



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



# AŞINDIRICILARIN FREN BALATALARININ SÜRTÜNME PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİ

Yüksek Lisans Tezi

Buse YÜKSEL YAHŞI

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı  
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İZMİR  
2024



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**AŞINDIRICILARIN FREN BALATALARININ  
SÜRTÜNME PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİ**

Buse YÜKSEL YAHŞI

Danışman: Prof. Dr. Hakan AKAT

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı  
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İZMİR



Buse YÜKSEL YAHŞI tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “AŞINDIRICILARIN FREN BALATASI SÜRTÜNME PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİ ” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve .....tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:****İmza**

<b>Jüri Başkanı</b>	: .....	.....
<b>Raportör Üye</b>	: .....	.....
<b>Üye</b>	: .....	.....



**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ****ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “AŞINDIRICILARIN FREN BALATALARININ SÜRTÜNME PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİ ” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

04 / 01 / 2024

İmzası

Adı-Soyadı



**ÖZET****AŞINDIRICILARIN FREN BALATALARININ SÜRTÜNME  
PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİ**

YÜKSEL YAHŞİ, Buse

ORCID NO: 0000-0002-2877-6789

Yüksek Lisans Tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan AKAT

Şubat, 2024, 61 sayfa

Bu çalışmada araçların fren sisteminin en önemli elemanlarından olan disk fren balatası üzerine çalışılmıştır. Fren balatalarının temel amacı; fren sisteminin esas görevi olan durdurma işleminde disk ile uyumlu bir şekilde çalışarak aracın durmasını sağlamaktır. Durdurma işleminde en aktif görev alan ve sürtünme katsayısını( $\mu$ ) birebir etkileyen aşındırıcı malzemelerdir. Çalışma kapsamında farklı çeşit aşındırıcı malzemeler ile polimer matriks hazırlanmıştır. Bu aşamada formülasyon dizaynı için 'Design Expert' programı ile seçilen aşındırıcıların (alümina ( $Al_2O_3$ ), silisyum karbür (SiC), zirkonyum oksit ( $ZrO_4$ ), zirkonyum silikat ( $ZrSiO_4$ ), magnetite ( $Fe_2O_3$ ), chromite ( $FeCr_2O_4$ )) Mohs sertlik değeri ve partikül boyutu göz önünde bulundurularak istatistiksel şekilde deney tasarımı(DoE) yapılmıştır. 6 farklı aşındırıcı çeşidi ile 13 farklı deneme karışım hazırlanıp, her karışımdan 4er adet balata numunesi hazırlanmıştır. Numunelere, kimyasal, fiziksel ve sürtünme-aşınma testi olmak üzere toplamda 14 farklı test ve analiz yapılmıştır. Sürtünme-aşınma testi öncesi ve sonrası olmak üzere balata yüzeyinin mikro yapısını incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yüzey incelemesi yapılmıştır. Sonuçlara göre en yüksek sürtünme katsayısının 0,48 elde edildiği 2 numaralı formülasyonun ve sürtünme katsayısı-aşınma oranının iyi görüldüğü 3 numaralı formülasyonların iyi sonuçlar verdiği görüldü.

**Anahtar Kelimeler :** Sürtünme, Fren balatası, Aşındırıcı, Yüzey analizi, DoE



**ABSTRACT****EFFECTS OF ABRASIVES ON FRICTION PERFORMANCE OF  
BRAKE PADS**

YUKSEL YAHSI, Buse

ORCID NO: 0000-0002-2877-6789

MsC Thesis in Material Science and Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hakan AKAT

February, 2024, 61 pages

In this study, the disc brake pad, which is one of the most important elements of the brake system of vehicles, is studied. The main purpose of brake pads is to ensure that the vehicle stops by working in harmony with the disc in the stopping process, which is the main task of the brake system. Abrasives directly affect the coefficient of friction ( $\mu$ ) and play the most effective role in the stopping process. Within the scope of the study, polymer matrix was prepared with different types of abrasive materials. At this stage, design of experiments (DoE) was performed statistically by considering the Mohs hardness value and particle size of the selected abrasives (alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), silicon carbide (SiC), zirconium oxide (ZrO<sub>4</sub>), zirconium silicate (ZrSiO<sub>4</sub>), magnetite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), chromite (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)) with the 'Design Expert' program for formulation design. 13 different trial mixtures were prepared with 6 different abrasive types and 4 lining samples were prepared from each mixture. A total of 14 different tests and analyzes were performed on the samples, including chemical, physical and friction-wear tests. Scanning electron microscopy (SEM) was used to examine the microstructure of the lining surface before and after the friction-wear test. According to the results, it was seen that formulation number 2, where the highest friction coefficient of 0.48 was obtained, and formulation number 3, where the friction coefficient-wear ratio appeared to be good, gave good results.

**Keywords:** Friction, Brake Pad, Abrasive, Surface analysis, DoE



## TEŞEKKÜR

Başta 30 senedir beni karşılıksız seven beni ben yapan yanlarımı aldığım annem Şirin ve babam İlhan YÜKSEL'e, hayatımın her döneminde yaşadığım zorluğu, sevinci paylaştığım, kişisel, sosyal, akademik, maddi, manevi her türlü desteği düşünmeden bana sağlayan ablam Gülsüm YÜKSEL ŞENTÜRK'e,

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her aşamada yardımcı olan ve bilgilerini benimle paylaşan Prof. Dr. Hakan AKAT'a

Tez konumu belirlememde yardımcı olan ve tüm çalışmam boyunca tecrübesini bana aktaran Eren Balatacılık A.Ş. Arge Müdürü Onur ÖZCAN'a ve şirketin tüm imkanlarını akademik kariyer düşünen herkese açan Sayın Sinan UZUN'a

Tez sürecimin deneysel çalışmalarında çok emeği geçen iş arkadaşlarıma,

Aldığım her kararda bana destek olan eşim Bekir YAHŞİ'ye ve son olarak hayat enerjileriyle bana her zaman moral veren ve destek olan arkadaşlarım Ece ATMAN ÇAY ve Nurcan TOSUN'a teşekkürü bir borç bilirim.

