürün Kristal Yapısı.....	20
3.2.2 Bor Karbürün Kimyasal Yapısı .....	21
3.2.3 Bor Karbürün Yapısal Özellikleri.....	21
<b>4. KOMPOZİT MALZEMELER</b> .....	<b>22</b>
4.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı .....	22
4.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri.....	22
4.3 Kompozit Malzemelerin Yapısı.....	22
4.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	24
4.4.1 Matris Malzemeye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	24
4.4.2 Takviye Ediciye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	25
4.5 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri.....	26
4.6 Toz Metalürjisi Yöntemi .....	28
4.6.1 Tozların Karıştırılması .....	29
4.6.2 Presleme.....	30
4.6.3 Sinterleme .....	31
4.6.4 Son İşlemler .....	32
4.7 Toz Metalürjisi Yönteminin Avantajları/Dezavantajları .....	33
4.8 Toz Metalürjisi Yönteminin Kullanım Alanları .....	34

<b>5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>35</b>
5.1 Balata Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar .....	35
<b>6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>41</b>
6.1 Deney Düzenegi Tanıtımı.....	41
6.2 Hassas Terazı .....	44
6.3 Sıcaklık Ölçü Aleti .....	44
6.4 Yük Hücresi (Loadcell) .....	45
6.5 Sertlik Ölçüm Cihazı .....	46
6.6 Balata Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi.....	46
6.6.1 Balata Boyutları .....	48
6.6.2 Malzeme Karışımının ve Deney Gruplarının Belirlenmesi .....	48
6.6.3 Kalıplama ve Presleme .....	49
6.6.4 Sinterleme .....	51
6.7 Balataların Üretimi .....	51
6.7.1 Tozların Karıştırılması.....	52
6.7.2 Tozların Preslenmesi.....	53
6.7.3 Numunelerin Sinterlenmesi .....	56
6.8 Deney numunelerinin test için hazırlanması .....	56
6.9 Deneyler ve sonuçları .....	58
6.9.1 Yoğunluk deneyi.....	58
6.9.2 Sertlik ölçüm deneyi .....	59
6.9.3 Özgül aşınma miktarı ölçümü deneyi .....	60
6.9.4 Sürtünme deneyleri .....	61
6.9.5 Mikroyapı çalışmaları .....	66
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>71</b>
<b>8. KAYNAKLAR .....</b>	<b>73</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Güç makinelerine ait sistem akışı. ....	1
Şekil 1.2: Sistemin kontrolünü sağlayan alt sistemin çalışma akışı. ....	2
Şekil 1.3: Bir otomobile ait fren balatası. ....	4
Şekil 2.1: Fren sistemi genel görünüşü. ....	6
Şekil 2.2: Fren sistemine ait kuvvet iletim çevrimi. ....	7
Şekil 2.3: Westinghouse firmasına ait bir fren servosu. ....	8
Şekil 2.4: Disk ve kampanalı frenleri oluşturan alt ekipmanlar. ....	9
Şekil 2.5: Fren diskinin alt sistemlerini oluşturan fonksiyonel elemanlar. ....	11
Şekil 2.6: Fren ana merkezi elemanları. ....	12
Şekil 2.7: Fren servosuna ait alt ekipmanlar. ....	13
Şekil 2.8: Elektrikli fren ait alt ekipmanları ve fren kuvveti oluşumu. ....	16
Şekil 3.1: Bor karbür plakası. ....	20
Şekil 4.1: Kompozit malzemelerin yapısı. ....	23
Şekil 4.2: Kompozit imalat yöntemleri. ....	28
Şekil 4.3: Toz metalürjisi yöntemini akış diyagramı. ....	29
Şekil 4.4: Toz karıştırma makinesi. ....	30
Şekil 4.5: Kalıpla pres makinesi. ....	31
Şekil 4.6: Parça sinterleme fırını. ....	32
Şekil 6.1: Deneysel çalışmalarda izlenen iş akış şeması. ....	41
Şekil 6.2: Deney düzeneği. ....	42
Şekil 6.3: Sürücü hız kontrol ünitesi. ....	42
Şekil 6.4: Cihazın hazırlanması. ....	43
Şekil 6.5: Hassas terazi. ....	44
Şekil 6.6: Kızılötesi sensörlü nokta ölçüm termometre. ....	45
Şekil 6.7: Yük hücresi (Loadcell). ....	45
Şekil 6.8: Sertlik ölçüm cihazı. ....	46
Şekil 6.9: Numune üretim grupları. ....	48
Şekil 6.10: Balata alt bağlantı kalıpları. ....	50
Şekil 6.11: Balata ön pres kalıpları. ....	50
Şekil 6.12: Numune üretim akışı. ....	51
Şekil 6.13: Temel toz karışımından örnek bir numune. ....	52
Şekil 6.14: Ön şekillendirme presi dişi kalıplar. ....	53
Şekil 6.15: Ön şekillendirme presi erkek kalıplar. ....	53
Şekil 6.16: 160 tonluk ön şekillendirme presi. ....	54
Şekil 6.17: Ön şekillendirme presine tozların konulması. ....	54
Şekil 6.18: 100 µm.lik numuneler-pişirme presi öncesi. ....	54
Şekil 6.19: Balata alt bağlantı plakaları. ....	55
Şekil 6.20: Pişirme presi aşamaları; (a) pişirme tablası, (b) balataların yerleştirilmesi. ....	55
Şekil 6.21: Pişirme presi ve numuneler; (a) 250 tonluk pişirme presi , (b) presten çıkan, (c) balatalar. ....	56
Şekil 6.22: Numune kesim testeresi. ....	57
Şekil 6.23: Özel imalatlar için kullanılan tezgahlar. ....	58

<b>Şekil 6.24:</b> Test öncesi disk yüzeyi. ....	60
<b>Şekil 6.25:</b> Test sonrası disk yüzeyi. ....	60
<b>Şekil 6.26:</b> TF00 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği. ....	62
<b>Şekil 6.27:</b> 1020 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği. ....	63
<b>Şekil 6.28:</b> 1030 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği. ....	63
<b>Şekil 6.29:</b> 1040 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği. ....	64
<b>Şekil 6.30:</b> 1050 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği. ....	64
<b>Şekil 6.31:</b> 10020 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği. ....	65
<b>Şekil 6.32:</b> 10030 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği. ....	65
<b>Şekil 6.33:</b> 10040 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği. ....	66
<b>Şekil 6.34:</b> 10050 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği. ....	66
<b>Şekil 6.35:</b> TF00 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra. ....	67
<b>Şekil 6.36:</b> 1020 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra. ....	67
<b>Şekil 6.37:</b> 1030 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra. ....	68
<b>Şekil 6.38:</b> 1040 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra. ....	68
<b>Şekil 6.39:</b> 1050 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra. ....	69
<b>Şekil 6.40:</b> 10020 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra. ....	69
<b>Şekil 6.41:</b> 10030 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra. ....	70
<b>Şekil 6.42:</b> 10040 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra. ....	70
<b>Şekil 6.43:</b> 10050 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra. ....	70

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 3.1:</b> Bor bileşiklerinin sektörel bazda kullanımı.....	19
<b>Tablo 6.1:</b> Toz karışımı bileşenleri ve işlevleri. ....	47
<b>Tablo 6.2:</b> Sinterleme parametreleri. ....	51
<b>Tablo 6.3:</b> Toz karışımlarının kütlece oranları. ....	52
<b>Tablo 6.4:</b> Numunelerin fiziksel özellikleri ve içerikleri.....	59
<b>Tablo 6.5:</b> Özgül aşınma oranı tablosu. ....	61

## SEMBOL LİSTESİ

**N** : Devir

**$\mu$**  : Mikrometre ( $10^{-6}$  m), Sürtünme Katsayısı

**F** : Kuvvet (N)

**F<sub>S</sub>** : Sürtünme Kuvveti (gram)

**F<sub>N</sub>** : Normal Kuvvet (gram)

**P** : Basınç (bar)

**L** : Uzunluk (m)

**A** : Alan ( $m^2$ )

**d** : Yoğunluk ( $g/cm^3$ )

**B<sub>4</sub>C** : Bor Karbür

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, başta otomotiv sektörü olmak üzere her türlü hareketli makinenin kontrolünde kullanılan fren balatalarının üretiminde ülkemizin zengin rezerv kapasitesine sahip olduğu dünyadaki kritik madenlerden biri olan borun bir türevi olan Bor Karbür kullanımının etkileri/katkıları araştırılmıştır. Bor Karbür, bor ve karbon elementlerinden oluşan bir bileşik olup sert ve ısıl olarak kararlı bir malzemedir.

Ülkemiz, 3.3 milyar tonluk rezerv miktarı ile dünyadaki bor miktarının %73'ünü topraklarında maliktir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının resmi sitesinde yayınlanan istatistiğe göre 2018 yılı itibarıyla dünya bor ürünleri tüketimi 4 milyon tondur. Bahse konu kapasitenin yaklaşık 2.4 milyon tonu yani yaklaşık %60'ı Türkiye tarafından karşılanmakta olup mevcut kapasite 2,7 milyon tondur. Üretimin artması, bor madeninin daha çok üründe kullanılması ve daha çok rantabl olmasına bağlıdır. Bu kapsamda bor ihtiva eden her yeni ürünün gelişimi hem yüksek katma değerde satmamız, hem de mevcut bor rezervimizi dünyaya pazarlamamız açısından hayati öneme haizdir..

Bu maksatla çalışmada hususi olarak, bor karbürün kompozit yapıda üretilen fren balatalarında mekanik ve termofiziksel özelliklere olumlu katkıda bulunacağı hipoteziyle yola çıkılarak farklı tane büyüklüklerindeki bor karbür parçacıkları ihtiva eden numuneler imal edilmiştir. Sonuç olarak TS 555 kriterlerine göre mekanik özelliklere katkısı incelenmiş ve netice elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma vetiresince desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli eşim Büşra KURT'a ve aileme; ilminden, tecrübelerinden istifade ettiğim, şahsıma göstermiş olduğu hoşgörü, sabırdan yoluma tuttuğu ışıktan dolayı minnettar olduğum değerli hocam Dr. Recep KOÇ'a; deneysel çalışmalarda kullandığımız bor karbürün temini konusunda destek olan değerli bilim insanı Faruk DURUKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

**Balıkesir, 2019**

**Hasan Aytuğ KURT**





# 1. GİRİŞ

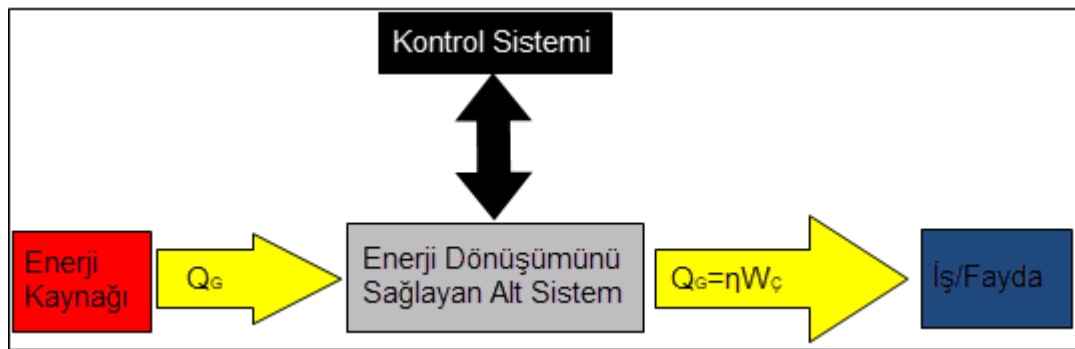
İnsanlığın en eski dönemlerinden beri kuvvet kazancı, iş kazancı, enerji kazancı gibi maksatlarla araçlar tasarlanmış ve kullanılmıştır. İnsanoğlunun doğa ile olan mücadelesinde, doğanın gücünü yine doğaya karşı çeşitli tertibatlar vasıtasıyla kullanması onu üstün hale getirmiştir.

Genel kabulde 17. yüzyılın başlarından itibaren buharlı pompaların icadıyla başlayan gaz akışkanlı güç makinelerinin gelişimi 18. ve 19. yüzyıllarda hızla seyretmiştir. Zaman içerisinde çok çeşitli dizaynlar patentlenerek insanlığın hizmetine sunulmuştur.

Enerji dönüşümü prensibiyle çalışan güç makinelerini oluşturan alt parçaları incelendiğinde;

1. Enerji kaynağı,
2. Enerji dönüşümünü sağlayan alt sistem,
3. Sistemin kontrolünü sağlayan alt sistem olarak gruplamak mümkündür.

Güç makinelerine ait sistem akışı Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

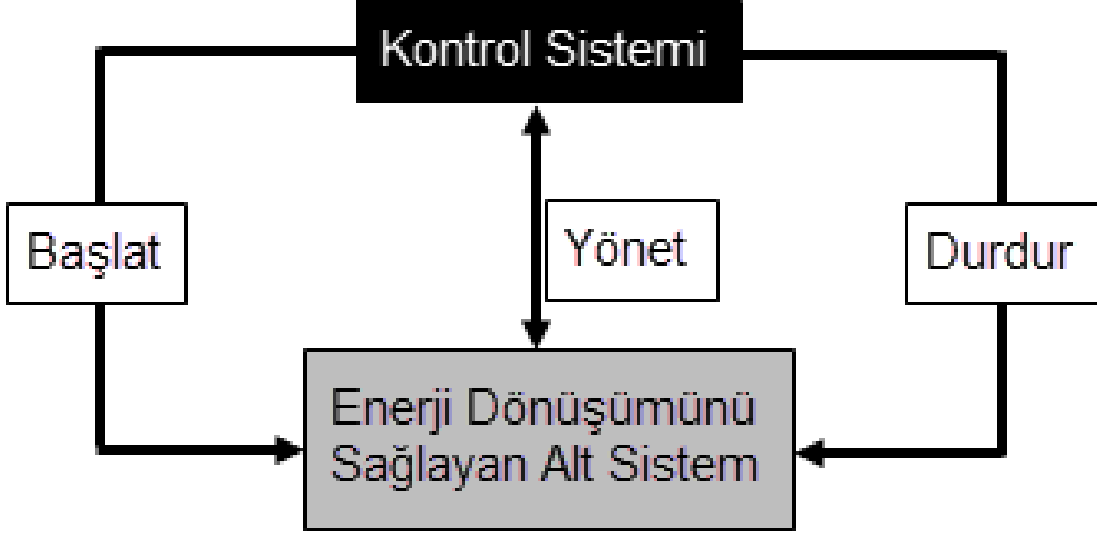


Şekil 1.1: Güç makinelerine ait sistem akışı.

Yukarıdaki gruplandırma içerisinde sistemin fayda üretebilmesi ve sağlıklı çalışabilmesi açısından kontrol sistemi büyük önem arz etmektedir. Kontrol sistemi analiz edildiğinde;

1. Sistemin başlatılması,
2. Sistemin çalışma seviyesinin kontrolü,
3. Sistemin durdurulması şeklinde gruplamak mümkündür.

Sistemin kontrolünü sağlayan alt sistemin çalışma akışı Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.2:** Sistemin kontrolünü sağlayan alt sistemin çalışma akışı.

Enerji dönüşüm sistemlerinin kontrolü esnasında sistemin zaman içerisinde yükselen enerjisini azaltma yada durdurma ihtiyacı hissedildiğinde sistemdeki enerjinin tahliyesinde kullanılan sistemlere frenleme sistemleri denilmektedir.

Tahrik çeşidi ne olursa olsun hareket halindeki tüm vasıtaların kontrolünü sağlamak için en önemli sistemlerden bir tanesi fren tertibatıdır. Fren sisteminde sıkıntı olan bir hareketli mekanizmanın kontrolünden; dolaylı olarak emniyetli çalışmasından bahsedilemez. Bu kapsamda hareket enerjisi sağlayan vasıtaların ilk geliştirildiği günden beri frenleme sistemleri yüksek öneme sahip olmuştur.

Vasıtaların ekserisinde frenleme ilkesi benzer olmakla beraber, temelinde motorun ürettiği hareket enerjisinin (kinetik enerji), sürtünme kuvveti ile sönümlenip ısıya dönüştürülerek etrafa yayılımı olarak ifade edilebilir[1]. Bu hususun motorlu araçlar için Enerji Korunumu Yasası kapsamında tatbiki aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \sum E_{Vasıta} = & \sum E_{Kinetik E.} + \sum E_{Potansiyel E.} + \sum E_{Fren Sürtünme} + \sum E_{Hava Sürtünme} \\ & + \sum E_{Diğer Kayıplar} \end{aligned} \quad (1.1)$$

Yukarıdaki denklemde matematik model incelendiğinde vektörel bir büyüklük olan sürtünme kuvveti, sistemin hareketine ters yönde etki ettiği için negatif işaretli olacaktır. Vasıtanın yavaşlatılmak suretiyle kontrol edilmek istendiğinde vasıtanın sahip olduğu kümülatif enerji fren sistemi marifetiyle ısı enerjisine dönüştürülerek atmosfere tahliye edilecek ve araç yavaşlatılarak yada durdurularak kontrol altına alınacaktır. Bu çerçeveden incelendiğinde yaptığı iş, ürettiği güç ne olursa olsun fren sistemi, hareketli sistemlerin en önemli modüllerindendir.

Motorlu araçlarda fren sistemi; sürtünme sistemi ve onu tahrik eden hidrolik/pnömatik sistemden oluşmaktadır. Sürtünme sistemi ise disk yada kampana ve balatadan oluşmaktadır[1].

Balatalar; uygulanan fren kuvvetinin aracın tekerlekleriyle bağlantılı disk veya kampanalara sürtünme yolu ile aktarılmasını sağlayan elemanlardır[2]. Bu elemanlar aracın sürülüşü esnasında emniyet ve kontrolün sağlanması için yapılacak frenleme performansına etki eden en önemli parçalardan birisidir. Yüksek frenleme kuvveti neticesinde oluşacak etkili bir sürtünme momentinin elde edilmesi, ancak yüksek

sürtünme kalitesine sahip balata yüzeyleriyle mümkündür. Balatalar gerek otomotiv sektöründe gerekse diğer alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizde balataların dizayn ve imalat kriterleri TS 555'te belirlenmiş olup bu alanda faaliyet gösteren imalatçılar için temel kriterler bu standartta belirtilmiştir. Bir otomobile ait örnek bir balata Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.3:** Bir otomobile ait fren balatası.

Fren balatalarının imalatı toz metalürjisi yöntemiyle yapılmaktadır. Bu yöntemde göre balatalar, metal ve metal olmayan tozların bağlayıcılarla harmanlanıp, uygun bir pekiştirme yöntemine (soğuk presleme) tabi tutulmasının ardından ısı ile sinterlenerek şekillendirilmesi prosesinin neticesinde ortaya çıkar[3,4,6]. Üretimin devamında TS 555'te istenen muhtelif dayanım ve performans testlerine tabi tutularak son kontrolleri tamamlanır.

Balata imalatında farklı bu yöntemin tercih edilmesinin temel nedeni farklı özelliklere sahip karışım malzemelerinin fiziksel özelliklerini yitirmeden üretiminin

yapılabilmektedir[5]. Bir kompozit olan balatanın, mekanik ve termofiziksel malzeme davranışlarının, ihtiva ettiği fazlardan ve bahse konu fazlara ait ağırlıkça/kütlece ortalamaların bir fonksiyonu olmaması şüphesiz düşünülemez. Genel bir prensip olarak kabul edilebilir ki toz metalürjisi metoduyla imalatı yapılan toz matriksli kompozitlere çalışma alan ve şartları keyfiyetince özellik kazandırmak için karışım içeriğindeki faz niteliği/niceliği önemlidir[6]. Bu kapsamda bir balata, temel fonksiyonunu icra ederken maruz kalacağı mekanik, konstrüktif, vd. güçlükler karşısında görevini eksiksiz icrası, muhtevasında istiap ettiği pek çok muhtelif fazın maharetiyle mümkündür[7,8].

Fren balatalarının üretimi esnasına belirli oranlarda kullanılan metal ve metal dışı tozlar 4 ana grupta sınıflandırılabilir;

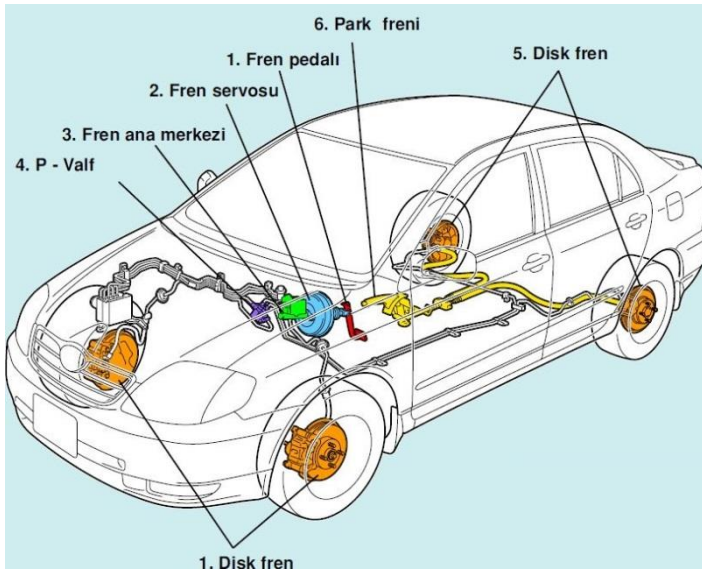
1. Aşındırıcılar (Sürtünme ayarlayıcı maddeler)
2. Takviye Malzemeleri (Elyaf),
3. Dolgu Malzemeleri,
4. Bağlayıcılar.

Herbir grupta bulunan malzeme farklı mekanik özellikleri sayesinde imalat sonucunda oluşan kompozite katkı sağlamaktadırlar. Bu çalışmada yeni nesil üst düzey mekanik özelliklere sahip seramik bir malzeme olan bor karbür ile değişik oranlarda takviye edilmiş fren balatalarının mekanik özellikleri incelenecektir.

## 2. OTOMOBİL FREN SİSTEMLERİ

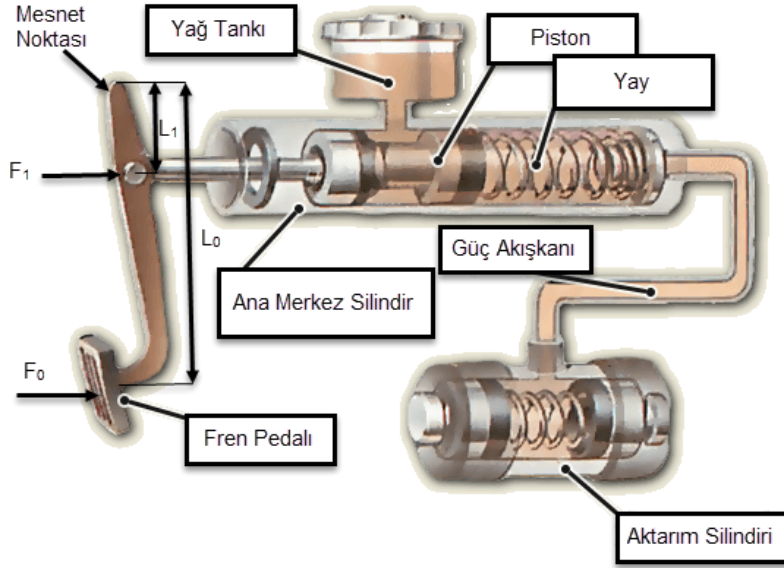
Otomobillerde fren sistemleri hareket halindeki bir aracın emre amade olarak en hızlı ve emniyetli bir şekilde yavaşlatmak veya durdurmandır. Ayrıca hareketsiz duran bir aracın kendi kendine hareketine mani olmakta fren sistemlerinin görevleri arasındadır[9].

Frenler, bir çeşit enerji dönüşüm araçları olarak tanımlanabilmektedir. Çalışmaları esnasında hareket enerjisini ısı enerjisine dönüştürür ve atmosfere tahliye eder[9,10]. Bahse konu enerji dönüşümünü gerçekleştiren sistem elemanlarının fren balatalarıdır. Bu önemli elemanlardan çalışması esnasında verimli sürtünme kararlılığı, uzun çalışma ömrü, minimum gürültü çıkarma ve etkin vibrasyon sönümleme performansı beklenmektedir. Bu kapsamda tasarım ve imalat esnasında bu özellikler olmazsa olmazlar arasındadır[11]. Araçlardaki fren sisteminin çalışma prensibi genel olarak kuvvet iletimi olarak tanımlanabilmektedir. Bahse konu sisteme ait genel görünüşünün otomobil üzerinde gösterimi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Fren sistemi genel görünüşü.

Detaylı olarak analiz edildiğinde frenleme hareketi sürücünün fren pedalına uyguladığı ilk kuvvet ( $F_0$ ) ile başlar.  $F_0$  kuvvetinin oluşturduğu itme momenti, kaldıraç mantığıyla artırılarak  $F_1$  kuvvetine dönüşür bir adet iletim çubuğu vasıtasıyla fren servosuna iletilir. Fren sistemine ait kuvvet iletim çevrimi Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2:** Fren sistemine ait kuvvet iletim çevrimi.

Kuvvet aktarım denklemi;

$$F_1 = (F_0 \times L_0) / L_1 \quad (2.1)$$

$$F_T = F_1 + F_{\text{Servo}} \quad (2.2)$$

$$P = F_T / A_1 \quad (2.3)$$

$$F_{\text{Fren}} = P \times A_2 \quad (2.4)$$

Fren servosu (hidrovak), sürücünün ayağıyla fren pedalına uyguladığı kuvvete, vakum etkisinin yardımıyla atmosfer basıncının kuvvetini ekleyerek toplam frenleme kuvvetini arttıran elemana denir. Westinghouse firmasına ait örnek bir fren servosu Şekil 2.3’te gösterilmiştir. Fren servosu, üzerine gelen sırt (itki) kuvvetini ( $F_1$ ) tezyid

ederek müteakibindeki fren ana merkez piston koluna aktarır. Fren ana merkez pistonu ve devam eden devrede hidrolik fren yağı bulunur.



**Şekil 2.3:** Westinghouse firmasına ait bir fren servosu.

Fren ana merkez piston kolu vasıtasıyla itme kuvveti akışkana basınç kuvveti (P) olarak aktarılır.

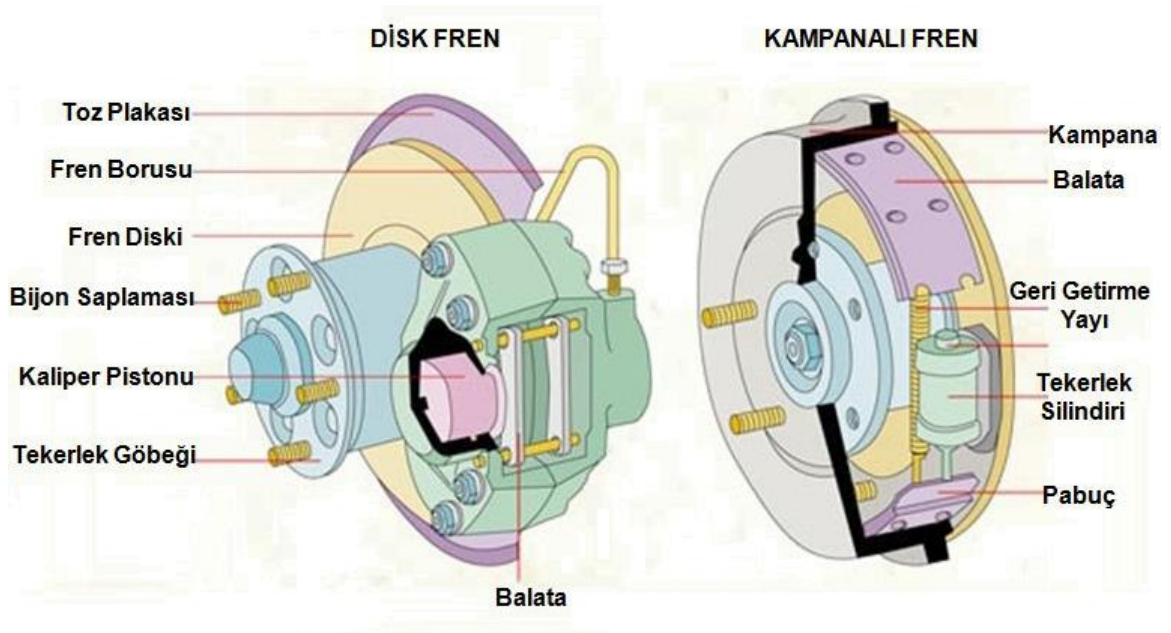
Bu basınç kuvveti hidrolik devreler marifetiyle lastiklerdeki fren silindirlerine ve kaliperlerdeki (diskli frenler için) pistonu iletilir ( $F_{Fren}$ ). Tazyikli iş akışkanı kaliperdeki silindir bünyesindeki pistonu diske doğru iter. Bahse konu piston fren balatası ile irtibat halinde olup fren balatasının diske basmasıyla tekerlek merkezine sabitlenmiş disk yavaşlar. Buna mukabil tekerlek yavaşlar yahud durur.

Bu çevrim, kampanalı frenlerde ise fren pedalına basıldıktan sonra irtibtlı olunan fren merkez silindirinde teşekkül eden hidrolik tazyik, tekerlek fren silindirine iletilir.



Bu basınç kuvveti fren silindiri bünyesinde mahfuz pistonu dışarı defini sağlaması marifetiyle fren pabuçlarının dışa doğru hareketini sağlar. Dışa doğru hareket eden pabuçlar kampana yüzeyine temas eder ve sürtünme yüzeyi oluşur. Pabuçlara çakılmış olan fren balataları ile kampana iç yüzeyi arasındaki sürtünme yüzeyi frenleme etkisini meydana getirir ve frenleme sağlanmış olur[9].

Disk ve kampanalı frenleri oluşturan alt ekipmanlar Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Disk ve kampanalı frenleri oluşturan alt ekipmanlar.

## 2.1 Fren Sistemi Elemanları

Genel olarak fren sistemlerini oluşturan elemanlar aşağıda belirtilmiştir[9].

1. Fren kampanası
2. Fren disk
3. Fren ana merkezi
4. Fren servosu
5. Basınç oranlama valfi.

### **2.1.1 Fren Kampanası**

Kampana; şekil bağı kuran ve çözülebilen tipte olan bağlantılarla tekerin merkezine montajlı ve genellikle dökme demirden imal edilmiş olan parçalara denir. Fren kampanalarında sürtünme yüzeyi Şekil 2.4'te gösterildiği üzere kampananın iç yüzeyi, balataların dış yüzeyinin teması arasında meydana gelir. Sürücü fren pedalına bastığı anda kampanadaki tekerlek silindiri balataları iterek kampana ile sürtünme bağı kurar. Genel olarak fren kampanalarını oluşturan fonksiyonel elemanlar aşağıda belirtilmiştir.

#### **2.1.1.1 Tekerlek Silindiri**

Fren merkezinden gelen basınç kuvvetini fren balatalarını aktararak balataların dik ekseninde harekete geçmesini sağlar. Dış keysleri genellikle dökme demirden mamuldür.

#### **2.1.1.2 Fren Pabuçları**

Kampanalarla benzer konstrüksiyona sahip fren pabuçları yarım ay şeklinde tasarlanmaktadır. Çelik malzemeden üretilen fren pabuçları, üzerinde kampanayla temas halindeki fren balatalarını taşır. Fren pabuçları, tekerlek silindirinin hareketini balatalara iletir ve frenleme durdurulduğunda geri getirme yayının etkisiyle balataları geri çeker.

#### **2.1.1.3 Balatalar**

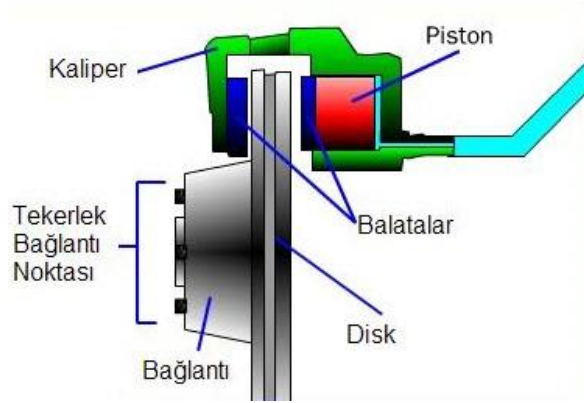
Fren pabuçların üzerinde bulunan ve frene basıldığında pabuçla birlikte dış doğru açılarak kampanayla irtibat sağlayıp frenleme sathının mevcudiyetini sağlayan ve sürtünme bağı kurup frenlemeyi sağlayan parçadır.

#### 2.1.1.4 Geri Getirme Yayı

Fren pedalına basıldığında tekerlek silindirinin etkisiyle dışa doğru açılan ve kampanaya temas eden fren pabuçlarını, fren bırakıldığında geri çekerek normal pozisyona getiren yaylardır.

#### 2.1.2 Fren Diski

Dökme demirden imal edilen fren disk, tekerleğin merkezine tıpkı kampana gibi şekil bağı kuran ve çözülebilen tipte bağlantılarla montajlanmıştır. Genel olarak fren diskinin alt sistemlerini oluşturan fonksiyonel elemanlar Şekil 2.5’de gösterilmiş olup detaylı açıklama aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 2.5: Fren diskinin alt sistemlerini oluşturan fonksiyonel elemanlar.

##### 2.1.2.1 Kaliper

Kampanalı frenlerdeki fren pabucunun disk frenlerdeki muadili olarak tanımlanabilen alt ekipmana kaliper denir. Fren ana merkezinden gelen hidrolik basınç kuvveti ile üzerindeki pistonun yardımıyla balataları disk yüzeyine bastırır. Yani kaliper pistonu hidrolik basınç kuvvetiyle iki balatayı da diske doğru iterek frenleme etkisini oluşturur.

### 2.1.2.2 Balatalar

Kaliper ve piston üzerindeki sürtünme yüzeyini ve bağını oluşturan alt ekipmandır. Disk frenlerde balata görece dar bir temas sahtında çalışmaktadır. Bu kapsamda azami boyutta frenleme kuvvetlerine maruz kalmaktadır ki bu nedenle diskli fren balatalarının daha yüksek bir sürtünme katsayısına ve dayanımına sahip olması zarureti izahtan varestedir[9].

### 2.1.3 Fren Ana Merkezi

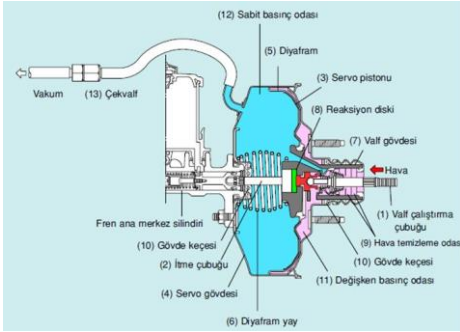
Fren ana merkezi, pedaldan sürücünün uyguladığı frenleme kuvvetini tekerleklere kadar iletimini sağlayan tüm kuvvet iletim elemanlarını yzerinde barındıran sistem olup Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Başta mekanik iletim olarak başlayan fren kuvveti devamında hidrolik basıncı kuvvetine ve son olarakta yine mekanik kuvvete dönüşür.



**Şekil 2.6:** Fren ana merkezi elemanları.

### 2.1.4 Fren Servosu

Tek taraflı vakum oluşturmak suretiyle basınç farkı meydana getirerek pozitif atmosferik basınç kuvvetini sürücünün fren pedalına uyguladığı kuvvete ekleyerek frenleme kuvvetini arttırmak amacıyla kullanılan ekipmana denmektedir. Fren servosuna ait alt ekipmanlar Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Fren servosuna ait alt ekipmanlar.

### 2.1.5 Basınç Oranlama Valfi

Aracın ön kısmındaki yük fazlalığı nedeniyle frenleme esnasında ön tekerlerdeki frenleme etkisinin arka tekerlere göre daha fazla olması gerekmektedir. Bu kapsamda ön tekerlere hidrolik basınç kuvvetini arka tekerleklerden daha fazla etki etmesini sağlayan ekipmana denir.

## 2.2 Fren Çeşitleri

Fren sistemlerinin sınıflandırılması esnasında muhtelif kriterlere göre tasnif yapılmış olup her bir tasnifte farklı bir kriter gözönünde bulundurulmuştur.

### 2.2.1 Tasarımlarına Göre Fren Çeşitleri

Tasarımlarına göre fren çeşitleri ikiye ayrılmaktadır;

1. Kampanalı Frenler

## 2. Disk Frenler.

Bu frenlere ilişkin detaylı açıklama daha önceki kısımlarda anlatılmasından dolayı bu bölümde değinilmeyecektir. Sadece iki fren sistemine ait avantaj ve dezavantajlar aşağıda belirtilmiştir.

Kampanalı frenler;

1. Kampanalı frenlerde basma kuvveti, yüzey alanı avantajı gereğiyle, disk frenlerdekine oranla daha cüzdür.
2. Kampanalı frenlerdeki baskı kuvvetinin düşük olması nedeniyle daha düşük dayanıma sahip olarak üretilirler. Buna mukabil daha ucuzdurlar.
3. Kampanalı frenlerde balata baskı kuvvetinin düşük olması, aşınmaları azaltmaktadır.
4. Kampanalı frenler disk frenlere göre daha az ısınmaktadır.

Disk frenler;

1. Balata baskı kuvveti daha yüksek olması nedeniyle daha hızlı aşınır.
2. Frenleme kuvveti daha yüksektir.
3. Pahalıdır.
4. Isıl olarak hızlı soğuması nedeniyle sürtünme kararlılığı kampanalı frenlere göre daha yüksektir.

### 2.2.2 Fren Gücünün İletim Sistemine Göre Fren Çeşitleri

Fren gücünün iletim sistemine göre dört tip fren çeşidi mevcuttur[12].

Bunlar;

1. Hidrolik Frenler,
2. Mekanik Frenler,
3. Havalı Frenler,
4. Elektrikli Frenler .

### **2.2.2.1 Hidrolik Frenler**

Günümüz otomobillerinde ekseriyetle hidrolik fren sistemi kullanılmaktadır. İsmi, frenleme kuvvetinin iletiminde iş akışkanı olarak hidrolik sıvı kullanılmasından almaktadır. Mekanik kuvvet önce hidrolik basınç kuvvetine; sonra da tekrar mekanik kuvvete dönüştürülerek tekerleklere tatbik edilir.