İZMİR

04/01/2024

Adı-Soyadı



**İÇİNDEKİLER**Sayfa

ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	ix
TEŞEKKÜR .....	xi
İÇİNDEKİLER .....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xv
TABLolar DİZİNİ .....	xvii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
3. FREN SİSTEMLERİ .....	8
3.1. Kampana Fren Sistemi .....	9
3.2. Disk Fren Sistemleri .....	10
3.3. Fren Balataları .....	12
3.3.1. Kompozit Malzeme .....	12
3.3.2. Fren Balatası Çeşitleri .....	14
4. FREN BALATASI SÜRTÜNME MALZEMELERİ .....	16
4.1 Bağlayıcılar .....	16
4.2 Yağlayıcılar .....	16
4.3 Aşındırıcılar .....	17
4.4 Dolgu Malzemeleri .....	18
4.5 Takviye Malzemeler (Modifiye Ediciler) .....	18
5. MATERYAL VE YÖNTEM .....	19
5.1 Balata Üretim Metodolojisi .....	19
5.2 Formülasyonun Belirlenmesi .....	20
5.2.1 Deneysel Tasarım Yöntemi .....	20

5.2.2	Deneysel Tasarım Programı Kullanılarak Formülasyonun Belirlenmesi ..20
5.3	Numune Hazırlanması .....24
5.3.1	Numune Hazırlanmasında Kullanılan Cihazlar.....24
5.3.2	Numune Üretimi.....27
5.4	Testler için Kullanılan Cihazlar.....30
5.4.1	Sertlik Ölçüm Testi .....30
5.4.2	Yoğunluk Ölçümü .....31
5.4.3	Sıkıştırılmış Yoğunluk Cihazı.....31
5.4.4	Piknometre Cihazı .....32
5.4.5	Termal İletkenlik Analiz Cihazı.....33
5.4.6	X-Işını Difraksiyon Spektrostokipi Cihazı.....34
5.4.7	Partikül Boyutu Analiz Cihazı .....35
5.4.8	Taramalı Elektron Mikroskop Cihazı.....35
5.4.9	Sürtünme-Aşınma Test Cihazı .....36
6.	BULGULAR.....37
6.1	Kimyasal, Fiziksel ve Sürtünme Aşınma Test Sonuçları .....37
6.1.1	Kimyasal Test Sonuçları .....37
6.1.2	Fiziksel Test Sonuçları .....40
6.1.3	Sürtünme-Aşınma Test Sonuçları .....42
6.2	Sürtünme-Aşınma Test Sonuçlarının ANOVA’da Değerlendirilmesi .....44
6.3	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri.....47
7.	SONUÇ.....54
	KAYNAKÇA.....57
	ÖZGEÇMİŞ .....61
	EK AÇIKLAMALAR-A.....
	EK AÇIKLAMALAR-B.....
	EK AÇIKLAMALAR-C.....

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil .....	Sayfa .....
Şekil 3.1 Araç Üzerinde Fren Sisteminin Yeri .....	8
Şekil 3.2 Kampana Fren Sistemi Elemanları .....	9
Şekil 3.3 Havalı Kampana Fren Sistemi .....	10
Şekil 3.4 Diskli Fren Sistemi Elemanları .....	11
Şekil 3.5 Hidrolik Fren Sistemi .....	11
Şekil 4.1 Fenolik Reçine .....	16
Şekil 4.2 Yağlayıcı malzeme örnekleri a) grafit b) sürtünme tozu .....	17
Şekil 4.3 Aşındırıcı Malzeme Örnekleri a) alüminyum oksit b) silisyum karbür .....	18
Şekil 4.4 Takviye Malzemesi Örnekleri a) cam elyaf .....	18
Şekil 5.1 Fren Balatası Üretim Proses Şeması .....	19
Şekil 5.2 Dizayna Eklenen Sınırlayıcı Veriler .....	23
Şekil 5.3 Laboratuvar Terazisi .....	25
Şekil 5.4 Eirich Mikser .....	25
Şekil 5.5 Lödige mikser görüntüsü a) mikserin dış görünüşü b) mikserin iç haznesi ve bıçağı .....	26
Şekil 5.6 Laboratuvar tipi hidrolik pres a) presin dış görünüşü b) numunelerin hazırlandığı kalıp görüntüsü .....	26
Şekil 5.7 Laboratuvar Tipi Fırın .....	27
Şekil 5.8 Toz Hammaddelerin Hazırlanması .....	27
Şekil 5.9 Eirich Mikserde Aşındırıcı Malzeme Eklenmiş Karışım .....	28
Şekil 5.10 Pres Sonrası Fren Balata Numunesi Enine Görünüş .....	29
Şekil 5.11 Numaralandırılmış Fren Balatası Numuneleri .....	29
Şekil 5.12 Sertlik Ölçüm Cihazı .....	31
Şekil 5.13 Arşimet Prensibi .....	31
Şekil 5.14 Sıkıştırılmış Yoğunluk Cihazı .....	32
Şekil 5.15 Piknometre Cihazı .....	33
Şekil 5.16 Piknometre Cihazı Ölçüm Ekranı .....	33
Şekil 5.17 Fren Balata Numunesi Bağlanmış Termal İletkenlik Cihazı .....	34
Şekil 5.18 XRD Cihazı .....	34
Şekil 5.19 Partikül Boyutu Analiz Cihazı .....	35

Şekil 5.20 Taramalı Elektron Mikroskobu.....	35
Şekil 5.21 Chase Sürtünme-Aşınma Test Cihazı.....	36
Şekil 5.22 Chase Test Cihazı Disk ve Numune Tutucu.....	36
Şekil 6.1 Aşındıcı Malzemelerin SEM Görüntüleri (a) alümina (b) silisyum karbür (c) chromite (d) magnetite (e) zirkonyum silikat (f) zirkonyum oksit.....	38
Şekil 6.2 Sürtünme Katsayısı-Aşınma Grafiği.....	44
Şekil 6.3 Response 1 Anova Değerlendirmesi.....	45
Şekil 6.4 Response 2 Anova Değerlendirmesi.....	45
Şekil 6.5 Response 3 Anova Değerlendirmesi.....	45
Şekil 6.6 Optimizasyon Çalışması.....	46
Şekil 6.7 Deneme 1 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	47
Şekil 6.8 Deneme 2 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	47
Şekil 6.9 Deneme 3 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	48
Şekil 6.10 Deneme 4 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	48
Şekil 6.11 Deneme 5 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	49
Şekil 6.12 Deneme 6 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	49
Şekil 6.13 Deneme 7 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	50
Şekil 6.14 Deneme 8 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	50
Şekil 6.15 Deneme 9 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	51
Şekil 6.16 Deneme 10 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	51
Şekil 6.17 Deneme 11 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	52
Şekil 6.18 Deneme 12 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	52
Şekil 6.19 Deneme 13 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası.....	53

**TABLolar DİZİNİ****Sayfa**

Tablo 3.1 Kompozitlerin Matris Malzemesine Göre Sınıflandırılması.....	13
Tablo 5.1 Aşındırıcıların Mohs Sertlik Tablosu.....	21
Tablo 5.2 Design Expert Programı Dizayn Belirleme Sayfası.....	21
Tablo 5.3 Programa Girilen Veriler.....	22
Tablo 5.4 Deneysel Tasarım Yöntemi Özet Bilgi Kısmı.....	23
Tablo 5.5 Design-Expert Programında Belirlenen Kompozisyonlar.....	24
Tablo 6.1 Aşındırıcı Malzemelerin PSD, XRD ve TGA Analiz Sonuçları.....	37
Tablo 6.2 Deneme Karışımına Uygulanan Test Sonuçları.....	39
Tablo 6.3 Balata Numunelerine Uygulanan Fiziksel Test Sonuçları.....	41
Tablo 6.4 Sürtünme-Aşınma Test Sonuçları.....	43



## 1. GİRİŞ

Otomobiller 19. yüzyılda buharın kullanılmasıyla, daha sonrasında içten yanmalı motorlarda petrolün kullanılması ve günümüzde enerji kaynaklarıyla çalışan otomobillerin üretimiyle birlikte devamlı gelişmekte ve üretimi hız kazanmaktadır. Ortaya çıkmasından itibaren gelişmiş ülkelerde insan ve yük taşımacılığı alanında ana ulaşım aracı olarak kendini kabul ettirmiş olan otomobil endüstrisi yan sanayisi ile birlikte 100 yılı aşkın tarihiyle Dünyada en etkili endüstri kollarından biri olmuştur.

Motorlu araçların sürüş esnasında en aktif kullanılan emniyet elemanlarından biri de fren sistemidir. Fren sisteminin frenleme görevini yerine getiren en önemli elemanları disk-balata çiftidir. Bu çiftin kullanıldığı araç tipi, çalışma şartları ve çevre koşullarının farklılık göstermesi üzerine sürtünme çifti olarak ifade edilen disk-balata çiftinin birbiriyle uyumlu olması ve verimli çalışacak şekilde tasarlanması çok önemlidir. Bu sistemde aracın boş veya tamamen yüklü bir şekilde kullanılması, deneyimli veya yeni bir sürücü, zorlu hava şartlarında kullanım, viraj ve eğimin yüksek olduğu koşullar dahi sürtünme çiftinin performansını etkilemektedir.

Fren sisteminde sürtünme performansının kilit elemanı fren balatasıdır. Fren balatalarının işlevini kısaca anlatmak gerekirse; hareket enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek taşıtın hareketini kontrol eden, yavaşlatan veya durduran elemanlardır. Fren balatalarının nemli ve tozlu ortam koşulları ve frenleme esnasında oluşan yüksek sıcaklıklardan dolayı performansı olumsuz etkilenir. Bu olumsuz etkilerin elimine edilmesi balata performansı açısından çok önemlidir. Kompozit bir malzeme olan fren balatasının en az 10 farklı komponentten oluştuğu düşünülürse kompozisyonun uyumu, optimum değerlerde olması ve verimi çok önemlidir.

Bu çalışmada, sürtünme malzemesi kompozisyonu içerisinde yer alan, frenleme performansı üzerinde en büyük etkisi bulunan malzemelerin başında gelen aşındırıcı sınıfı malzemeler çalışılmıştır. Ancak balata çok komplike bir yapı olduğu için kompozisyonu tek başına incelemek doğru olmayacağından doğru üretim parametrelerinin de optimize edilmesi gerekmektedir. Kompozisyon

hazırlığı sonrasında doğru üretim parametrelerinin seçilmesi için literatür çalışmaları çok dikkatle incelenip, firmanın tecrübelerinden yararlanılmıştır.

Çalışmaya amaca uygun olacak şekilde literatür araştırması yapılarak başlanmıştır. Akabinde seçilmesi planlanan aşındırıcı hammaddelerin kimyasal ve moleküler boyutta karakterizasyon analizleri yapılmıştır. Seçilen aşındırıcı hammaddelerden oluşturulacak olan kompozisyon oranlarının optimizasyonu ile deney sayısını azaltarak en doğru sonuca gitme hedefiyle 'Design Expert' deneysel tasarım programı kullanılmıştır. Her bir reçetede yer alan malzeme oranları, kullanılacak hammaddelerin balata performansına en çok etki edecek özellik temelinde deneysel tasarım yöntemi çerçevesinde 3lü, 4lü, 5li reçeteler şeklinde 13 farklı kompozisyon belirlenmiş olup, tüm kompozisyonların aynı üretim şartlarında üretimi gerçekleştirilmiştir.

Üretim üç aşamalı şekilde ilerlemiş olup, 1)hammaddelerin uygun mikserde homojenitesi sağlanacak şekilde karıştırılması, 2)hazırlanan karışımın uygun pres şartlarında hidrolik preste basımının gerçekleşmesi, 3)karışım içerisinde bağlayıcı olarak kullanılan termoset reçinenin kurlenme aşamasını tamamlayarak balata formunun son adımını tamamlanması için ısı işlem uygulanmıştır.