### **2.2.2.2 Mekanik Frenler**

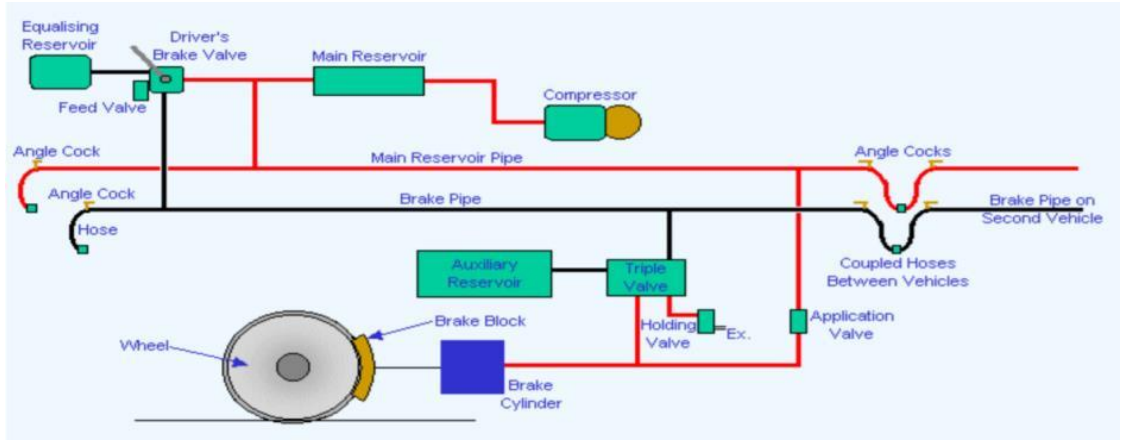
En basit, temel fren tertibatlarından biri olmakla beraber mekanizma frenleme faaliyetini, kullanıcının ayak kuvveti mekanik bağlantılarla tekerleğe iletilmesi yöntemiyle araç durdurulur. Bilumum araçların durağan pozisyonda iken kontrolsüz hareketini engellemek maksatlı el freni olarak kullanılmaktadırlar[9].

### **2.2.2.3 Havalı Frenler**

Araç bünyesindeki kompresör vasıtasıyla basınçlı hava üreterek sürücünün pedala bastığı anda basınçlı havayı frenlere göndererek frenleme sağlayan fren sistemlerine denmektedir. Bu frenler, az bir kuvvet uygulanması ile yüksek frenleme kuvveti elde etmeye, yani en iyi frenlemeyi sağlamak üzere düzenlenmiş olup özellikle ağır vasıtalarda kullanılmaktadır.

### **2.2.2.4 Elektrikli Frenler**

Fren pedalı bir iletken vasıtasıyla araca ait elektronik kontrol ünitesiyle irtibatlanır. Bu noktada pedalın kullanıcının frenleme faaliyetini emre amade gerçekleştirmesine hizmet etmektedir. En mühim fark ise fren pedalına basma kuvveti ve frenleme miktarı vb. parametreler elektronik kontrol ünitesi tarafından yönetilir. Bu sayede fren kuvveti her teker için gereken kadar düzenlenerek sisteme gönderilir. Bu sisteme ait alt ekipmanlar Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.8:** Elektrikli fren ait alt ekipmanları ve fren kuvveti oluşumu.



### 3. BOR MİNERALİ

Bor (B) elementi, periyodik cetvelde ana grup 13'te yada 3A grubunda konumlanmakta olan bir yarı metaldir. Atom numarası 5 olup oda sıcaklığında katı halde bulunmaktadır. Ergime noktası 2200 °C, kaynama noktası 2550 °C'dir. Saf kristal bor siyah ve parlaktır. Tıpkı metaller gibi yüksek sıcaklıklarda elektriği iletir, aynı zamanda genel olarak düşük sıcaklıklarda yalıtkandır. Bor, mohs sertlik birimine göre 9,3 Mohs sertliğe sahip olup bu seviye bazı abrazif maddeleri (Ör:korindon) çizecek düzeydedir [13].

Doğada bileşik halinde bulunan borun keşfi, 1800'lü yılların başlarına uzanmaktadır. Birbirinden bağımsız ve habersiz olarak Fransız kimyager J.L. Gay-Lussac, L.J. Thenard ve İngiliz bilimadamı Sir Humphrey Davy yapmış oldukları çalışmaları yakın tarihlerde neticelendirmişlerdir. Yetersiz ariyetteki bu element ile ilgili kullanılabilecek saflık değeri ancak 1909 yılında sağlanabilmiştir [14].

Susurluk-Sultançayırı bölgesi, Osmanlı döneminde Türkiye topraklarındaki ilk bor madenine ev sahipliği yapmış olup bahse konu maden işletmesi topraklarımızdaki bor madenciliği açısından kilometre taşı niteliğine haizdir. 1861 yılındaki bu cevher keşfine müteakip 1865 yılında işlenmeye başlanmıştır. Bor madenciliği açısından ikinci önemli kilometre taşı 1944 yılındaki ekseri bor maden yataklarının devletleştirilmesi hadisesidir. Bu kararlar gerekçesiyle bu tarihten itibaren yabancı müteşebbislere maden işletme lisansı verilmemiştir [15].

1927'ye kadar 624 yabancı şirkete imtiyaz verilmiş, 1944 yılında ise bu şirketlerin büyük kısmı millileştirilmiş ve yabancı sermayeye yeni imtiyazlar verilmemiştir. MTA ve Etibank gibi yerli kuruluşlar 1935 yılında 2804 ve 2805 Sayılı Kanunlarla arama ruhsatlarını almışlar, II. Dünya Savaşı'ndan sonra arama faaliyetlerini yaygınlaştırmışlardır [15].

1950'li yıllarda “Balıkesir, Bursa, Kütahya” bölgelerinde “Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü” ve “Etibank gibi kamu iştirakleri tarafından muhtelif bölgelerde bor türevlerine ait yataklar keşfedilmiştir [15].

1968 yılından itibaren her türlü bor bileşiği türevine ait madenler kamilen kamu iştiraklerine geçmiştir. O tarihten itibaren bahse konu keşif ve işletme imtiyazları “*Eti Maden*” ve “*MTA*” tarafından gerçekleştirilmektedir [15].

Kamu iştiraklerinin gayretli çalışmaları neticesinde 1968’den günümüze rezerv tespiti 600 milyon tondan 3 milyar tona çıkmıştır. Diğer taraftan uluslararası ölçekte 1970’lerde pazardaki hakimiyetimiz %16 mertebesinde iken mevcut durumda % 47’ler nispetine genişlemiştir. Şüphesiz bu rakamlar göstermektedir ki istikrarlı devletleştirme politikaları, bor gibi kritik bir madenin ülke menfaatleri için değerlendirilmesi hususunda başarılı olmuştur [15].

Uluslararası ölçekte bor yatakları; Türkiye, Rusya, ABD ve Güney Amerikada yoğun olarak seyretmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde dünyadaki bor yataklarının kapasitesi yaklaşık 4,5 milyar tondur. 2018 yılı dünya bor ihtiyacı 4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Buna mukabil Türkiye’nin bu ihtiyacı karşılama oranı %59’dur. Türkiye’nin 2018 yılı rafine bor ürünleri üretimi 2,43 milyon olarak gerçekleşmiştir [15,16].

### **3.1 Borun Endüstride Kullanımı**

Bor mineralleri, yapılarında farklı oranlarda bor oksit ( $B_2O_3$ ) içeren doğal bileşiklerdir. Tabiatta pek çok bor ve türevi bileşikler bulunmaktadır. Ancak insanlığı ilgilendiren kısmı ticari anlamda değer taşıyan türevlerdir. Bu kapsamda “*tinkal, kolemanit, kernit, üleksit, pandermite, borasit, szaybelit ve hidroborasit*” ticari anlamda değere sahiptir. Ülkemiz ise bu türevlerden “*tinkal*”, “*kolemanit*” ve “*üleksit*” açısından zengindir.

Ham bor cevherleri (konsantre bor), toprak altından ilk çıkarıldığı durumda birtakım fiziksel zenginleştirmelere tabi tutulmakta olup sonuç olarak daha yüksek kalitede rafine edilerek nihai kullanıma arz edilmektedir.

Bor ürünlerinin kullanımı muhtelif sektörlerde son derece yaygın olmakla beraber en fazla tüketim; “*cam (yalıtım tipi cam elyafi, tekstil tipi cam elyafi,*

*borosilikat cam ve panel cam)*”, *seramik-frit, tarım ve deterjan*” sektörlerinde gerçekleşmektedir ki toplam tüketimin %80’i bu sektörlerde gerçekleşmektedir [17].

Dünyadaki bor cevherlerinin neredeyse tamamı zenginleştirme işlemine tabi tutulmasını müteakip kullanılmaktadır [30]. Bor bileşikleri kullanımının Dünyada ve Türkiye’de sektörlere göre dağılımı Tablo 3.1’de belirtilmiştir [17].

**Tablo 3.1:** Bor bileşiklerinin sektörel bazda kullanımı.

Sektör	Dünya’da Kullanımı (%)	Türkiye’de Kullanımı (%)
Cam	48	40
Tarım	15	7
Seramik	15	34
Kimya	2	8
Diğer	20	11

Dünya’da çok geniş ve çeşitli alanlarda kullanılan bor minerali ve türevlerinin kullanımı giderek daha da yaygınlaşmaktadır. Kah sanayide kah günlük hayatımızda üstün özellikleriyle bor giderek artan ivmeyle daha önemli bir yer tutmaktadır. Bor kullanımı endüstriyel gelişmişlik ve tercihlere göre çeşitlilik göstermektedir. Avrupa’da ekseri tüketim deterjan sanayinde olurken, Kuzey ve Orta Amerika’da izolasyon cam yününde (fiberglas) olmaktadır. Japonya’daki tüketimin ise tekstil ürünlerinde olmaktadır [18].

### 3.2 Bor Karbür (B<sub>4</sub>C)

Bor Karbür; bor ve karbon bir bileşik olup son derece serttir. Sentetik olarak üretilen bu malzeme yüksek aşınma direnci nedeniyle aşındırıcılarda, hafif kompozitlerde ve nükleer güç santrallerinde kontrol rodlarında kullanılmaktadır. Mohs sertliği 9-10 arasındadır ki bu onu bor nitrür ve elmadan sonra bilinen en sert sentetik malzeme yapmaktadır. Şekil 3.1’de bir bor karbür plakası gösterilmiştir [13].



**Şekil 3.1:** Bor karbür plakası.

Bor karbürün yüksek sıcaklık dayanımı, üst düzey sertlik değeri, yüksek mukavemeti ve düşük yoğunluğu endüstriyel açıdan büyük önem arz etmektedir [19].

Tüm bu özelliklerinin yanında bor karbürün,

1. Düşük plastisite,
2. Düşük difüzyon katsayısı,
3. Tane sınırı kaymasına yüksek direnci
4. Düşük termodinamik yüzey enerjisi gibi özelliklerinden dolayı sinterlenebilme özelliği düşüktür.

Sinterlenebilme kabiliyetinin artırılması için üretim esnasında difüzyonu arttıracak ilave katkı maddesine ve ilave basınç uygulanması gerekmektedir [20,21].

### **3.2.1 Bor Karbürün Kristal Yapısı**

Bor karbürün atomik yapısı hakkında bilgiye literatürde yaygınca bulunmaktadır. Temel yapısı 12 köşeli simetrik bir kafes yapısı şeklindedir. Bor kristali yapısındaki “*icosahedral* yapıların merkezleri, “*rombohedral*” yapının her bir köşesine denk gelecek şekilde yerleşirler [22,23].

### 3.2.2 Bor Karbürün Kimyasal Yapısı

Bor karbür, kimyasal olarak bilinen en kararlı bileşiklerdendir. Standart oluşum entalpisi 9,3-17,1 kcal/mol arasındadır. Asit ve bazlarla kolay reaksiyon vermemektedir. Sadece HF-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HF-HNO<sub>3</sub> karışımlarında çok uzun süre kaldığında yavaş hızlarda çözünmektedir. Bunun yanında yüksek ortam sıcaklıkları altında HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub> gibi asitlerde yada tane boyutu nispeten küçük olan tozları nem olarak yüklü oksitlenmektedir. Bu oksitlenmeler neticesinde B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, HBO<sub>3</sub> veya H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> oluşabilmektedir [19].

### 3.2.3 Bor Karbürün Yapısal Özellikleri

#### 3.2.3.1 Sertlik

Bor karbür bileşiğinin sertlik değeri Vickers cinsinden 32 GPA'dır. Bunun dışında başka maddelerle yaptığı bileşiklerinde ise sertlik değer aralığı Vickers cinsinden 20GPa'dan 78GPa'a kadar değişmektedir. Ayrıca bor karbürün Mohs cinsinden sertlik değeri 9-10 Mohs arasında kabul görmektedir. Elmas ve kübik bor nitrürden sonra gelen B<sub>4</sub>C karbür en sert malzemedir[13,19].

#### 3.2.3.2 Aşınma Direnci, yoğunluk ve elektriksel direnç

Bor karbürün sertlik değerinin yüksek olması, yüksek aşınma direncine özelliğine sebep olmaktadır. Elmasın aşınma direnci 0,613, buna mukabil bor karbürün ise 0.422'dir [22]. Yoğunluğu 2,52 g/cm<sup>3</sup> olan bu malzeme oda sıcaklığında 0,1-10 ohmxcm elektriksel dirence sahiptir. Ayrıca oda sıcaklığında 10 ohmxcm elektriksel direnci olan saf bor karbürün 1600 °C civarındaki direnci 0,2 ohmxcm değerine düşmektedir [22].

## **4. KOMPOZİT MALZEMELER**

### **4.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı**

Farklı özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin biraraya gelerek farklı özelliklerin eklenmesiyle tek bir malzeme gibi özellik gösteren malzemelere kompozit malzemeler denmektedir [24].

Genel itibarıyla malzemeleri; metal, seramik ve organik malzemeler olarak üç ana grupta sınıflandırmak mümkündür. Bahse konu sınıflandırmaya maruz malzemelerin bazı üstün ve asgar yönleri bulunmaktadır. İmalat teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak bu temel malzemelerin üstünlükleri rafine edilerek tek bir malzemedeki toplanabilmektedir. Bu şekilde imal edilen üstün vasıflarla mücehhez yeni malzeme kompozit malzeme olarak isimlendirilmektedir.[25].

Kompozit malzemeler, kendini oluşturan farklı fiziksel özelliğe sahip malzemelerin özelliklerine sahip olduğu için üstün malzeme özelliklerini bir malzeme üzerinde toplamak mümkün olmaktadır [26].

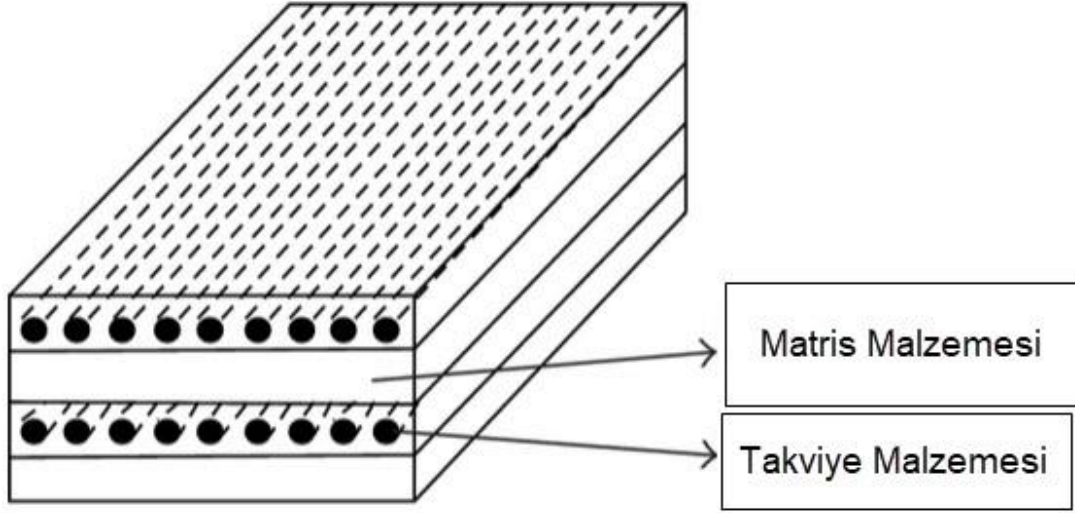
### **4.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri**

Kompozit malzemelerin klasik malzemelere oranla pek çok alanda üstünlükleri mevcuttur. Bahse konu üstünlük; mekanik mukavemet, korozyon direnci, termal kararlılık, elektrik iletkenliği, akustik iletkenlik, ağırlık vb. alanlarda tebarüz etmektedir [27].

### **4.3 Kompozit Malzemelerin Yapısı**

Kompozit malzemeler, matris olarak adlandırılan ana bir fazda mütenaşir takviye elemanından ve matris ile takviye elemanının arasındaki ara fazı oluşturan ara yüzey elemanından oluşmaktadır. Kompozit malzemelerin yapısını gösteren temsili

gösterim Şekil 4.1'de sunulmuştur [28]. Takviye malzemesi genellikle polimer, seramik veya metal olabilmektedir.



**Şekil 4.1:** Kompozit malzemelerin yapısı.

Kompozit malzemeler mekanik olarak matris yapı elemanına tatbik edilen bir kuvveti ara yüzey bağı vasıtasıyla takviye edici malzemeye teşmil eder. Takviye malzemesini dercetmek suretiyle rijitliğini sağlayan ara yüzey fazı, malzemeye nüfuz eden mekanik şokların ve darbelerin takviye fazında sönümlenmesini sağlayıp tahribatı engeller. Kompozit malzemelerde esas mekanik dayanımı sağlayan takviye elemanlarının fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için ara yüzey ve matris malzemelerinin de mekanik özellikleri ve çalışması hayati ehemmiyete haizdir[29].

Takviye malzemesi, üretim esnasında matris malzemesinin tane büyüklüğünü kontrol eder ve iletilen yükleri paylaşarak karşı koyar. Matris malzemesi ile takviye elemanı arasında bağlayıcılık görevi yapan ara yüzey bağlayıcı malzemesi ise, genellikle kırılgan özellik göstermesine rağmen oluşan herhangi bir kuvveti çözülmeye ve kırılmaya uğramadan takviye malzemesine iletir. Bu kısımdaki mekanik davranış performansı, elastisite modülüyle ilişkili olması nedeniyle kompozit malzemenin dayanıklılığı ara yüzey bağının istenilen şekilde olmasına bağlıdır [30].

#### **4.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemeler, yapılarında pek çok farklı malzeme bulundurması nedeniyle envai çeşit tasnife konudur. Bu kapsamda genel kabul tasnif şekli, yapısında bulunan matris ve takviye malzemeye göre yapılmaktadır [27].

##### **4.4.1 Matris Malzemeye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Matris malzemeleri, imal edilecek parçanın kullanım maksadına ve proses tekniğine göre metal, seramik veya polimer malzemelerden oluşabilir.[27].

###### **4.4.1.1 Metal matrisli kompozit malzemeler**

Ana malzemeleri çeşitli metal ve metal alaşımı olan kompozitlerdir. Bu malzemeler ana yapıyı matris metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak genellikle seramik bir takviye fazının kullanıldığı kompozitlerdir. Bu malzemelerin seçiminde hemen hemen hiç bir sınırlama yoktur. Seramikler, yüksek elastisite modülü ve çekme/basma mukavemetlerine sahip tabii malzemelerdir. Metaller ise görece yüksek çekme mukavemeti ve tokluk değerlerine sahiptir. Kullanımı yaygın iki klasik malzemenin üstün vasıfları rafine edilerek yüksek mukavemet ve tokluk değerlerine sahip; aynı zamanda aşınmaya dayanıklı malzemeler elde edilebilir.

Metal matrisli kompozitlerin atmosferik şartlara karşı adezif, abrazif ve korozif dayanımlarının üst düzey olması diğer bir karakteristik özelliklerindedir. Bahse konu malzemeler yaygın olarak otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde kullanılmaktadır [27].



#### **4.4.1.2 Seramik matrisli kompozit malzemeler**

Seramik matrisli kompozit malzemeler; seramik malzemelerin yüksek sıcaklık dayanımı ve hafif olmaları nedeniyle genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar.

Gevrek ve kırılgan olduklarından çok düşük süneklik ve tokluğa sahiptirler. Bunun dışında ani sıcaklık değişikliklerine karşı dayanıksızdırlar. Bu kapsamda yaygın olarak liflerle takviye edilirler. Seramik matrisli kompozitler çok yüksek elastiklik modülüne ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler [27].