Çalışmada hazırlanan tüm balata numunelerine fiziksel testler, karakterizasyon testleri ve sürtünme-aşınma testleri uygulanmış olup, numunelerin sürtünme-aşınma testi öncesi ve sonrası olacak şekilde taramalı elektron mikroskobu(SEM) ile yüzey morfolojisi incelenmiştir. İnceleme sonuçlarının teorik araştırma ile pratik çalışmaların entegre bir şekilde fren balatası çalışacak tüm araştırmacılar için literatüre ışık tutması beklenmektedir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bülent Öztürk'ün 2018 yılındaki çalışmasında aşındırıcı türü ve tane boyutunun fren balatalarının sürtünme-aşınma özelliklerine etkisi incelenmiştir. A grubu ( $Al_2O_3$ ), S ( $SiC$ ) ve B grubu( $B_4C$ ) değişkenleri ile 7 farklı formülasyon ile karışım hazırlanmıştır. Karışımlar 25 MPa basınç ve 150 °C sıcaklıkta 15 dakika süreyle preslenmiştir. Presleme işleminin ardından numunelerin son formunu tamamlaması için numuneler fırında 180 °C sıcaklıkta 5 saat boyunca kürleme işlemine tabi tutulmuştur. Tüm numuneler Chase tipi deney cihazında SAE J661 test prosedürüne göre sürtünme-aşınma performansı ölçülmüştür. Sürtünme katsayıları test başlangıcıyla birlikte artan sıcaklıkla artmıştır. Bunun nedeni numune yüzeyinde temas platolarının oluşması ve buna bağlı olarak numune ve karşı yüzey arasındaki gerçek temas alanının artmasıdır. Elde edilen sonuçlardan, en yüksek sürtünme katsayısının  $Al_2O_3$  içeren A63 kodlu numunede 0,61 , en düşük sürtünme katsayısının ise  $SiC$  içeren S63 kodlu numunede 0,489 olduğu görülmüştür.  $B_4C$  içeren B90 kodlu numune en fazla aşınma direnci sergilemiştir. (Öztürk, 2018)

M. W. Shin ve arkadaşlarının çalışmasında üç farklı boyutta (ZR3, ZR50, ZR100) endüstriyel olarak kullanılan zirkon parçacıkları içeren sürtünme malzemelerinin sürtünme-aşınma özellikleri araştırılmıştır. Kullanılan zirkon parçacıklarının ortalama boyutu ZR 100 için  $101,7 \pm 25,8 \mu m$ , ZR 50 için  $49,2 \pm 28,7 \mu m$  ve ZR 3 için  $2,7 \pm 1,1 \mu m$  kalınlıklarındadır ve geniş aralıklarda çalışılmıştır. Zirkon miktarı %10 olacak şekilde 3 farklı formülasyon hazırlanmıştır. Sürtünme malzemesi numuneleri karıştırma, ön şekillendirme, sıcak presleme ve son kürleme yöntemleriyle üretilmiştir. Karıştırma, yüksek hızlı bir karıştırıcıda 5dk süreyle, ön şekillendirme oda sıcaklığında 20 MPa'nın altında 1 dakika süreyle ve sonrasında aralıklı gaz salınımlarıyla 180°C'de 35 MPa'nın altında 10 dakika boyunca sıcak proses parametrelerine uygun preslendi. Kürleme işlemi, konveksiyonlu bir fırın kullanılarak 200°C'de 6 saat süreyle gerçekleştirildi. Sürtünme-aşınma performansı için 45mmx18mmx6mm boyutunda numuneler hazırlanarak küçük ölçekli dinamometrede test edilmiştir. Balata numunelerinin disk ile temas alanı 16,2 cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Fren sisteminin sürtünme işleminin etkinliği, sürtünme malzemesi ile disk arasındaki arayüzdeki etkileşim tarafından belirlenir. Dolayısıyla sürtünme testleri sonrası yüzey, sürtünme

özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlar. Zirkon boyutunun sürtünme özelliklerine etkisini anlamak için hem balatanın yüzey morfolojisi SEM(scanning electron microscope) cihazı ile hem de diskin yüzeyinin pürüzlülük değerleri (Ra, Rz) incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında, zirkon parçacıklarının boyutu, sürtünme seviyesini balata yüzeyinde oluşan kayma yüzeylerinin pürüzlülüğünü güçlü bir şekilde etkilemiştir.

İnce zirkon parçacıklarına sahip sürtünme malzemesi numunesinin aşınmasıyla birlikte daha yüksek sürtünme seviyesi sergilemiştir. Ürünler için uygun parçacık boyutlarına sahip aşındırıcıların seçilmesiyle sürtünmeden kaynaklanan gürültü ve titreşimin kontrol edilmesi daha da kolaylaşmıştır.(Shin vd., 2014)

Banu Sugözü ve Behçet Dağhan tarafından yapılan çalışmada fren sürtünme malzemelerinden olan aşındırıcıları çalışmıştır. Üç çeşit aşındırıcı kullanarak balatanın tribolojik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen numunelerin içerikleri ve üretim parametreleri belirlenirken literatürden ve bu çalışma için gerçekleştirilen ön çalışmalardan faydalanılarak hazırlanmıştır. Kullanılan aşındırıcı malzemelerin % kütleli miktarları değiştirilerek A5, A10, S5, S10, Z5 ve Z10 numaraları verilen kompozisyonlar hazırlanmıştır. Altı adet balata numunesi sırasıyla toz karıştırma, ön şekillendirme ve sıcak presleme işlemlerini kapsayan geleneksel yöntemle üretilmiştir. Numunelerin sürtünme ve aşınma testleri pad-on-disk tipi aşınma test cihazı kullanılarak testler yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında en yüksek sürtünme katsayısı 0.407 değeri, kütlece %10 alümina içeren A10 kodlu numuneye, en düşük sürtünme katsayısı 0.296 değeri ise kütlece %5 zirkon içeren Z5 kodlu numuneye ait olduğu görülmüştür. (Sugözü & Dağhan, 2018)

Sung Soo Kim ve arkadaşlarının çalışmasında dört farklı aşındırıcı parçacık içeren sürtünme malzemelerinin sürtünme ve titreşim özellikleri incelenmiştir. Kullanılan aşındırıcı malzemeler ticari sınıf silisyum karbür, zirkon, kuvars ve magnezyadır. Sürtünme malzemesindeki aşındırıcı parçacıkların sürtünme ve aşınmasını mikroskobik olarak anlamak için, fren uygulamaları sırasında aşındırıcı parçacıkların kayma arayüzündeki davranışını anlamak yüzeyler de incelenmiştir. Dört farklı malzemenin hem hammadde hali, hem de sürtünme testi sonrası her numune için kullanılan disk yüzeyleri SEM cihazı ile incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında, disk yüzeylerin pürüzlülük test sonuçlarına göre en

yüksek aşınma değerinin silisyum karbür içeren numuneler sonucu oluştuğu görülmüştür. Silisyum karbür içeren sürtünme malzemesi, kayda değer bir kayma davranışına sahip olduğu fakat bu özelliğin fren uygulamaları sırasında olası yüksek gürültü oluşumu eğilimini göstereceğini bulunmuştur. Öte yandan, düşük kırılma tokluğuna sahip kuvars ve magnezya parçacıkları nispeten daha pasif yapışma-kayma özelliği gösterdiği ve buna bağlı olarak fren uygulamaları sırasında oluşan gürültü ve titreşim özelliklerinde önemli rol oynadığı görülmüştür. Sürtünme katsayıları için dynamometre testindeki 8 Mpa basınç altındaki değerler örnek olarak baz alındığında silisyum karbür > zirkon > kuvars > magnezya şeklinde olduğunu görülmüştür. (Kim vd., 2011)

Otomotiv endüstrisinde frenleme sırasında oluşan ses ve titreşim önemli bir sorundur. Bu sorunun anlaşılması ve geliştirilmesine yönelik pek çok çalışma olmasına rağmen daha ayrıntılı çalışmaların olması gerektiğini farkederek Diego Masotti ve arkadaşları çalışmada frenleme sırasında oluşan bu sesin anlaşılması ve önlenmesine yönelik ayrıntılı bir çalışma yapmışlardır. Birçok sürtünme malzemesi bileşeni arasında, aşındırıcılar sürtünmeyi ve aşınmayı düzenlemek için yaygın olarak kullanılır ve fren sesi/gürültüsünü en çok etkileyen bileşenler olarak kabul edilirler. Çalışmanın ilk aşamasında aşındırıcıların parçacık boyutu, sertliği, young modülü ve 13 farklı aşındırıcı sınıfının elastik deformasyona karşı direnci ölçülmüştür. Bu özellikler ile frenleme gürültüsü oluşumu arasındaki korelasyon istatistiksel analiz yoluyla belirlenmiştir. Spearman'ın korelasyon katsayısı ( $\rho$ ), frenleme gürültüsünün aşındırıcı malzemelerin sertliği ve elastik deformasyona karşı direnci (sırasıyla  $\rho = 0.61$  ve  $\rho = 0.56$ ) ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu, partikül boyutu ile zayıf bir korelasyon sergilediğini göstermiştir ( $\rho = \square 0.099$ ).

Detaylı bir çalışma yapmak amacıyla aşındırıcıların birbirinden farklı özelliklerini keşfetmek amacıyla çok çeşitli özelliklere sahip 9 tip aşındırıcı test edilmiştir. Alümina ( $Al_2O_3$ ), silikon karbür ( $SiC$ ), zirkon ( $ZrSiO_4$ ), manyetit ( $Fe_3O_4$ ), kromit ( $FeCr_2O_4$ ), zirkonyum oksit ( $ZrO_2$ ), magnezya ( $MgO$ ), krom karbür ( $Cr_3C_2$ ), ve krom oksit ( $Cr_2O_3$ ) bu çalışmada test edilen aşındırıcı türleridir. 10  $\mu m$ 'den küçük partiküllere sahip aşındırıcılar ince olarak tanımlanmıştır (-F); tane boyutu 10  $\mu m$  ile 50  $\mu m$  arasında olan partiküller orta (-M); ve 50  $\mu m$  üzerindeki partiküller ise iri olarak tabir edilmiştir(-C).

Seçilen 9 tip aşındırıcının bazı tiplerinde kendi içerisinde farklı partikül boyutları da incelenmiştir. Akabinde seçilen aşındırıcılara göre 13 farklı sürtünme malzemesi formülasyonu üç adımda hazırlanmıştır. İlk adımda, tüm hammaddeler homojen bir dağılım elde edilene kadar mikserde 8 dakika boyunca karıştırılmıştır. İkinci adımda, karıştırılan hammadde karışımı 5 dakika boyunca 350 kgf/cm<sup>2</sup> basınç altında sıcak prosese uygun şekilde (150 °C) preslenmiştir. Son olarak üçüncü adımda, sıkıştırılmış malzemede bulunan reçinenin tamamen kürlenmesi için ısıtılma tabii tutulmuştur. Bu adımda, numuneler yaklaşık 6 saat boyunca 230°C sıcaklıktaki bir fırına yerleştirilmiştir.