#### **4.4.1.3 Polimer matrisli kompozit malzemeler**

Polimerler; hammadresi petrokimya türevleri olan malzemelerdir. Bu kapsamda polimer matrisli kompozitlerde petrokimya hammadde ihtiva eden kompozitlerdir. Günümüzde piyasada en yaygın görülen kompozitler bu tasnife mensup olanlardır. Polimerlerin karakteristik özelliklerinden olan korozyon direnci vasfı bu kompozitlerde de varıdır. Polimer matrisli kompozitler, termo-set ve termoplastik matrisli kompozitler olmak üzere ikiye ayrılır.

Termoset matrisler; ve sıvı halde bulunurlar, katılaştırıcı ilavesi ile önce jel haline gelir ve sonra da katılaşırlar. Termoset reçineler izotropiktirler. Termoplastik matrisler; genellikle sünek ve ısı ile eritilebilir, soğutma ile katılaştırılırlar. Bu da onlara tekrar şekil verdirilebilme kabiliyeti sağlar.

#### **4.4.2 Takviye Ediciye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Takviye edici malzemeye göre kompozitler dört sınıfa ayrılır;

#### **4.4.2.1 Elyaf takviyeli kompozit malzemeler**

Kompozit malzemelerin en yaygın türü elyaf takviyeli kompozitlerdir. Bu kompozit ince elyafların matris yapıda yer almasıyla oluşur. Uzun elyafların matris içerisinde homojen dağılması yüksek mukavemet performansı vermektedir.

#### **4.4.2.2 Parçacık takviyeli kompozit malzemeler**

Bir matris malzemesi içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde dağılması ile elde edilirler. Parçacık takviyeli kompozitler her yönde aynı malzeme davranışı gösteren gösteren izotrop yapılardır. Yapının dayanımı, içerisinde dağılan parçacıkların sertliği ile orantılıdır.

#### **4.4.2.3 Tabakalı kompozit malzemeler**

Kompozit malzemeler içerisinde en yaygın kullanım alanına sahip olan kompozit yapı tipidir. Bileşimindeki elyafların yönelmelerindeki farklılıkları neticesinde muhtelif tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isı ve neme karşı dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir.

#### **4.4.2.4 Karma kompozit malzemeler**

İki yada daha fazla elyaf çeşidinin aynı yapıda bulunması halinde bu tip kompozitler meydana gelmiş olur. Yeni kompozit gelişimine müsait bir alandır.

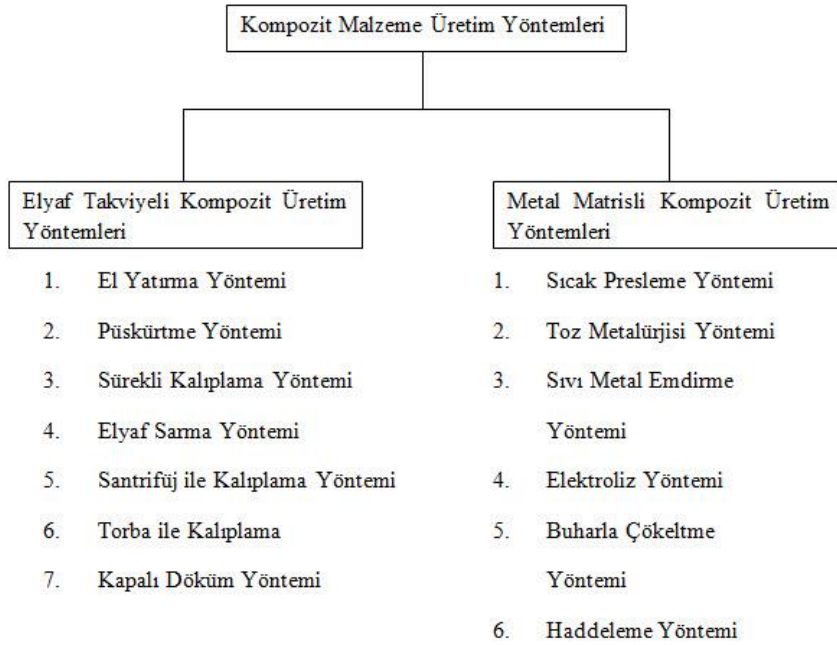
### **4.5 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri**

Kompozit malzemeler; yapısal olarak birbirinden bağımsız özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Kompozit

malzemelerin yapısal anlamda diğer malzemelerden ayrıştığı en önemli husus mikroyapı seviyesinde birleşim olmamasıdır. Yukarıdaki maddelerde kompozit malzemeleri tanımlarken de bahsedildiği üzere kompozit malzemeler; teşekkül ettiği malzemelerin en iyi özelliklerini taşıyacak şekilde üretilirler. Bu bağlamda klasik malzemelerde elde edilemeyen mekanik ve termofiziksel performanslar istendiğinde kompozitler tercih edilmektedir.

Kompozit malzemeler mekanik ve kimyasal özelliklerde o denli esnek tercih portföyü sunmaktadır ki istenilen özellikler tanımlanması sonrasında tarif belirlenmekte ve üretim prosesi oluşturulmaktadır. Örnek vermek gerekirse bir malzemeden yüksek mukavemet performansı istediğimizde ilk durağımız metaller olacaktır. Ancak bu noktada bizi bekleyen dayanım/ağırlık dezavantajı bulunmaktadır. Bu noktada uygun imalat yöntemiyle elde edeceğimiz kompozit bir malzeme bize hem hafifliği hem de istediğimiz mukavemeti sağlayacaktır.

Sektörel olarak ihtiyaç duyulan mekanik ve termofiziksel özellikler çok çeşitlenmektedir. İhtiyacın keyfiyetine göre imalat yöntemi çeşitliliği meydana geldiğinde pek çok kompozit üretim yöntemi mevcuttur. Yaygın olarak kullanılan kompozit imalat yöntemleri Şekil 4.2’de belirtilmiştir.



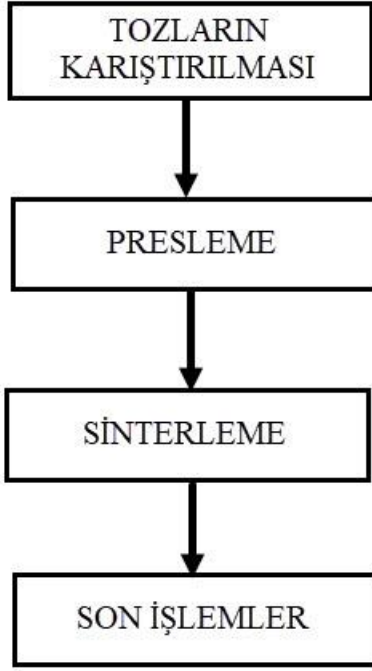
**Şekil 4.2:** Kompozit imalat yöntemleri.

Bu çalışma kapsamında Şekil 4.2’de gösterilen kompozit üretim yöntemlerinden Toz Metalürjisi Yöntemi kullanılması nedeniyle diğer yöntemlerin detayına girilmeden sadece anılan metot üzerine yoğunlaşılacaktır.

#### 4.6 Toz Metalürjisi Yöntemi

Toz metalürjisi üretim tekniğiyle ilgili tanımlar genel anlamda metal parçacıklar üzerinde yapılırsa da genel bir tanım olarak toz metalürjisi küçük parçacıkları birbirine bağlayarak parça haline getirme faaliyetine denmektedir [31].

Toz metalürjisi yöntemini anlatan akış diyagramı Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



**Şekil 4.3:** Toz metalürjisi yöntemini akış diyagramı.

Şekil 4.3'teki akış diyagramına ilave edilmeyen toz üretimi adımında doğru tozların kullanımı için öneme haizdir. Çünkü istenilen nitelikte parça imalatı için ilk adım birbiriyle uyumlu çalışabilecek tozların seçilerek prosesin tatbik edilmesidir. Bu kapsamda tozun seçilmesi, tozun şekillendirme tekniğinin ilk adımı olarakta kabul edilebilir.

#### **4.6.1 Tozların Karıştırılması**

Ön çalışma ile tespit edilerek boyut, şekil vb. fiziksel özellikleri tayin edilen tozların presleme işlemi öncesi homojen karıştırıcılarda gerekli kimyasal sıvılarla (bağlayıcı, yağlayıcı) karıştırılarak presleme öncesi son haline bu aşamada getirilir. edilinceye kadar sürdürülür.

Karıştırma süresi genel olarak tecrübelerle optimize edilmekte olup karıştırma faaliyeti tozların yeterince homojen karıştığına emin oluncaya kadar devam ettirilir. Şekil 4.4'te örnek bir toz karıştırma makinesi gösterilmiştir.



**Şekil 4.4:** Toz karıştırma makinesi.

#### **4.6.2 Presleme**

Toz metalürjisinde karıştırılan presleme faaliyeti iki kademe gerçekleştirilmektedir. İlk presleme, tozun karıştırıcıdan çıktıktan sonra kalıp içerisinde ön presleme faaliyetiyle parçaya ham bir yoğunluk ve mukavemet kazandırmak ve tozun nihai presleme faaliyetine girebilmesi için gerekli rijitliği kazanması sağlanır.

Bu aşamada istenilen sıkıştırma literatür ve uygulamada genel olarak 3/1 olarak kabul edilmektedir[10]. Presleme faaliyetlerine kullanılan kalıpla pres makinesi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Ön presleme faaliyetinde genellikle 120-180 tonluk presler kullanılmaktadır.



**Şekil 4.5:** Kalıpla pres makinesi.

Preslemenin ikinci aşamasında ön (ham) preslemeyle gerekli rijitliği kazanarak cisim özelliğini kazanan parça nihai presleme ve presleme esnasında sinterleme işlemi diğer bir pres makinesine tevdi edilir. Burada ikinci kademe sıkıştırma ve sıcaklık aracılığıyla bağlayıcısının aktifleştirildiği parça nihai şeklini alır. İkinci presleme faaliyetinde kullanılan presler genelde 180-300 ton istiaabe sahiptirler.

#### **4.6.3 Sinterleme**

Kalıptan çıkan parçalar neredeyse hazır olsalar bile ihtiyaca göre henüz istenen mukavemet, sertlik vb. mekanik özellikleri sağlamayabilir. Bu kapsamda parçaların mekanik özelliklerini artırmak/istenen seviyeye getirmek için parçalara sinterleme işlemi uygulanır. Sinterleme sayesinde mikro seviyede yayınım olayları gerçekleşir ve bu sebepten katı parçacıklar, fazdaki boşlukları daha mikro seviyede kapatır. Bu şekilde parçacıkların daha yoğun bir şekilde bağlanmasını sağlayan süreç sinterlemedir.

Sinterleme, toz metalürjisinde mekanik özelliklerin sağlanmasında büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda sinterleme esnasında kullanılan tarifler parçadan

istenen özellikler nispetinde dikkatle hazırlanır. Şekil 4.6’da örnek bir parça sinterleme fırını gösterilmiştir.



**Şekil 4.6:** Parça sinterleme fırını.

Sinterleme sıcaklığının tayini genellikle tek fazlı parçalarda ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta gerçekleştirilir. Çok fazlı parçalarda ise ergime noktası en düşük fazın ergime sıcaklığından düşük bir sıcaklık seçilerek tatbik edilir. Uygulamada çok fazlı sistemlerde genellikle bağlayıcının ergime sıcaklığı referans olarak kabul edilmektedir. Bunun yanında çok fazlı sistemlerde en az bir malzemenin ergime sıcaklığının üzerinde sıcaklık seçilir ve sıvı-katı faz şeklinde sinterleme yapılır. Buna sıvı faz sintelemesi denilmektedir.

#### **4.6.4 Son İşlemler**

Toz metalürjisi parçalar sinterleme sonrası genellikle istenilen fiziksel özellikleri sağlamaktadır. Ancak imalat esnasında muhtelif sebeplerden yüzey ve diğer kısımlarda oluşan hataları/gözenekleri gidermek maksatlı uygun bir malzemeyle dolgu yapmak gerekebilir. Yahut yüzeyden gözeneklere uygun bir metal veya alarım emdirilerek yoğunluk, mukavemet, sertlik, süneklik ve darbe mukavemetinde artış



sağlanabilir. Bu ve benzeri işlemler, nihai işlem olarak adlandırılmakta olup ihtiyaç halinde yapılmaktadır.

#### **4.7 Toz Metalürjisi Yönteminin Avantajları/Dezavantajları**

Toz metalürjisi pek çok açıdan avantajlı bir imalat metodudur. Aşağıda maddeler halinde bu metodun avantajları dezavantajları ile mukayeseli incelenebilmesi maksadıyla sunulmuştur.

Avantajları;

1. Seri üretime uygundur, yüksek sayıda üretilere imkan sağlar,
2. Fire/ziyan malzeme miktarları düşük olup yüksek hammadde verimi sağlayan bir metottur,
3. Diğer imalat yöntemlerine göre yatırım maliyeti/amortisman süresi oranı düşüktür,
4. İmalat sonrası ilave yüzey işleme genellikle ihtiyaç kalmaz; hassas toleransların eldesine müsaittir,
5. Yüksek yoğunluklu ve erime noktası yüksek parçaların imalatına imkan sağlar,
6. Kararlı mikro yapı eldesi mümkündür,
7. İzafi derecede gözenekli yapısı sebebiyle gaz geçirgenliği imalat esnasında istenmeyen gaz boşluklarının önlenmesine imkan tanır.

8. İnce kesitli, karmaşık şekilli parçaların imalatına imkan tanır,  
Dezavantajları ise;

1. Metal tozlarının aşındırıcı etkiye sahip olması
2. Metal tozlarının üretiminin zorluğu
3. Üretilen malzemelerin darbe dayanımının düşüklüğüdür [27].

#### **4.8 Toz Metalürjisi Yönteminin Kullanım Alanları**

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen kompozitler çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. “Tungsten lamba teli, diş dolguları, kendinden yağlamalı yataklar, otomotiv güç aktarma dişlileri, zırh delici mermiler, elektrik kontakları ve fırçaları, mıknatıslar, nükleer güç yakıtları elemanları, ortopedik protezler, iş makinesi parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, şarj edilebilir piller ve jet motoru parçalarının üretimi” toz metalürjisi metoduyla üretilen parçalara örnek verilebilir. Bu çalışmada toz metalürjisi metoduyla üretilen kompozit fren balataları incelenmektedir.

## 5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 5.1 Balata Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Genel anlamda sürtünme, temasta bulunan ve izafi hareket yapan iki cismin temas eden yüzeylerinde, harekete veya hareket ihtimaline karşı meydana gelen dirençtir [29]. Bu tanımdan yola çıkarak birbirlerine göre izafi hareketi olan iki cisim arasında statik ve kinematik sürtünmeden bahsedilebilir. Fren sistemlerindeki sürtünme çiftleri arasında elde edilmek istenen sürtünme enerjisi kinematik sürtünmenin bir tabii sonucu olarak meydana gelmektedir. Kinematik sürtünme neticesinde sürtünme çifti arasında,

1. Aşınma,
2. Sıcaklık yükselmesi,
3. Enerji değişimi,

olayları meydana gelmektedir. Bu üç olay konstrüktif açıdan eş çalışan çiftlerde istenmeyen menfi olaylar olmasına rağmen fren sistemlerinde bu olaylar yönlendirilmiş aşınma, minimum sıcaklık yükselmesi, maksimum enerji değişimi ilkeleri çerçevesinde kontrollü olarak gerçekleşmesi amaçlanmaktadır. Bu ilkelerin sağlanabilmesi için doğru malzemelerin seçilmesi, imal edilmesi olmazsa olmazdır. Bu kapsamda sürtünme malzemeleri frenleme sistemleri için son derece önemli malzemelerdir [30,31].

Sürtünme altında mukavim çalışan malzemeler hakkında yapılan çalışmalar incelendiğinde kaynaklarda geniş bilgiye rastlamak mümkündür. Fakat sürtünme çiftlerini oluşturan elemanların mikro-boyuttaki teması ve sürtünme mekanizmaları hakkında literatür oldukça sınırlıdır. Bunun nedeni ise tribolojik mekanizmalarının karmaşık olması şeklinde açıklanabilmektedir [30,32].

Literatürde balata üretiminde kullanılan malzemeler kullanım amacına göre 4 sınıfa ayrılmaktadır;

1. Takviye Malzemeleri (Cam, bor, kynol, taş yünü, metalik elyaflar, kevlar, karbon, seramik ve asbest gibi elyaflar),
2. Aşındırıcılar (Sürtünme ayarlayıcı maddeler),
3. Dolgu Malzemeleri (barit, kalsiyum karbonat, mika, vermikülit, kauçuk atıklar gibi maddeler),
4. Bağlayıcılar (Fenolik reçine, siyanat ester, epoksi takviyeli reçine gibi reçineler)[4,8].

Takviye Malzemeleri, fren balatalarında mukavemet, rijitlik ve mekanik anlamda yeterli dayanımın sağlanması amacıyla kullanılan malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca üretim esnasında izlenen karıştırma, soğuk presleme ve diğer ısıl değişimlerde balatanın termofiziksel anlamda ısıl dengede kalmasına destek olmaktadır [3,8].

Takviye malzemeleri çok çeşitli olmakla beraber geçtiğimiz yüzyılda balatalarda takviye malzeme olarak asbest kullanımı çok yaygın iken son yıllarda asbestin insan sağlığına verdiği yüksek tahribat nedeniyle kullanımı pekçok ülkede yasaklanmıştır. İşbu sebepten asbestin 650 °C'a kadar ısıl kararlılığı, yeterli kesme mukavemeti ve süneklik, düşük ısıl iletkenlik, işlenebilme kolaylığı ve ucuz bulunabilmesi gibi özelliklerini karşılayacak malzeme araştırmaları hız kazanmıştır.

Asbestsiz üretilen ve asbest yerine mekanik/tribolojik özelliklere takviye için cam elyafı, taş yünü ve kevlar(49) elyafları ve sürtünme katsayısını ve aşınma direncini takviyesi için SiC kullanılan balatalarda kevlar (49) katkılı olan numunelerin az aşındığı görülmüştür [30].

Binek taşıtlarda kullanılan balataların yapısal komponentleri üzerinde yapılan çalışmada farklı oranlarda bakır tozu, kaya yünü ve aramid lifleri kullanılmış olup bu malzemelerin balatanın tribolojik ve fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Gri dökme demir ile eş çalışabilecek bir balata için tespit edilen optimum özellikleri (düşük aşınma oranı ve kararlı sürtünme katsayısı değişimi) sağlayan yapısal kompozisyon  $\%m_{Cu}=6$  bakır,  $\%m_{kaya\ yünü} = 14$  kaya yünü ve  $\%m_{aramid\ lif} = 5$  oranında aramid lif olduğu tespit edilmiştir [32].

Asbest ile aynı sınıftan ve bir çeşit magnezyum dihidrosilikat menşeli kil minerali olan ancak kanserojen etkisi olmayan Sepiyolit ( $Mg_8Si_{12}O_{30}(OH)_4(OH_2)_4 \cdot 8H_2O$ ), 0,2-80  $\mu m$  boyut aralığında bronz esaslı (70 % Cu, 8 % Sn, 11 % Fe, 8.5 % Pb ve 2.5 % grafit) toz malzemeye, % 0, 0.5, 1, 2 ve 4 oranlarında toz halde ilave edilmiş ve balata nurumeleri üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde yapılan fiziksel deneylerde bir miktar aşınma sonrası sepiyolit ilavesiz malzemenin sertliği yaklaşık % 100 artarken, sepiyolit ilaveli sürtünme malzemelerinin sertliklerinde oldukça düşük sertlik artışı görülmüştür. Ayrıca sürtünmeden dolayı ara yüzey sıcaklığının artmasına bağlı olarak en yüksek sürtünme katsayısı değeri % 4 sepiyolit ilaveli malzemede görülmüş; en kararlı sürtünme katsayısı % 1 ve % 2 sepiyolit ilaveli balata malzemesinde görülmüştür. Ek olarak en yüksek aşınma % 4 sepiyolit ilaveli malzemede olurken, en düşük aşınmanın % 0,5 ve % 1 sepiyolit ilave edilmiş balata malzemelerinde olduğu tespit edilmiştir [36].