Dinamometrede, SAEJ2521 prosedürüne göre, 13 ticari aşındırıcı sınıfıyla hazırlanan balata numuneleri frenleme gürültüsünün tepkisini değerlendirmek için kullanılmıştır. Tüm testlerdeki ortalama sürtünme katsayısı ve ayrıca gürültülü fren uygulamalarının ortalama sürtünme katsayısı ( $\mu$  gürültülü) değerlendirilmiştir. Frenleme gürültüsü oluşumu ile aşındırıcı özellikleri arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Spearman korelasyon katsayısı, aşındırıcı partiküllerinin sertliğinin frenleme gürültüsü oluşumunda en ilişkili özellik olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, aşındırıcı tiplerinin sertliği ne kadar yüksekse, ortalama sürtünme katsayısı ve fren diski aşınması da o kadar yüksek olduğu görülmüştür. (Sathyamoorthy vd., 2022)

Murat BOZ ve Adem KURT'un çalışmasında farklı oranlarda bronz esaslı balata karışımlarına farklı oranlarda (0,5-4%) Zn tozu ilave ederek numuneler hazırlanıp sürtünme aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Bu numuneler Zn esaslı referans numunelerin sürtünme aşınma test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada toz metalurjisi yöntemi ile bronz esaslı fren balataları üretilmiş ve üretilen balataların sürtünme-aşınma performansları test edilmiştir. İkinci aşamada bronz esaslı balata tozlarına farklı oranlarda (0,5 - 4 %) Zn tozu ilave edilerek, yeni balata numuneleri üretilmiş ve üretilen Zn ilaveli balata numunelerinin sürtünme aşınma davranışları belirlenerek Zn esaslı balata numuneleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla fren balata numunelerinin yoğunluk, sertlik, sürtünme katsayısı, sürtünme kuvveti ve aşınma miktarları tespit edilmiş, numunelerden sinterleme öncesi ve sonrası mikro yapı görüntüleri ile aşınan yüzeylerden SEM görüntüleri alınmış ve numunelerdeki aşınma türleri tespit edilmiştir. Deneysel sonucunda, bütün balata numunelerinin aşınma direnci

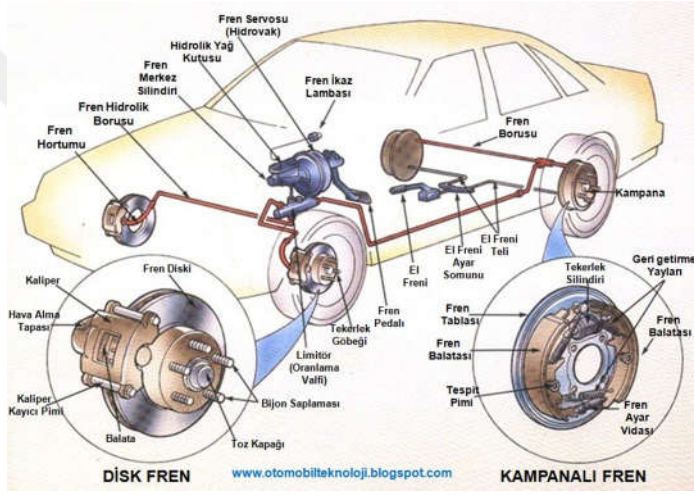
ve sürtünme katsayısı değerleri SAE-J661 standart aralığında çıkmıştır. Aşınma direnci açısından en iyi sonucu % 0,5 Zn ilaveli sürtünme malzemesi verirken, sürtünme katsayısı açısından en iyi sonucu % 2 Zn ilaveli sürtünme malzemesi vermişti. (Boz & Kurt, 2013)

Günümüzde fren balatalarının geliştirilmesi ve yeni ürün çalışmalarında deneysel tasarım yöntemleri oldukça fazla kullanılmaktadır. Minitab ve Design Expert programları, Taguchi ve Anova analiz yöntemleri bunların başında gelmektedir. K. Deepika ve arkadaşlarının çalışmasında da fren balatası kompozisyon geliştirilmesinde doğal kaynakların kullanımına ve sürtünme malzemesi kompozisyon tasarımında da Minitab programından faydalanılmıştır. Bu çalışmada tarımsal atık malzeme olan palmiye çekirdeği kabuğu kullanılarak asbestsiz bir biyo-sürtünme malzemesi kompozisyonu geliştirilmiştir. Sürtünme malzemesinin optimum formülasyonunu elde etmek için Taguchi tekniği kullanılmıştır. Elde edilen biyo-sürtünme malzemesinin fiziksel ve sürtünme-aşınma testleri yapılmıştır. Asbestli balatalar ile karşılaştırıldığında biyo-sürtünme malzemesinin aşınma miktarı ve sürtünme katsayısında tatmin edici bir performans iyileşmesi grlmştir. (Deepika vd., 2013)

### 3. FREN SİSTEMLERİ

Araçlarda sürüş güvenliğimizin en önemli unsurlarından biri olan fren sistemi, aracımızın kontrollü bir şekilde hızını azaltan, istenmeyen hız artışlarını engelleyen ve aracımızın durmasını sağlayan bir araç kontrol sistemidir. (<https://www.euromaster.com.tr/blog/fren-sistemi-nedir>)

Araç üzerinde üç farklı tip fren bulunur. Bunlar durdurma işleminin işlevine ve amacına göre el freni, ayak freni ve motor freni olmak üzere ayrılmıştır. Bu çalışmada fren balatalarının yer aldığı sürtümlü fren sistemi olan ayak freni incelendi.



Şekil 3.1 Araç Üzerinde Fren Sisteminin Yeri

(<https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/08/fren-sistemi-cesitleri-ve-hidrolik-fren-parcalari.html>)

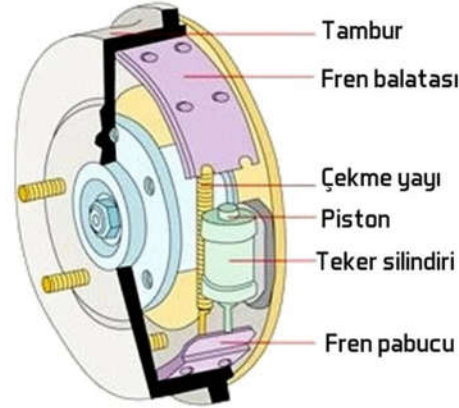
Sürtümlü fren sistemleri, sürtünen yüzeylere sahip sabit ve dönen elemandan oluşmaktadır. Sabit kısmın sürtünen yüzey malzemesi genellikle fren balatası olup çok çeşitli malzemelerin bileşiminden yapılmaktadır. Bu iki kısmın oluşturduğu malzeme çiftinin sürtünme katsayısı, frenlemede önemli rol oynamaktadır. (Bu iki kısım bundan sonra sürtünme çifti olarak anılacaktır.)

Sürtümlü fren sistemi iki farklı tipte geliştirilmiştir. Bunlar iç yüzeyde sürtünme ile frenlemeyi sağlayan kampanalı frenler ve dış yüzeyde sürtünme ile frenlemeyi sağlayan disk frenlerdir. (Gümüş, 2012)

Fren sistemleri çalışma prensibi temelinde havalı fren ve hidrolik fren şeklinde iki başlıkta incelenir. Geçmiş yıllarda kampanalı frenlerin daha çok tercih edilmesine karşı yakın tarihte disk fren kullanımına geçiş bariz şekilde artmıştır. Genelde ön tekerleklerde disk fren arka tekerleklerde kampana fren sistemi tercih edilmektedir. Fakat gelişen teknoloji ve fren sistemlerindeki performans beklentisinin hızla artmasıyla birlikte arka tekerleklerde de disk fren kullanımı yaygınlaşmıştır. Disk fren sistemlerinin hafiflikleri, basit tasarımları ve daha iyi performans göstermeleri tercih edilmesindeki önemli faktörlerdir. (Sayar, 2022)

### 3.1.Kampana Fren Sistemi

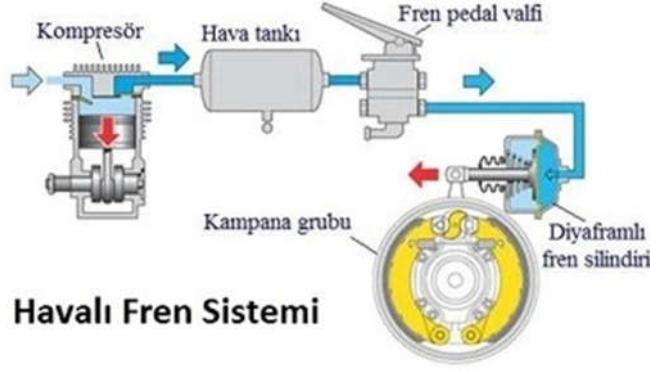
Kampanalı fren sistemlerinde, her tekerlek için fren tertibatını çevreleyen metal bir tambur bulunur. Kampana fren sisteminin balatası şerit şeklinde ve balatanın şekline uygun olarak yay geometrisine sahip fren pabucuna monte edilmiş şekilde sistemde yer alır.



Şekil 3.2 Kampana Fren Sistemi Elemanları

Havalı frenlerde, fren sisteminde fren ana merkezde oluşturulan hidrolik basınca ek olarak basınçlı havadan faydalanılmıştır. Sistemde kullanılan basınçlı hava, motordan hareket alan bir kompresör tarafından sağlanmaktadır. Kompresör tarafından üretilen basınçlı hava, hava tanklarında depolanmıştır. Fren pedalına basıldığında hava tanklarında bulunan basınçlı havaya, frene basma miktarıyla orantılı olarak yol verilir. Basınçlı hava bir diyafram ünitesine etkiyerek merkez silindiri, pistonun itme çubuğunu daha büyük bir kuvvetle iterek fren pabucuna

iletir. Fren pabucu dışa doğru hareket ederek üzerindeki şerit balata sayesinde kampanaya sürtünme kuvveti uygulayarak aracın yavaşlamasına ve durmasına neden olmaktadır. (Çalışkan, 2023),(Prensibi, 2021)



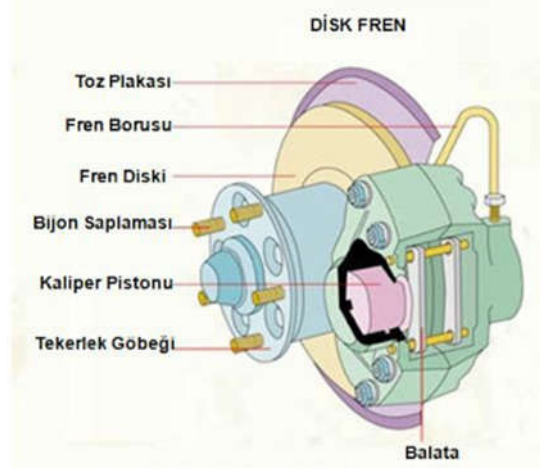
Şekil 3.3 Havalı Kampana Fren Sistemi

(<http://www.barlassurucukursu.com/Yayinlar/aracin-uzerindeki-sistemler-276>)

Kampanalı frenlerin günümüzde hala kullanılmasının başlıca nedenleri, sistem maliyetinin ucuz olması ve uzun yol kat eden ağır ticari araçlarda kampana balata basıncının düşük olması nedeniyle disk balatalar kadar sık sık değişim gerektirmemesidir.

### 3.2.Disk Fren Sistemleri

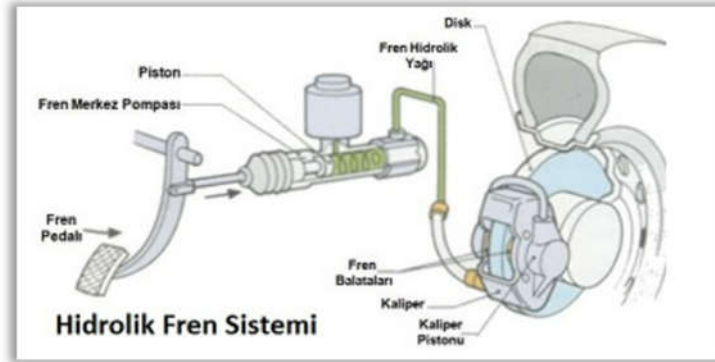
Diskli fren sisteminde, sabit kaliper arasında bulunan ve tekerlekle birlikte dönen fren diskinin iki yüzeyine karşılık gelen, iki fren balatası bulunmaktadır. Disk fren aksel yönde hareket ederek bu dönme yönüne dik gelen piston basıncı yardımıyla sistemi durdurmaktadır.