Aşındırıcı olarak kütlece iki farklı miktarda (%5 ve %10) alümina, zirkon ve silika kullanılarak toplam 6 numune kullanılarak, balata kompozisyonunu oluşturan malzemelerden aşındırıcıların miktarının fren balata performansına etkileri incelemek üzere yapılan çalışmada, en yüksek sürtünme katsayısına 0.407 olarak kütlece %10 alümina içeren numunede ulaşılmıştır. En düşük sürtünme katsayısı ise 0.296 olarak kütlece %5 zirkon ihtiva eden numunede tespit edilmiştir. Ayrıca aşındırıcı miktarı ile doğru orantılı olarak sürtünme katsayısı ve sertliğin arttığı; buna mugayyir porozitenin

ise aynı nispette azaldığı görülmüştür. İlâveten sertliği yüksek olan numunelerin ortalama sürtünme katsayısının yüksek olduğu görülmüştür [37].

Borik asit ve boraksın aşındırıcı olarak ilave edilmesi sonucu oluşturulan balata komponentleri üzerinde inceleme yapılmış; sürtünme katsayısı, aşınma oranı ve balat sıcaklığının zamana bağlı değişimi incelenmiştir. Sonuç olarak borik asit ve boraks ihtiva eden balatalarda aşınmaya karşı dirençte artış görülmüştür. Ayrıca borik asit ve boraksın bakır tozu ile kullanılmasının sürtünme katsayısını düzenlediği tespit edilmiştir [38].

Karbon nanotüp ve grafitin fren balatalarında kullanılabilirliği araştırılmış, ilk etapta %70 bakır tozu, %12 demir yünü, %9 kalay tozu ve %9 kurşun tozundan temel bir karışım tespit edilmiş ve müteakibinde bu karışıma %0,5-%1-%2-%4 oranlarında grafit ile karbon nanotüp tatbik edilmiştir. Pres ve sinterleme işlemlerinin ardından yapılan testler neticesinde, karbon nanotüpün oranının artmasıyla aşınma değerlerinin azaldığı; dolayısıyla en az aşınmanın %4 karbon nanotüp ihtiva eden numune olduğu tespit edilmiştir [39].

Balata malzemelerinin sürtünme-aşınma performansı üzerinde çinkonun etkisinin incelendiği bir çalışmada kütlece 70 % Cu, 8 % Sn, 11 % Fe, 8.5 % Pb ve 2.5 % Grafit ihtiva eden ana toz malzemeye % 0, % 0.5, % 1, % 2 ve % 4 oranlarında Zn (Çinko) tozu ilave edilmiş ve toz metalurjisinde gerekli prosesler takip edilerek yeni balatalar üretilmiştir. Üretilen bu yeni balata numunelerine uygulanan mekanik testler neticesinde % 2 Zn ilave edilmiş balata malzemesinde en kararlı sürtünme katsayısı elde edilmiştir. İlâveten en yüksek aşınma hiç Zn ihtiva etmeyen ana malzemedede olurken, en düşük aşınmanın % 0,5 ve % 1 Zn ilave edilmiş balata malzemelerinde olduğu tespit edilmiştir [40].

Ticari açıdan değerlendirilme potansiyeli yüksek bor türevlerinden olan üleksit ve boraksın fren balatalarında uygulanması üzerine yapılan çalışmada kütlece %4, %8 ve %12 üleksit ve boraks ihtiva eden üç farklı numune hazırlanmıştır. Bahse konu balata numuneleri üzerinde yapılan sürtünme ve aşınma testleri neticesinde üleksit ve boraks oranı ile sürtünme kararlılığı ve sürtünme katsayısı arasında doğru orantı olduğu; dolayısıyla en yüksek sürtünme katsayısı %12 üleksit ve boraks içeren numunede elde edildiği ortaya konmuştur. Ayrıca numunelerin yoğunluğu ile sertlik değerleri arasında doğru orantı olduğuda ortaya konmuştur [41].

Dolgu malzemesi olarak barit yerine mermer tozu kullanılarak üretilen fren balata numuneleri üretilmiş; TS 555'e göre kullanılabilirliği araştırılmış ve farklı firmalardan alınan balatalarla sürtünme katsayısı – zaman grafikleri zaviyesinden mukayesesi yapılmıştır. Sonuç olarak numunelerin ortalama sürtünme katsayılarının 0,30-0,53 arasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mermer tozu kullanılan balataların, firmalardan temin edilen balatalara göre daha dengeli bir yapı sergilediği, dolayısıyla mikroyapı düzeyinde boyut değişiminin düşük oranda kalmasında olumlu etkisi olduğu görülmüş ve silisce zengin içerikli mineral atıkların dolgu malzemesi olarak kullanılmasının faydalı olacağı teklif edilmiştir [42].

Endüstride geniş kullanım alanı olan üleksitin ısıl direnci artırma, aşınma direnci ve sertliğe katkı yapma özellikleri göz önünde bulunularak yapılan bir çalışmada temel bir toz karışıma kütlece % 4-8-12-16-20 oranlarında üleksit eklenerek aynı oranda üleksit ihtiva eden 2 grup numune oluşturulmuştur. Ek olarak gruplardan birine imalat sürecinde 4 saat boyunca 180 °C ısıyla sinterlenmiştir. Bu çalışmalar neticesinde elde edilen numunelere uygulanan sürtünme testleri neticesinde ilave ısıl işleme maruz kalan numunelerde daha düzenli mikroyapı, daha yüksek sertlik ve daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca üleksitin frenleme performansına katkıda bulunduğu ve sürtünme katsayısını arttırdığı tespit edilmiştir [43].

Yine borik asit etkisinin incelendiği bir çalışmada bakır, borik asit, alüminyum oksit, cashew, grafit ve barit bileşenlerini içeren 10 grup numuneden her bir numune 2 adet imal edilmiştir. Aynı içerikli numunlerden bir gruba 8 saat süreyle 200  C sıcaklık altında ısıl işlem uygulanırken diğer gruba uygulanmamıştır. Ek olarak muhtelif dış ortam şartlarına maruz bırakılan numunelere muhtelif mekanik testler uygulanmıştır. Sonuç olarak ısıl işlem uygulanan numunelerde daha dzenli mikroyapı, daha yksek sertlik değerleri tespit edilmiştir. Dolgu malzemesi olarak barit kullanılan numunelerin dış ortam şartlarında daha başarılı olduğu; borik asit ihtiva eden numunelerin ise frenleme performansına olumlu etki ettiği tespit edilmiştir [44].

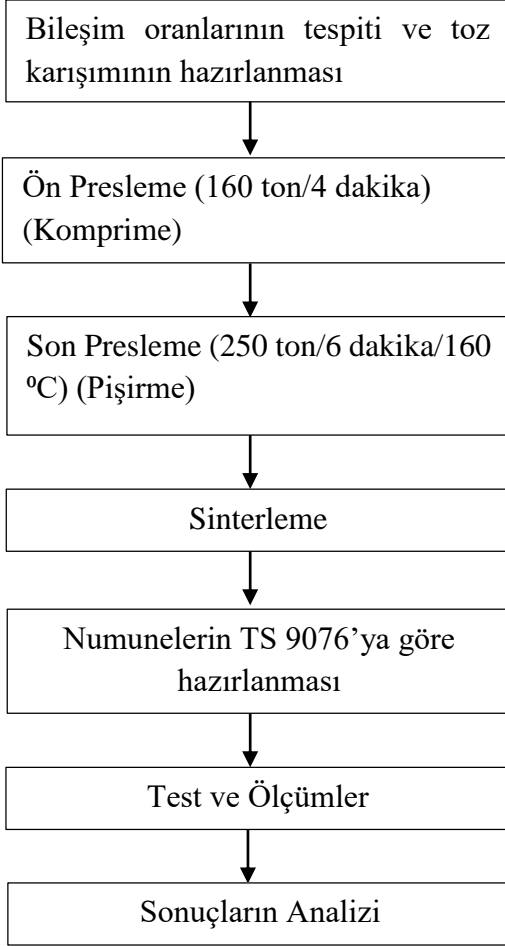
Binek tasıtlarda kullanılan ve gri dokme demir ile eş çalışabilecek bir balata malzemesinin kompozisyonunun oluşturulması ve üretim parametreleri optimizasyonunun yapılması üzerine yapılan çalışmada belirlenen karışım kompozisyonu ile üretilen balatalar üzerinde yapılan testler neticesinde aramid lif oranı arttığında yüzey pürüzlülüğünde artış, ortalama sıcak ve soğuk sürtünme katsayısında ve aşınma oranında artış olduğu, bakır oranının artmasıyla ortalama sıcak ve soğuk sürtünme katsayısında düşüş olduğu tespit edilmiştir [45].

Farklı oranlarda mermer tozu ve granit tozlarının kullanılarak üretilen fren balatalarındaki mekanik özelliklerin incelendiğinde mermer tozu ve granit katkısıyla üretilen balataların sürtünme performansları mukayese edildiğinde baritin yerine mermer tozu ve granit tozunun dolgu malzemesi olarak kullanılmasının sürtünme performansını daha olumlu etkilediği tespit edilmiştir [46].



## 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmaları ifade eden akış şeması Şekil 6.1.'de gösterilmiştir.

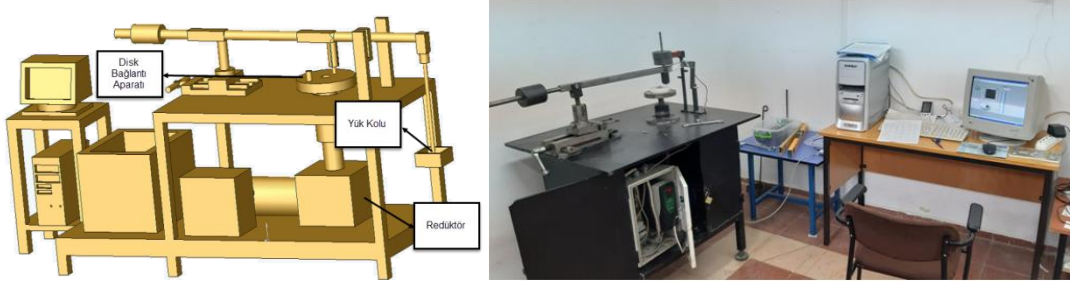


Şekil 6.1: Deneysel çalışmalarda izlenen iş akış şeması.

### 6.1 Deney Düzeneği Tanıtımı

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere üretilen balatalardan TS 9076'ya göre hazırlanan numunelerin TS 555 kapsamında sürtünme katsayısı, sürtünme esnasında sıcaklık artışı ve aşınma miktarı gibi değerlerinin ölçümü için Şekil 6.2.'de gösterilen test cihazına uygun deney seti üretilip montajlanmıştır. Bu kapsamda test cihazına

birtakım ilave aparatlar konulmuş ve yapılan bu dönüşüm sonrasında deneyler gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 6.2:** Deney düzeneği.

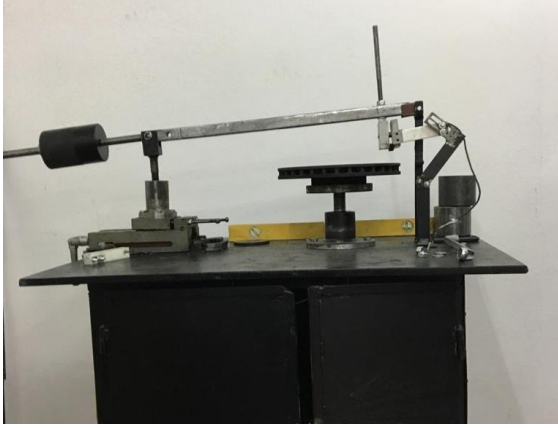
Şekil 6.2’de görülen deney düzeneğinde fren diskini döndürmek için 3 kW güce sahip, max. 1400 d/dk, 380 V AC motor kullanılmıştır. Motor tezgâhın ana güç sağlayıcısı konumundadır. Elektrik motor çıkışında, 1/10 düşürme oranına sahip redüktör mevcuttur. Şekil 6.3’teki sürücü hız kontrol ünitesi vasıtasıyla elektrik motorunun devir kademeleri ayarlanabilmektedir.”



**Şekil 6.3:** Sürücü hız kontrol ünitesi.

Elektrik motorundan redüktöre gelen hareket mil üzerinden diske aktarılmaktadır. Diske aktarılan maksimum devir test cihazının maksimum devri olan 210 d/d’dir. Aşınma testinin yapılacağı 240 mm’lik referans çapta yaklaşık 2,64 m/s hız elde edilerek testler gerçekleştirilmiştir.

TS 9076'daki kriterler kapsamında 700 kPa ve 1050 kPa yüzey basıncının elde edilmesi için gerekli ağırlık hesaplanarak yük kolu üzerine konulmuştur.



**Şekil 6.4:** Cihazın hazırlanması.

Şekil 6.4'te gösterildiği üzere ağırlıkların asıldığı yük kolu, numunenin bağlandığı alyan başlı ayar civatalı mengene aparatıyla aynı gijona bağlanmıştır. Ayar civatalı mengeneye balata numunelerinin rahatça yerleştirilebilmesi için yuva açılmıştır. Numune yuvaya yerleştirilmesinden sonra TS 9076'daki basınç değerini sağlayacak ağırlık yük koluna asılmakta ve teste hazır hale getirilebilmektedir. Yük koluna gerekli miktarda ağırlık konup disk ile balata arasında sürtünme bağı kurulmasından sonra balatanın disk ile beraber dönmek istemekte ancak engel olarak konulan yük hücresi (loadcell) bu kuvvete aksi yönde kuvvet uygulamakta ve böylelikle sürtünme kuvvetini ölçmektedir. Loadcell vasıtasıyla ölçülen değerler ekrana gram olarak yansıtılmaktadır. Sonrasında aşağıdaki formülle sürtünme katsayısı hesaplanmaktadır.

$$F_S = \mu \times F_N \quad (6.1)$$

$$\mu = F_S / F_N \quad (6.2)$$

$\mu$  = Mikrometre ( $10^{-6}$  m), Sürtünme Katsayısı

$F_S$  = Sürtünme Kuvveti (gram)

$F_N$  = Normal Kuvvet (gram)

## 6.2 Hassas Terazi

Aşınma deneyi esnasında meydana gelen kütle kaybı ve yoğunluk ölçümlerinin yapılması esnasında Şekil 6.5’de gösterilen Precisa 205 A SCS marka/model 0,0001 gr hassasiyetinde terazi kullanılmıştır. Ölçümler esnasında hava akımından etkilenmemesi için ölçüm tablası sürgülü camkanla kapatılmıştır. Her ölçüm öncesinde terazinin kalibrasyonu yapılarak ölçümler yapılmıştır.



Şekil 6.5: Hassas terazi.

## 6.3 Sıcaklık Ölçü Aleti

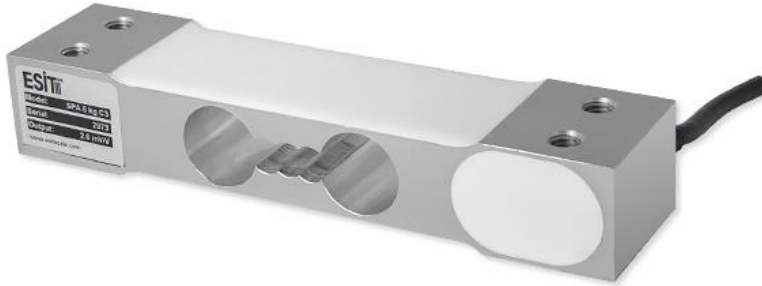
Deneyler esnasında sürtünme neticesinde hem fren diskisi hem de balatanın sıcaklığının değişim miktarının kontrolü amacıyla disk ve balatanın temas yüzeyine uygun uzaklıktan ölçüm yapılmıştır. Ölçümler esnasında Mikro-Epsilon CT-SF22-C3 marka/model termometre kullanılmıştır. Bahse konu termometre Şekil 6.6’da gösterilmiştir. -50 °C /+2200 °C sıcaklık aralığını ölçme kabiliyetine sahip bu termometre aynı zamanda bilgisayar arayüzünde sıcaklık ölçüm aralıklarını da ayarlamaya imkan tanımaktadır. 0.001 saniye de bir ölçüm yapabilecek kapasiteye sahiptir. Ölçümler esnasında sürtünme yüzeyinden yaklaşık 1 cm uzaklıktan nokta ölçüm yapılmıştır ve bilgisayar ortamında kaydedilmiştir.



Şekil 6.6: Kızılötesi sensörlü nokta ölçüm termometre.

#### 6.4 Yük Hücresi (Loadcell)

Sürtünme kuvvetini ( $F_s$ ) belirlemek için kullanılan yük hücresi Şekil 6.7.'de gösterilmiştir. ESİT SPA 35 marka/model yük hücresi  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  /  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında %0.006 hata ile her saniye ölçüm yapıp LabView arayüz yazılımı vasıtasıyla bilgisayara veri kaydı yapabilmektedir.



Şekil 6.7: Yük hücresi (Loadcell).

## 6.5 Sertlik Ölçüm Cihazı

Deneyler esnasında laboratuarda mevcut Şekil 6.8’de sunulan sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bahse konu sertlik ölçüm cihazı Time Group TH 500 marka/model olup Rockwell A-B ve C biriminden sertlik ölçümü yapabilmektedir. Ölçümler esnasında kompozit malzemelerin ölçümünde kullanılan ve TS555’e uygun ölçme birimi olan Rockwell B seçilmiştir. Uygun uç seçilerek yaklaşık 1000 N kuvvet uygulanarak geyçteki değer okunmuş ve ASTM E140-12’ye göre dönüşüm uygulanmıştır.



Şekil 6.8: Sertlik ölçüm cihazı.

## 6.6 Balata Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi

Deney numunelerinin üretimi kapsamında ilk olarak ticari olarak kullanımda olan bir geometride balata üretilmiştir. Üretim için İstanbul Beylikdüzü’nde bulunan Oypar Balataçılık’ın tesislerinden destek alınmıştır. Üretim esnasında kütle oranlar esas alınmıştır. Temel toz karışımı ve ilave edilen B<sub>4</sub>C hassas olarak tartılarak önceden belirlenen sürede karıştırılmıştır.

Yapılan çalışma neticesinde ticari çalışmadan alınarak oluşturulan temel toz karışımı 17 farklı malzemeden ve takviye olarak bor karbürden oluşan olup, içerdiği malzemeler Tablo 6.1’de belirtilmiştir.

**Tablo 6.1:** Toz karışımı bileşenleri ve işlevleri.

S.Nu.	Malzeme Adı
1	Twaron
2	Çelik Yünü
3	Taş Yünü
4	Toz Kauçuk
5	Barit
6	Reçine (Novalak)
7	Sürtünme Tozu
8	Vermiculite
9	Grafit Bulgur
10	Alüminyum Oksit Kalsine
11	Kurşun Sülfür
12	Demir Oksit
13	Petro Coke
14	Grafit Yağlı (Tabii)
15	Grafit Yağsız (Suni)
16	Lastik Tozu
17	Kalsiyum Karbonat
18	Bor Karbür

Ana malzemeye bor karbür takviyesi yapılması için usul olarak 2 farklı tane boyutuna sahip bor karbür malzemesi kullanılmıştır. Bundan maksat, aynı çalışma içerisinde hem bor karbür ün mekanik özelliklerinin katkısını, aynı zamanda da tane büyüklüğünün etkisinin mukayese etme imkanı oluşturmaktır. Bu kapsamda Tablo 6.1’de bulunan ilk 17 çeşit malzemeden oluşan ana toz karışımından 300 gramlık parça büyüklüğünde kontrol grubu oluşturulmak amaçlanmıştır. Deney grubu için ise 10µm

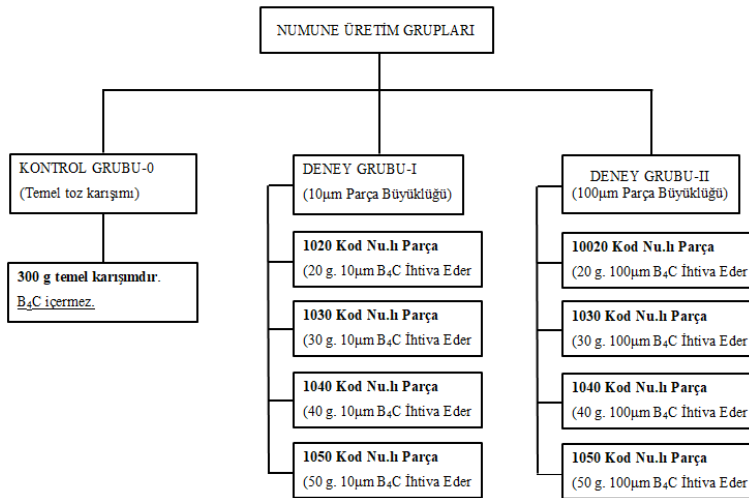
ve 100µm.lik partikül büyüklüğünde Tablo 6.1'deki 17 kalemden oluşan karışıma detayları aşağıdaki maddelerde verilecek miktarlarda iki farklı tane büyüklüğüne sahip B<sub>4</sub>C malzemesi ilave edilerek yine 300 gram büyüklüğünde parça elde edilmiştir.

### 6.6.1 Balata Boyutları

Çalışma kapsamında ilk olarak balata boyutlandırması yapılmıştır. TS 9046'daki numune kriterleri gereği boyut 25,4x25,4x4 mm olması gerekmektedir. Ancak bu noktada imalat kısıtlamaları (kalıp, pres, vs) nedeniyle ve daha önemlisi çalışmanın ticari olarak kullanılan balatalar ile benzer mekanik özelliklerde olması için firmanın ürettiği ve trafikte yaygın araçlarda kullanılan balata geometrisi tercih edilmiştir. Balata geometrisine ait detaylı çizimler ekte sunulmuş olup ana ölçüleri 136.8x63x19 mm (Genişlik x Yükseklik x Kalınlık) olan kalıplar seçilerek numune üretimi yapılmıştır.

### 6.6.2 Malzeme Karışımının ve Deney Gruplarının Belirlenmesi

Numune üretim parametreleri baz alınarak oluşturulan numune üretim gruplamaları Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9: Numune üretim grupları.



Çalışma kapsamında bölüm 6.6'da girişi yapıldığı üzere Tablo 6.1'deki 17 kalem malzemeden oluşan temel toz karışımında 300 gramlık kontrol grubu üretilmiştir. Deney grubu için ise iki farklı gruplama yapılmış ve bu gruplarda kendi içerisinde 4 farklı birime ayrılmıştır.

Deney Grubu-1; 300 g temel karışımdan her bir kalıpta 20-30-40-50 g eksilti olarak 10µm parça büyüklüğündeki B<sub>4</sub>C tozu ilave edilmiş ve B<sub>4</sub>C tozlarının homojenize olması için her bir numune yaklaşık 5 dk karıştırılmıştır.

Deney Grubu-2; 300 g temel karışımdan her bir kalıpta 20-30-40-50 g eksilti olarak 100µm parça büyüklüğündeki B<sub>4</sub>C tozu ilave edilmiş ve B<sub>4</sub>C tozlarının homojenize olması için her bir numune yaklaşık 5 dk karıştırılmıştır.

Ardından gruplar kapsamında üretilen numunelerin karışmaması için kodlandırma yapılmıştır. Kodlandırmaya göre;

İlk iki/üç rakam → Parça büyüklüğü

Son iki rakam → Kaç gram B<sub>4</sub>C ihtiva ettiği

büyükliklerini temsil etmektedir. Örnek olarak deney grubu-I'de bulunan 1020 kod numaralı numunenin analizini yaparsak bu numune: 300 gramlık parçanın toz bileşiminde 10µm büyüklüğünde B<sub>4</sub>C partiküllerinden 20 gram vardır.

### 6.6.3 Kalıplama ve Presleme

Numune üretim gruplandırmaları ve karışım oranları belirlendikten sonra ikinci adım olarak kalıp ve presleme parametrelerinin tespiti yapılmıştır. Bu kapsamda numune boyutu 136.8x63x19 mm.lik kalıp seçilmiştir. Bahse konu kalıplara ve ön presleme kalıplarına ait resimler Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



**Şekil 6.10:** Balata alt bağlantı kalıpları.



**Şekil 6.11:** Balata ön pres kalıpları.

Toz metalürjisiyle üretim esnasında presleme faaliyeti iki kademedede icra edilmektedir. Öncelikle toz karışımını müteakip parça rijitliğini ve ön şekillendirme sağlamak maksadıyla ön presleme yapılır. Bu kapsamda ön presleme presi için 4 dakika müddetince 160 ton'luk pres seçilmiş ve uygulanmıştır. Sonuç olarak son şekillendirme ve bağlayıcının aktifleşmesini sağlayacak ısıtmalı pres için 250 ton'luk pres seçilmiştir. 6 dakika boyunca 160 °C'lik sıcaklık kademesinde presleme yapılmıştır.

#### 6.6.4 Sinterleme

Preslemeden sonra nihai şekillendirme elde edilmesini müteakip, mikroyapının sıhhati, boşluk yayınının daha iyi sağlanması vb. maksatlarla sinterleme yapılacaktır. Sinterleme usulüne ilişkin üretici tecrübeleri görüşülmüş piyasadaki uygulamalarla mukayese edilerek Tablo 6.2’de verilen sinterleme usulü parçalara uygulanmak üzere kararlaştırılmıştır.

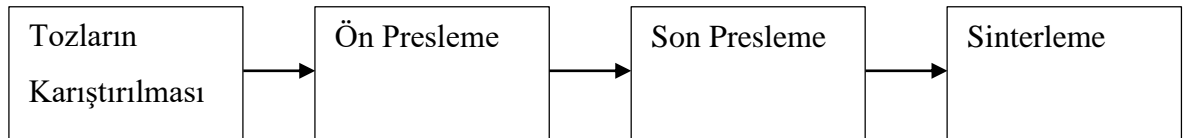
**Tablo 6.2:** Sinterleme parametreleri.

İşlem Sırası	Sinterleme Sıcaklığı	Sinterleme Süresi
1.	100 °C	1 saat
2.	140 °C	2 saat
3.	160 °C	3 saat
4.	170 °C	3 saat
5.	180 °C	30 dakika

Bağlayıcı reçine sıcaklık dayanımı 200-230 °C mertebelerinde olması nedeniyle bu sıcaklığın altında bir seviye seçilmesi nedeniyle de seçilen rakamların anlamlı olduğu değerlendirilmiştir.

#### 6.7 Balataların Üretimi

Balata üretimi bölüm 6.6’daki parametreler referans alınarak Şekil 6.12’deki akış planına göre bizzat yapılmıştır.



**Şekil 6.12:** Numune üretim akışı.

### 6.7.1 Tozların Karıştırılması

Tablo 6.1’de verilen malzemelerden oluşan temel toz karışımı, mikserde hazırlanmıştır. Temel toz karışımından örnek bir numune Şekil 6.13’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.13:** Temel toz karışımından örnek bir numune.

Herbir balata üretimi için hazırlanan toz karışımı minimum 10 dakika karıştırılmıştır. Numunelerin preslenmesi için hazırlanan toz karışımları kod numaralarıyla Tablo 6.3’te gösterilmiştir.

**Tablo 6.3:** Toz karışımlarının kütlece oranları.

Kod Nu.	Baz Miktarı	B <sub>4</sub> C(10µm)	B <sub>4</sub> C (100µm)	Toplam
TF00	300 gram	0	0	300 gram
1020	280 gram	20	0	300 gram
1030	270 gram	30	0	300 gram
1040	260 gram	40	0	300 gram
1050	250 gram	50	0	300 gram
10020	280 gram	0	20	300 gram
10030	270 gram	0	30	300 gram
10040	260 gram	0	40	300 gram
10050	250 gram	0	50	300 gram

### 6.7.2 Tozların Preslenmesi

Toz karışımları hazırlandıktan sonra parça kalıpları üzerinde herhangi bir hatanın olup olmadığının denetlenmesi için gözle muayene faaliyetleri yapılmıştır. Denetlemeler her iki pres için bilahare yapılmıştır. Ancak rijitlik ve şekil toleranslarının verildiği ön şekillendirme presine ait erkek ve dişi kalıplara ilişkin resimler Şekil 6.14. ve Şekil 6.15’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.14:** Ön şekillendirme presi dişi kalıplar.



**Şekil 6.15:** Ön şekillendirme presi erkek kalıplar.

Toz karışımların yapılmasını müteakip parçalara Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18’de gösterilen ön şekillendirme presinde 4 dakika müddetince 160 ton.luk basınç uygulanmıştır.



**Şekil 6.16:** 160 tonluk ön şekillendirme presini.



**Şekil 6.17:** Ön şekillendirme presine tozların konulması.

Ham şekillendirmeden çıkan parçalar nihai pres ve pişirmeye girmeden önce altlarına metal plakaların konulması ve tablalara dizilmesi için ayrıca bir kısma alınmıştır. Parçaların bu kısımdaki durumu Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



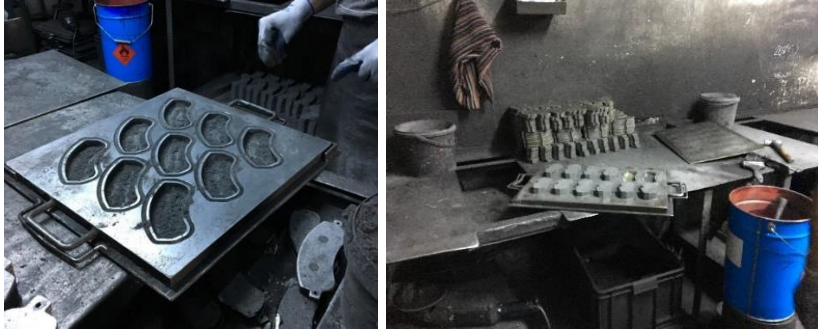
**Şekil 6.18:** 100 µm.lik numuneler-pişirme presi öncesi

İkinci kademe prese girmek üzere ön şekillenen parçalar Şekil 6.19.'da gösterilen 6 mm. kalınlığındaki alt plakaların üzerine oturtularak tablalara yerleştirilmiştir.



**Şekil 6.19:** Balata alt bağlantı plakaları

Yerleştirilen pişirme pres tablaları ve balataların yerleştirilmiş hali Şekil 6.20'de gösterilmiştir.



(a)

(b)

**Şekil 6.20:** Pişirme presi aşamaları; (a) pişirme tablası, (b) balataların yerleştirilmesi.

Tablaya yanmaz boyayla işaretlenerek dizilen parçalar nihai şekillendirme ve pişirilmek üzere Şekil 6.21'de gösterilen 250 tonluk ısıtmalı prese konulmuş ve 6 dakika boyunca hem preslenmiş hem de 160 °C sıcaklıkta pişirilmiştir. Nihai presleme sonrası çıkan parçalar Şekil 6.21'de görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

**Şekil 6.21:** Pişirme presi ve numuneler; (a) 250 tonluk pişirme presi , (b) presten çıkan, (c) balatalar.

### 6.7.3 Numunelerin Sinterlenmesi

İmalatı yapılan numuneler bölüm 6.6.4'te belirlenen kriterlere göre sinterlenerek kullanıma hazır hale getirilmiştir.

## 6.8 Deney numunelerinin test için hazırlanması

Balıkesir Üniversitesi Edremit Meslek Yüksek Okulu atölyeleri kullanılarak Bölüm 6.7.'de üretimi detaylıca anlatılan balatalardan TS 9076'ya uygun boyutlarda deney numuneleri elde edilmiştir. TS 9076, deney numune boyutlarını 25,4 mm x 25,4 mm en ve boy, kalınlık olarakta 3 mm - 6 mm eşit kalınlıkta istemektedir. Ancak hem



test cihazı hem de elektron mikroskopu ölçümlerindeki boyut sınırlaması nedeniyle bu ölçüler orantılı olarak küçültülerek yaklaşık 8 mm x 8 mm en ve boy olarak hazırlanmıştır. Yüksekliği ise 3 mm'si numune yuvasına girip 6 mm'si dışarıda kalacağı dikkate alınarak 9 mm. olarak hazırlanmıştır.

Balatalardan numunelerin yukarıda belirtilen ölçülerde kesim işleri Şekil 6.22'de gösterilen İMAK ŞT 40 marka/model şerit testere ile kesilmiş ve devamında el ile tesviyelenmiştir.



**Şekil 6.22:** Numune kesim testeresi.

Ayrıca test cihazının disk bağlantısı, sıcaklık ölçüm cihazı, yük hücresi bağlantı aparatı ve diğer tüm özel ekipmanlar Şekil 6.26.'de gösterilen tezgahlarda imal edilmiştir.



**Şekil 6.23:** Özel imalatlar için kullanılan tezgahlar.

## 6.9 Deneyler ve sonuçları

Numune üretimini müteakip imalatı yapılan kontrol grubu ve deney gruplarının TS 555'e göre testlerine başlanmıştır.

### 6.9.1 Yoğunluk deneyi

Bor Karbür bileşiğinin yoğunluğu literatürde  $2,52 \text{ g/cm}^3$  olarak geçmektedir. Arşimed prensibi vasıtasıyla temel kompozisyondan imal edilen numune ve diğerlerinin yoğunluğu hesaplanmıştır. Bahse konu hesaplamaya göre su içerisine daldırılan cisim hacmi kadar suya yer değiştirtmektedir. Bu prensip gereği yoğunluğu ölçülmek istenen cismin havadaki ağırlığı sudaki ağırlığına bölündüğünde yoğunluğuna ulaşılmaktadır. Numunelere ait yoğunluklar Tablo 6.4'te belirtilmiştir.

**Tablo 6.4:** Numunelerin fiziksel özellikleri ve içerikleri.

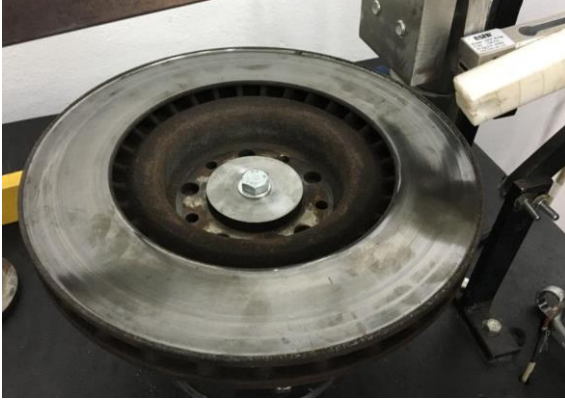
<b>Kod Nu.</b>	<b>Baz Miktarı (gr)</b>	<b>B<sub>4</sub>C (10µm)</b>	<b>B<sub>4</sub>C (100µm)</b>	<b>Toplam (gr)</b>	<b>Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Sertlik (Brinell)</b>
TF00	300	0	0	300	2,189	141
1020	280	20	0	300	2,181	154
1030	270	30	0	300	2,161	156
1040	260	40	0	300	2,117	150
1050	250	50	0	300	2,095	148
10020	280	0	20	300	2,129	140
10030	270	0	30	300	2,144	150
10040	260	0	40	300	2,182	150
10050	250	0	50	300	2,214	141

### 6.9.2 Sertlik ölçüm deneyi

Numuneler üzerinde yapılan sertlik ölçümleri ve ASTM E140-12 kapsamında yapılan dönüşümler neticesinde elde edilen sonuçlar Tablo 6.4'te belirtilmiştir. Karşılıklı çalıştığı disk malzemesinin pik dökme demir olup sertliği 240 HB olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda balatalar diskten daha yumuşak olduğu tespit edilmiştir.

Bunun dışında disk üzerinde elle ve gözle hem testler öncesi hem de testler sonrası muayeneler yapılmış ancak herhangi bir dalgalanma, çizme, kazıma vb. aşınma tiplerinden hiçbirine rastlanmamıştır. Diske ait çekilen test öncesi çekilen fotoğraf Şekil 6.24'de, test sonrası çekilen fotoğraf Şekil 6.25'de gösterilmiştir.

Disk üzerindeki çeşitli izler yağ, toz ve diğer kalıntılardır. Disk yüzeyinde hiçbir şekilde yukarıda belirtilen biçimdeki deformasyona rastlanmamıştır.



**Şekil 6.24:** Test öncesi disk yüzeyi.



**Şekil 6.25:** Test sonrası disk yüzeyi.

### **6.9.3 Özgül aşınma miktarı ölçümü deneyi**

Özgül aşınma miktarı, TS 555'te izah edildiği şekilde kütle metodu kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. Testten önce ve sonra numunelerin kütlesi hassas terazide ölçülmüştür.

$$V = \frac{1}{2\pi R_d} \times \frac{(m_1 - m_2)}{n f_m \rho} \quad (6.3)$$

V = Özgül aşınma

$m_1$  = Deneyden önce ölçülen balata kütlesi (gr)

$m_2$  = Deneyden önce ölçülen balata kütlesi (gr)

$\rho$  = Balata yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>)

$R_d$  = Disk yarıçapı (m)

$f_m$  = Deneydeki ortalama sürtünme (N)

n = Toplam devir sayısı (devir)

Yukarıdaki denklem kapsamında hesaplanan özgül aşınma miktarı tablosu Tablo 6.5'te sunulmuştur.

**Tablo 6.5:** Özgül aşınma oranı tablosu.

Numune Adı	$\mu_{ort}$	Yoğunluk (g/ cm <sup>3</sup> )	Aşınma Oranı (cm <sup>3</sup> /Nm)
Temel Malzeme	0,22	2,189	5,45 x 10 <sup>-9</sup>
1020	0,27	2,181	5,0 x 10 <sup>-9</sup>
1030	0,25	2,161	4,53 x 10 <sup>-9</sup>
1040	0,27	2,117	4,0 x 10 <sup>-9</sup>
1050	0,30	2,095	5,03 x 10 <sup>-9</sup>
10020	0,27	2,129	7,035 x 10 <sup>-9</sup>
10030	0,29	2,144	5,43 x 10 <sup>-9</sup>
10040	0,31	2,182	5,23 x 10 <sup>-9</sup>
10050	0,33	2,214	5,29 x 10 <sup>-9</sup>

#### 6.9.4 Sürtünme deneyleri

Deneylerde toplam 9 adet numune kullanılmıştır. Numunelerden biri yukarıdaki bölümlerde de bahsedildiği üzere ticari olarak kullanılan bir balatadır. Diğerleri ise belirli oranlarda ve belirli tane büyüklüklerinde B<sub>4</sub>C içermektedir. Tüm

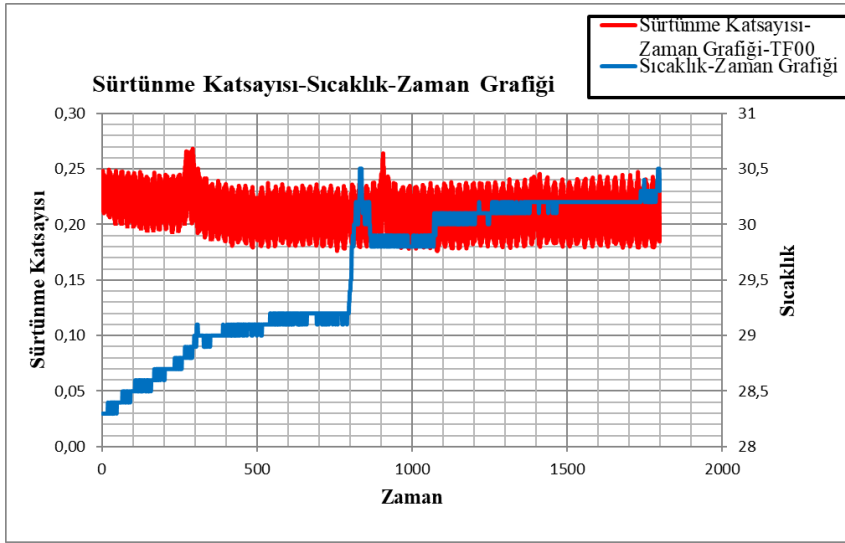
numunelerin frenleme karakteristiği, aşınma direnci ve sürtünme katsayısının belirlenmesi için aşağıdaki işlem sırasına göre deneyler gerçekleştirilmiştir.

1. Tüm numuneler için başlangıç sıcaklığı oda sıcaklığı olarak belirlenmiştir.

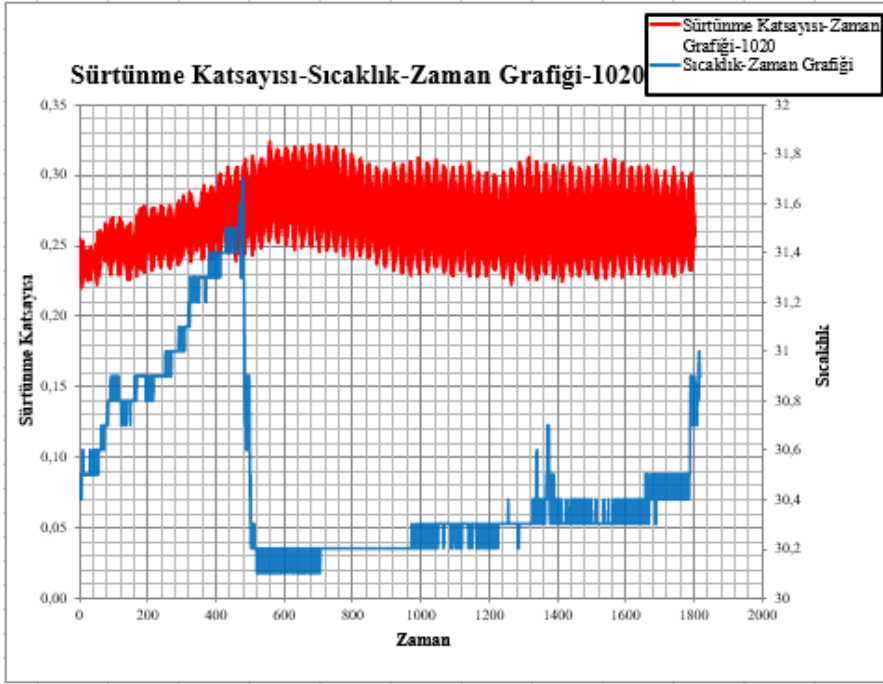
2. Tüm numuneler 700 kPa basınç altında sürekli sürtünmeye tabi tutularak balata yüzeyinin %95'i fren diskine temas edinceye kadar alıştırma işlemi yapılmıştır. Bu işlemler esnasında her bir numuneden sonra disk yüzeyi 320 kum zımpara ile zımparalanmıştır.

3. Sonrasında herbir numunenin 1050 kPa basınç altındaki 4,8 km mesafe boyunca yaklaşık 30 dakika frenlemeye tabi tutulmuştur.

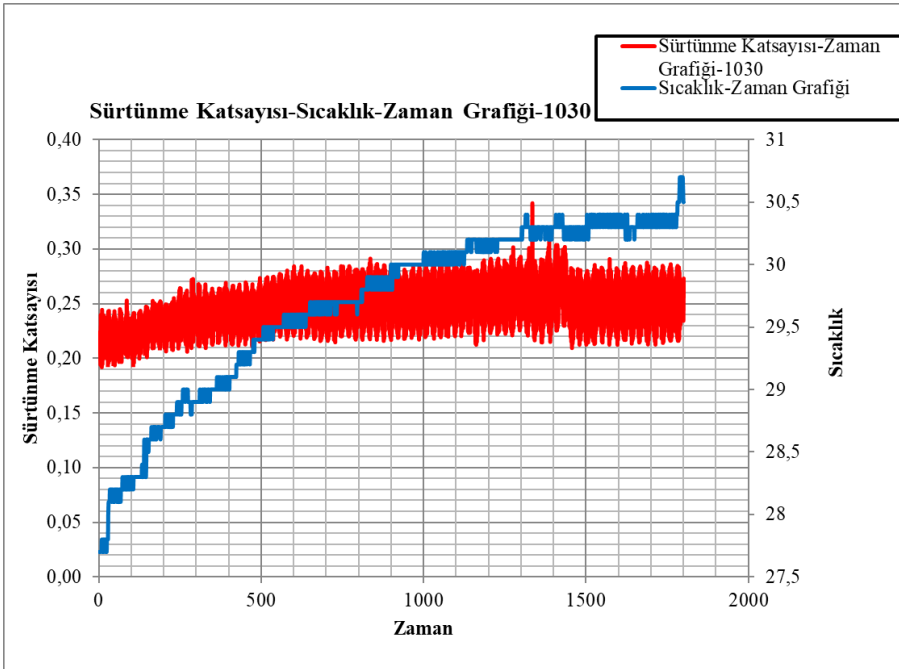
Yukarıdaki adımlar çerçevesinde yapılan deneyler neticesinde elde edilen sürtünme katsayısının sıcaklık ve zaman bağlı değişimini gösteren grafikler aşağıda belirtilmiştir.



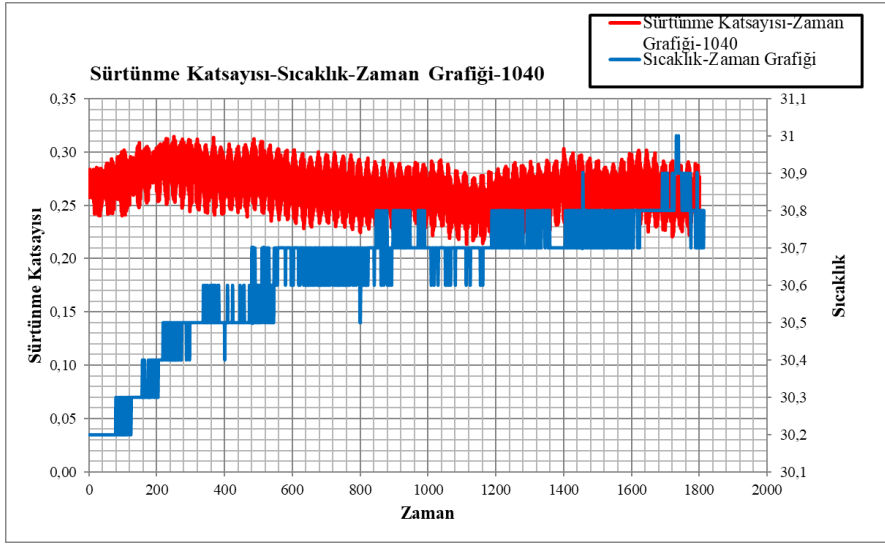
Şekil 6.26: TF00 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği.



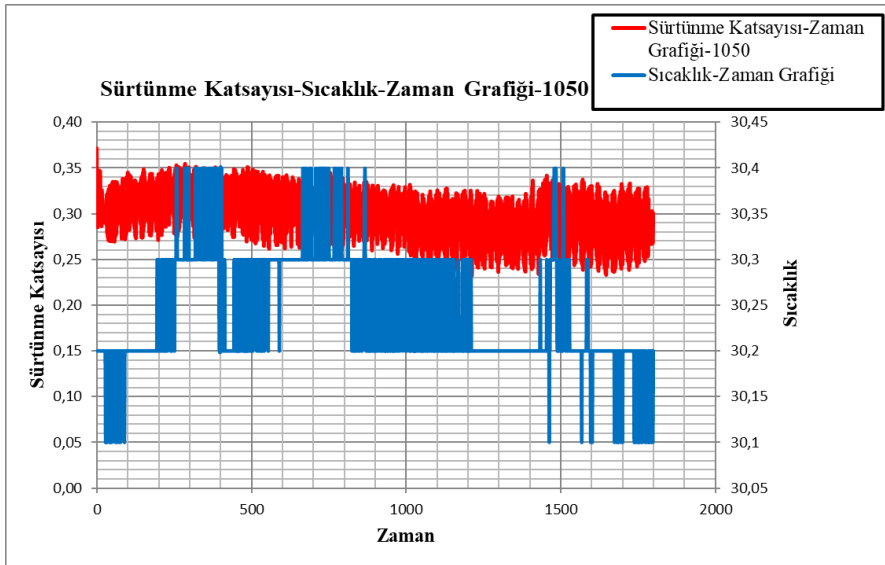
**Şekil 6.27:** 1020 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği.



**Şekil 6.28:** 1030 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği.

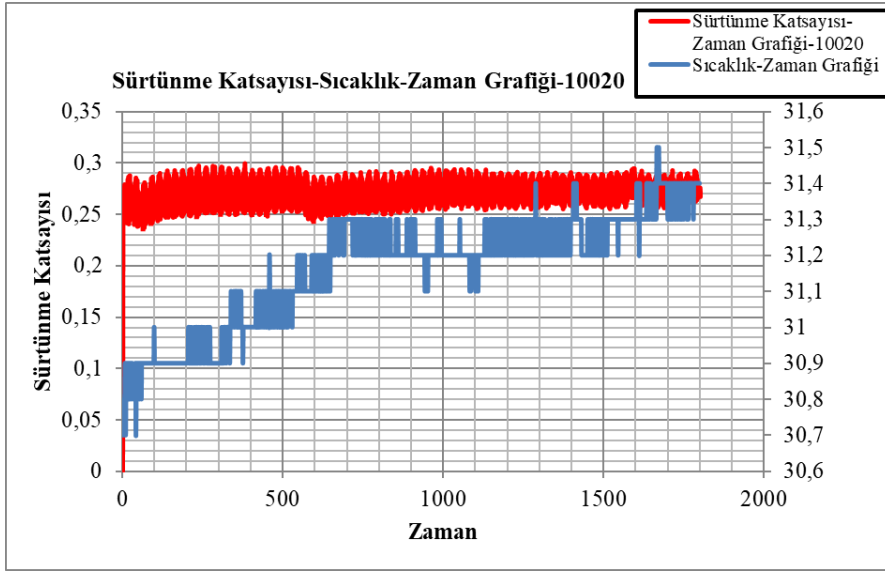


**Şekil 6.29:** 1040 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği.

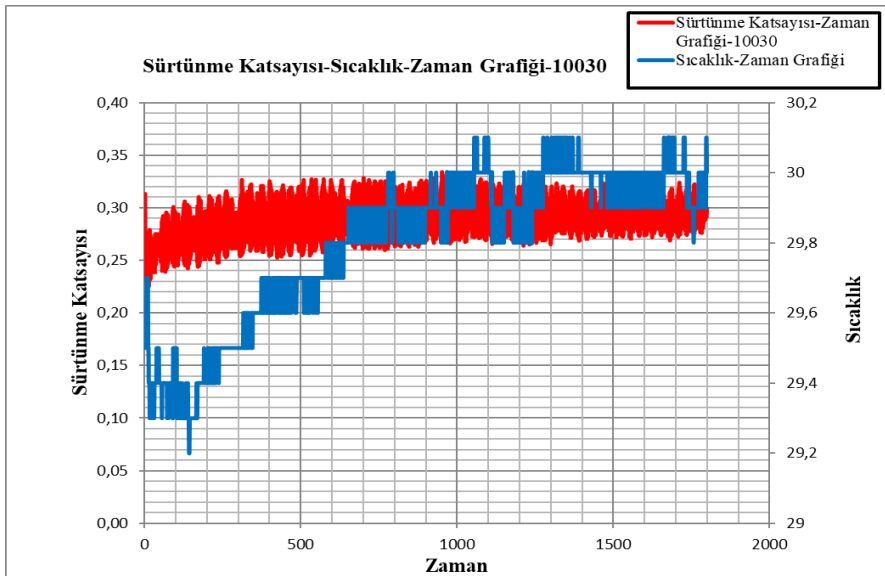


**Şekil 6.30:** 1050 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği.

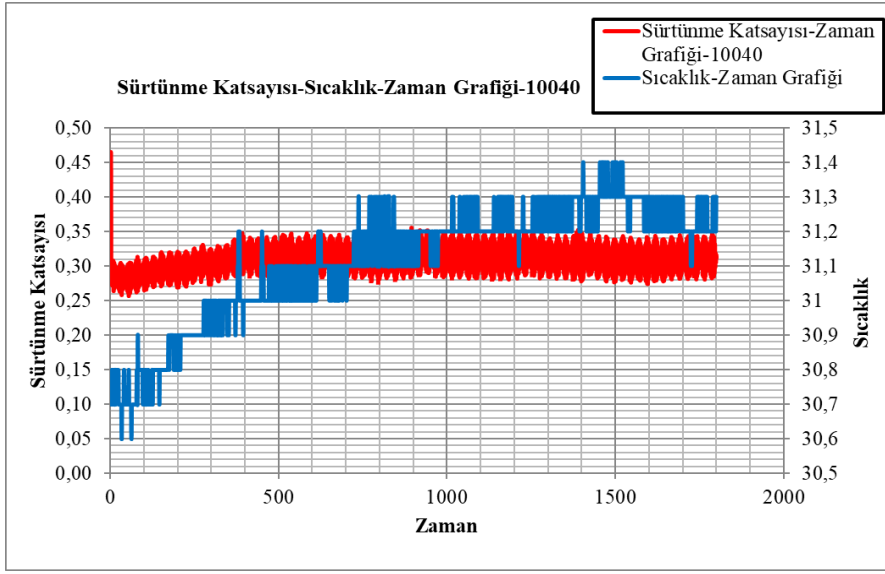




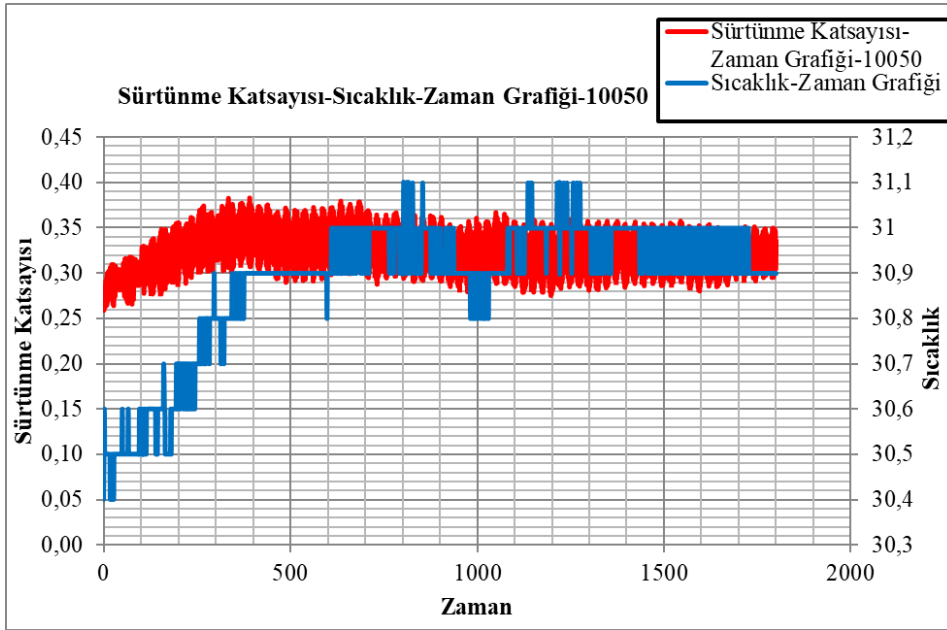
**Şekil 6.31:** 10020 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği.



**Şekil 6.32:** 10030 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği.



Şekil 6.33: 10040 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği.



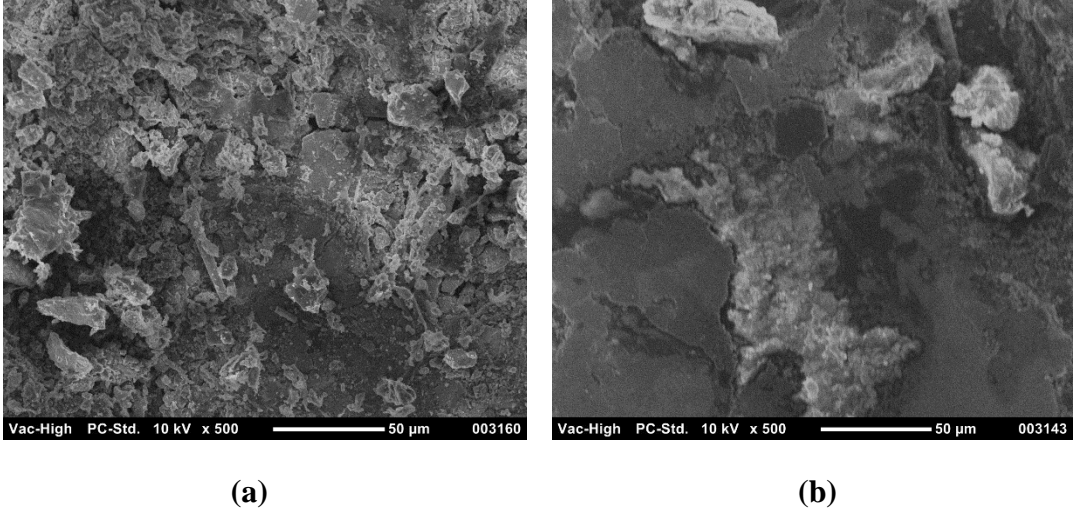
Şekil 6.34: 10050 numunesinin sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiği.

### 6.9.5 Mikroyapı çalışmaları

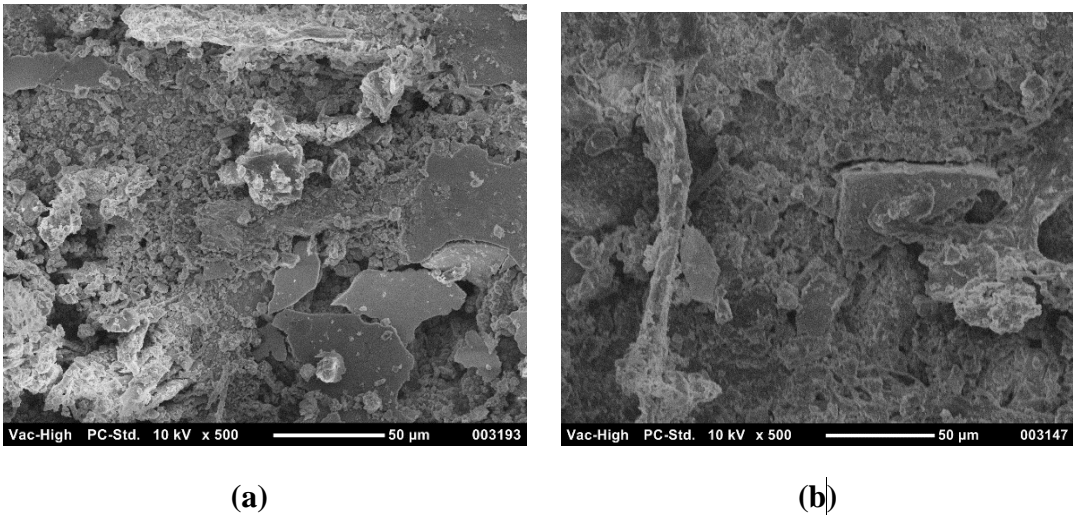
Sürtünme ve aşınma deneyleri sonrasında numunelerin mikto yapısının incelenmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışması yapılmıştır.

Bu çalışmalar Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Laboratuvarı bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

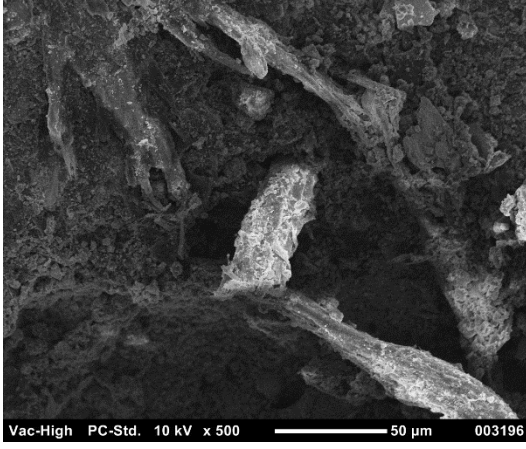
Herbir numunenin test öncesi ve sonrası mikroyapı fotoğrafları x 100 büyütme ile 200 µm ölçeğinde çekilmiştir. Elde edilen fotoğraflar aşağıda sunulmuştur.



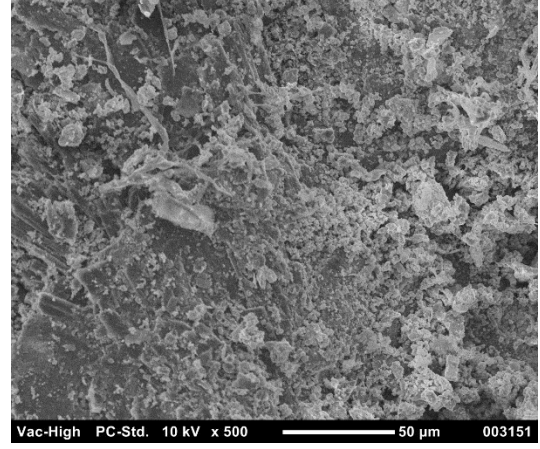
**Şekil 6.35:** TF00 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra.



**Şekil 6.36:** 1020 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra.

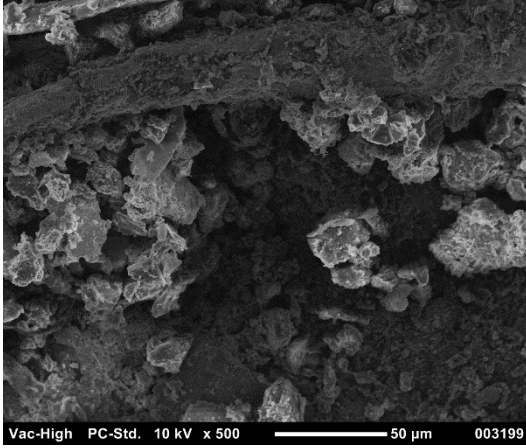


(a)

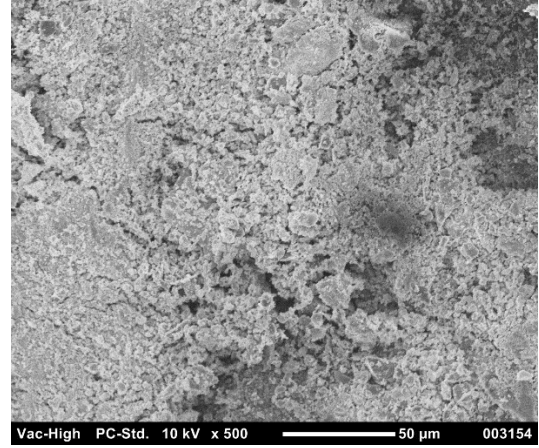


(b)

**Şekil 6.37:** 1030 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra.

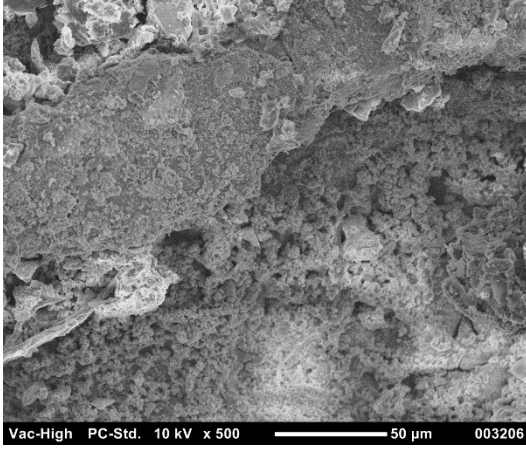


(a)

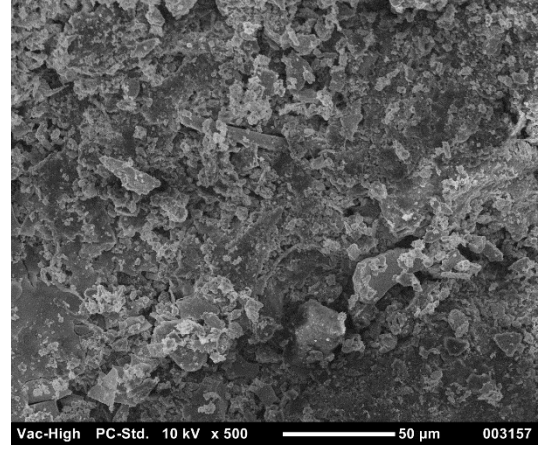


(b)

**Şekil 6.38:** 1040 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra.



(a)

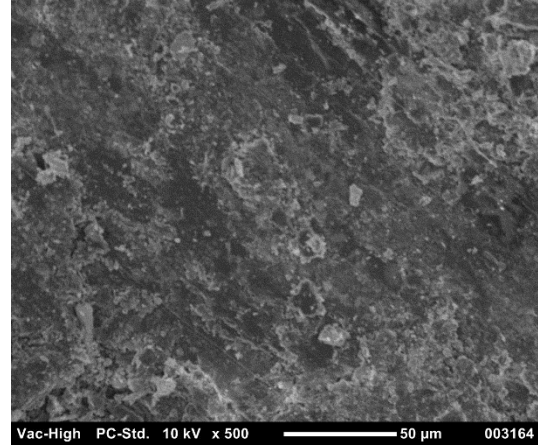


(b)

**Şekil 6.39:** 1050 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra.

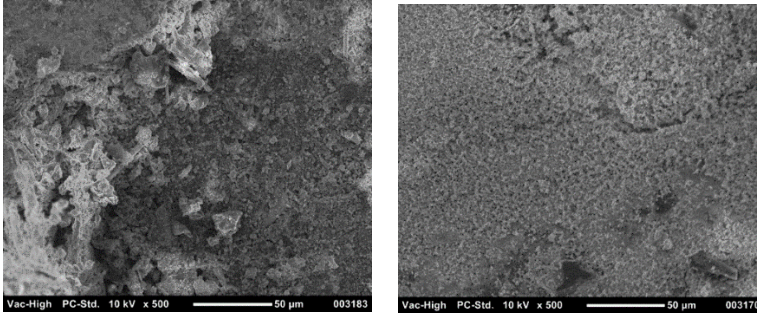


(a)



(b)

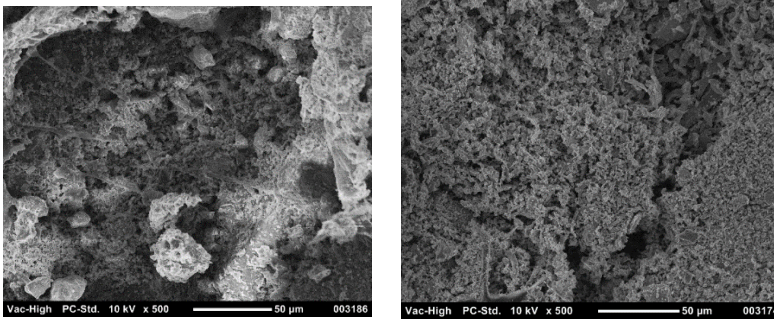
**Şekil 6.40:** 10020 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra.



(a)

(b)

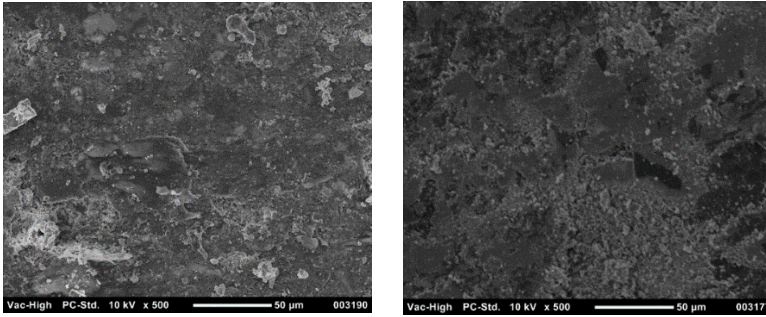
**Şekil 6.41:** 10030 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra.



(a)

(b)

**Şekil 6.42:** 10040 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra.



(a)

(b)

**Şekil 6.43:** 10050 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları; (a) testten önce, (b) testten sonra.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, başta otomotiv sektörü olmak üzere her türlü hareketli makinenin kontrolünde kullanılan fren balatalarının üretiminde ülkemizin zengin rezerv kapasitesine sahip olduğu dünyadaki kritik madenlerden biri olan borun bir türevi olan bor karbür takviyesinin fren balatalarına etkileri/katkıları araştırılmıştır.

Çalışmada farklı tane büyüklüklerine sahip iki ayrı deney grubu oluşturulmuştur. Her bir deney grubunda da ağırlıkça farklı kompozisyona sahip 4 farklı numune imal edilmiştir. Ayrıca imal edilen yeni parçalardaki değişimin tespit edilebilmesi için B<sub>4</sub>C takviyesiz temel toz karışımından 1 adet kontrol grubu parça üretilmiştir.

Yapılan incelemeler neticesinde;

1. Ticari balatanın yoğunluğu 2,189 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Numuneler içerisinde en yüksek yoğunluklu olan 10050 kod numaralı numune olup yoğunluğu 2,214 g/cm<sup>3</sup> ölçülmüştür. En düşük yoğunluklu numune ise 1050 kod numaralı numuneye ait olup 2,095 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bu kapsamda 10 µm bor karbür takviyesinin balatanın yoğunluğunu giderek düşürdüğü; 100 µm bor karbür takviyesinin ise ekleme miktarına bağlı olarak önce düşürdüğü sonra eklenmeye devam ettikçe balatadan yüksek yoğunluğa eriştiği görülmüştür.

2. Ticari balatanın sertlik değeri 141 Brinell olarak ölçülmüş, numuneler içerisinde ise en düşük sertlik değeri 10050 kod numaralı balatada 141 Brinell olarak belirlenmiştir. En yüksek sertlik değeri ise 1030 kod numaralı balatada 156 Brinell olarak tespit edilmiştir. Fren diskinin ise 240 Brinell olarak belirlenmiştir.

3. Ticari balatanın sürtünme katsayısı 0,22 olarak ölçülmüştür. Buna mukabil numuneler arasında en yüksek sürtünme katsayısı 10050 numaralı numunede 0,33 olarak ölçülmüştür. En düşük sürtünme katsayısı ise 1030 numaralı numunede 0,25 olarak ölçülmüştür.

4. Ticari balatanın aşınma oranı 5,45x10<sup>-9</sup> m<sup>3</sup>/Nm olarak ölçülmüş olup numuneler arasında en yüksek aşınma oranı 7,035x10<sup>-9</sup> m<sup>3</sup>/Nm olan 10020 kod numaralı numunede; en düşük aşınma oranı 4x10<sup>-9</sup> m<sup>3</sup>/Nm olan 1040 kod numaralı

numunede ölçülmüştür. Bor karbür miktarının arttığı her 2 tip numunelerde de aşınma oranında düşüş görülmüştür.

5. SEM fotoğrafları incelendiğinde test öncesi metal tozları ve elyaf liflerinin düzensiz bir dağılımda olduğu; test sonrası ağırlıklı olarak metal tozlarının yüzeyde biriktiği ve daha homojen bir dağılımda oldukları görülmüştür.

6. Ticari balatanın testi esnasında diskte oluşan ortalama sıcaklık 29,6 °C olarak ölçülmüş; numunelerde ise bu sıcaklık en yüksek 10020 kod numaralı numunede 31,2 °C, en düşük 1030 kod numaralı numunede 29,7 °C mertebelerinde ölçülmüştür.

7. Sonuç olarak 10050 ve 1040 numaralı numuneler ticari olarak kullanılan balatadan üstünlüğü TS 555 ve TS 9076 standartları kapsamında ortaya konmuş olup bu içerikler ticari kullanıma uygundur.



## 8. KAYNAKLAR

- [1] Bijwe, J.,“Composites as a friction material: recent developments in non-asbestos fiber reinforced friction materials-a review”, *Polymer Composites*,18(3), 378-396, (1997).
- [2] TS 555, *Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler İçin*. T.S.E., 1. Baskı, Ankara, (1992).
- [3] Cürgül,İ., Yetiştiren,H. ve Sınmazçelik,T., *Makina Tasarımı ve Şekillendirme Tekniği*, Birsen Yayınevi (2002).
- [4] Kahya,K., “Otomotiv fren balatalarında farklı bağlayıcı malzeme kullanımının frenleme performansına etkisinin araştırılması”,Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Ünivesitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı* ,Mersin,(2017).
- [5] Sugözü, İ. ve Mutlu, İ., “Fren balatası üretiminde toz karıştırma süresinin frenleme karakteristiği ne etkisinin araştırılması”. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, (2009).
- [6] Ertan,R. ve Yavuz,N.,“Balata Malzemelerinde Kullanılan Yapısalların Balatanın Tribolojik Ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi”. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15 (1), (2010).
- [7] Ayar, H. H., “Disk Fren Balatalarında Bileşimin Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, (1994).
- [8] Toros,M., “Fren Balatalarında Nano Malzemelerin Kullanımının Frenleme Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı*, Konya, (2011).
- [9] Yavuzaslan,N. “Otomobillerde fren sistemleri ve incelenmesi.”,Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2006).

- [10] Boz,M., “Toz metalürjisi ile üretilmiş bronz esaslı fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma davranışlarının incelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı*, Ankara, (1999).
- [11] Ertan,R.ve Yavuz, N. “Polimer matriksli fren balata malzemelerinin kompozisyon ve üretim parametreleri açısından değerlendirilmesi”. *Mühendis ve Makina*, 47, 553, (2005).
- [12] MEGEP Eğitim Notları, Motorlu Araçlar Teknolojisi-Fren Sistemleri, Ankara, (2013).
- [13] <https://www.britannica.com/> (10 Mayıs 2019).
- [14] Yılmaz, A. "Her derde deva hazinemiz bor". *Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi*, Ankara. (2002).
- [15] <http://www.boren.gov.tr> (10 Mayıs 2019).
- [16] [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr) (10 Mayıs 2019).
- [17] “Yıllık faaliyet raporu”. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, (2016).
- [18] Köseoğlu,Ü., ”PA6 malzemedden yapılan konveyör makaralarının sodyum pentaborat ilavesi ile iyileştirilmesi ve ömrünün arttırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Balıkesir, (2016).
- [19] Karabaş,K., “Bor karbür üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri, Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, İzmir, (2006).
- [20] Şahin,U.,“Bor karbür ve titanyum tozlarından hareketle spark plazma sinterleme tekniği ile bor karbür esaslı kompozit üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul (2015).

- [21] Cengiz,M., “B4C esaslı kompozitlerin B4C/Me başlangıç tozlarından hareketle spark plazma sinterleme (sps) yöntemi ile üretilmesi ve karakterizasyonu”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2016).
- [22] Ağacan,B.,“Bor karbür takviyeli metal matrisli kompozitlerde atık Al talaşlarının değerlendirilmesi”,Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2013).
- [23] Domnich,V., Reynaud,S., Haber,R.A. and Chowalla,M., “Boron carbide: structure, properties, and stability under stress”, *The American Ceramic Society* 94(11), (2011).
- [24] “Composite Materials”, page 1 of 3, Index 4.3.1, <http://www.rsc.org/> (10 Mayıs 2019).
- [25] Askeland,D. and Pradeep,F., ”Essentials of Materials Science and Engineering”, 2nd Edition, CL Engineering Publishing, (2009).
- [26] Onaran, K., *Malzeme Bilimi*, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul (1997).
- [27] “Kompozit malzemeler ve özellikleri”, <http://www.turkchem.net> (10 Mayıs 2019).
- [28] MEGEP Eğitim Notları Makine Teknolojisi Notları, Malzeme ve Isıl İşlemler, Ankara, (2011).
- [29] Akkurt,M., *Makine Elemanları*, Birsen Yayınevi, Güncelleştirilmiş Baskı, İstanbul, (2012).
- [30] Sugözü,İ.,“Bor katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin incelenmesi”. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Elazığ (2009).
- [31] Mutlu,İ. ve Öner,C., “Asbestsiz disk fren balatalarında sıcaklık-sürtünme katsayısı-zaman ilişkisinin incelenmesi”, *Teknoloji*,1-2, (2003).

- [32] Boz,M. ve Kurt,A., “Bronz esaslı fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma özelliklerine sepiyolit’in etkisi” *Politeknik Dergisi*,9,4, 303-310 (2006).
- [33] Sugözü,B. ve Dağhan,B., “Fren sürtünme malzemelerinde aşındırıcıların (Alümina, Silika, Zirkon) tribolojik özellikleri.” 2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC’17), Nevşehir, Turkey, (2017).
- [34] Mutlu,İ, Çevik,İ. ve Öner,C., “Fren balatalarında boraks ve borik asitin etkilerinin deneysel incelenmesi”, 1<sup>ST</sup> International Boron Symposium, Kütahya, (2002).
- [35] Kuş,R. ve Toros,M., “Karbon nanotüp ve grafit tozunun fren balata numunelerinin aşınma ve yoğunluk özelliklerine etkileri” *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*,3 (1),29-39,(2011).
- [36] Boz,M. ve KURT, A.,“Toz metal fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma performansı üzerine çinkonun etkisi” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*,21(1), 115-121,(2006).
- [37] Sugözü,B., Buldum,B.B. ve Sugözü,İ.,“Üleksit ve boraks içeren fren sürtünme malzemelerinin tribolojik özellikleri.” 2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC’17), Nevşehir, (2017).
- [38] Timur,M. ve Kılıç,H.,“Mermer atıkları kullanılarak üretilen otomotiv fren balatasının sürtünme katsayısının farklı fren balataları ile karşılaştırılması”. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 10-14, (2013).
- [39] Sugözü,B., Mutlu,İ. and Sugözü,İ., “The effect of ulexite to the tribological properties of brake lining materials”. *Polymer Composites*, 39 (1), 55–62 (2018).
- [40] Mutlu,I., Oner,C. ve Findik, F., “Boric acid effect in phenolic composites on tribological properties in brake linings”. *Materials and Design*, 28, 480–487 (2007).

- [41] Ertan, R., “Fren balata malzemelerinin optimizasyonu ve üretim parametrelerinin analizi”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bursa, (2008).
- [42] Kılıç,H., “Mermer atıklarının otomotiv fren balata üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Afyon, (2010).
- [43] Qu, J., “The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials.” *Mechanics of Materials*, 14(4),(1993).