. Şekil 3.4 Diskli Fren Sistemi Elemanları

Hidrolik basınç ile merkezden gelen baskı sayesinde iki balata birbirine yaklaşır ve diske temas ettiğinde sürtünme kuvveti oluşturur. Burada tahrik kuvvetinden sönümlenen enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. (Akdoğan, 2020)

Hidrolik disk frenlerde fren pedalına basıldığında sistemde yer alan hidrolik sıvı yer değiştirmektedir. Bu değişim fren disklerine kaliper pistonu yardımı ile fren balataları sayesinde bir sürtünme kuvveti oluşturmakta ve araç bu kuvvetin etkisi ile giderek yavaşlamaktadır.



. Şekil 3.5 Hidrolik Fren Sistemi

Diskli fren balatasının disk üzerindeki kuvvet dağılımı kampanalı fren tipine oranla daha kararlı ve daha homojendir. (Timur, 2014)

Disk frenlerin kampana frenlere göre daha çok tercih edilmesinin başında gelen nedenler, gelişen teknoloji ile farklı araç tiplerine uygun fren sistemi dizaynına uygun olacak şekilde çeşitli disk fren tasarımlarına açık olması, yüksek performans gerektiren araçlarda sisteme göre fren balatasının istenilen sürtünme

katsayısını ve verimliliği sağlaması, diskte yer alan hava kanalları sayesinde frenleme sırasında oluşan yüksek sıcaklıklarda soğumanın daha hızlı olması gibi özellikleridir.

### **3.3.Fren Balataları**

Fren balatalarını işlevi açısından tanımlayacak olursak, hareket enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek taşıtın hareketini kontrol eden, yavaşlatan veya durduran fren sistemi elemanlarıdır. Sürtünmeli frenler için uygulanan frenleme işlemi gerçekleştirilirken fren, tekerleğe bağlı disk veya kampanaya zarar vermek yerine frenleme kuvvetinin iletimini sağlayan fren balatası oluşan bu sürtünme kuvvetini sönmüleyerek aşır.

Fren balatalarının işlevini de düşünerek aşınmayı sağlayan sürtünme kısmını literatüre göre tanımlayacak olursak, farklı özelliklere sahip birçok malzemenin basınç ve sıcaklıkla birleştirilerek elde edilen kompozit yapıda bir malzemedir.

Bu tanımlara bağlı olarak fren sistemindeki mekanik hareketinden dolayı balatanın tasarımı ve esas görevi olan sürtünme özelliğini sağlayan kompozit kısmın kompozisyon tasarımı oldukça önemlidir.

#### **3.3.1. Kompozit Malzeme**

Plastik, seramik ve metal gibi farklı malzemelerden en az iki veya daha fazlasının kendi özelliklerini koruyarak, yeni özelliklere sahip farklı bir malzeme elde etmek için makro seviyede birleştirilmesi sonucu meydana gelen gelişmiş bir malzemelerdir. Kompozit malzemeler takviye ve matris malzemelerine göre iki ana sınıf altında toplanır. Matris malzemelerine göre kompozitler polimer, metalik ve seramik kompozitler olmak üzere üç alt sınıfta incelenirler.

. Tablo 3.1 Kompozitlerin Matris Malzemesine Göre Sınıflandırılması

Matris	Alt Kategori	Örnekler	Uygulama	
Polimer	Termoset	Epoksi	Temel olarak uçak-uzay uygulamalarında	
		Doymamış poliester, vinil ester	Genel olarak otomotiv, denizcilik, kimya ve elektriksel uygulamalarda	
		Fenolik	Katı kalıp bileşenlerinde	
	Termoplastik	Polimidler,	Polimidler,	Yüksek sıcaklık (250 °C – 400 °C) uçak-uzay uygulamalarında
			Alifatik poliamidler, poliesterler (PET), polikarbonatlar, poliasetatlar	Sürekli fiberlerle takviye edilerek enjeksiyon kalıplama ile üretilen parçalarda
			Aromatik poliamid, polieter eter keton (PEEK), polisulfon, polifenilen sülfid (PPS), polieter imid (PEI)	Sürekli fiberler ile birlikte orta yüksek sıcaklık uygulamaları için uygundur
Metal	Alaşımalar	Alüminyum ve alaşımları, titanium alaşımları, magnezyum alaşımları, bakır alaşımları, nikel-esaslı süperalaşımlar, paslanmaz çelikler	300 °C – 500 °C arasındaki uygulamalarda	
Matris	Alt Kategori	Örnekler	Uygulama	
Metal	İntermetalik	MoSi <sub>2</sub> , TiAl	Yüksek sıcaklık uygulamalarında (-1200 °C)	
Seramik	Cam ve cam seramikler	Li <sub>2</sub> O-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> (LAS)	1000 °C'ye kadar yüksek sıcaklık uygulamalarında	
	Oksitler	Alümina, Zirkon, Müllit	1600 °C'ye kadar yüksek sıcaklık uygulamalarında	
	Oksit olmayan seramikler	SiC, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	1400 °C'ye kadar yüksek sıcaklık uygulamalarında	

Kompozit malzeme üretimi yapılmadan önce elde edilecek olan üründen istenen özelliklerin net bir şekilde belirlenmesi çok önemlidir. Seçilen matris malzeme; kompozit parçaya şeklini verir. Seçilen takviye elemanları kompozite dayanım, termal özellik, mekanik özellik, iletkenlik, sertlik gibi spesifik özelliklerin belirlenmesinde temel rol oynarlar.

### 3.3.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)

Polimer matrisli kompozitler günümüzde en yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir. Polimerik kompozitler korozyona dirençli, uzun süreli kullanıma uygun, işlenmesi kolay, şekillendirilebilen, birim kütle başına yük kapasitesi yüksek malzemelerdir. (Al-Kubati, 2019) Polimer matrisli kompozitlerde termoset ve termoplastik olmak üzere iki farklı matris malzemesine göre istenilen ürünlerin kompozisyonuna yön verilir. Metal ve seramik matrisli kompozitlere göre daha iyi bir tokluk özelliğine sahiptir.

Fren balataları araç üzerinde maruz kaldığı ortam koşulları, istenilen performans özellikleri ve kolay üretilir bilir olması nedeniyle nedeniyle polimer matrisli kompozit malzeme sınıfında yer almaktadır.

### **3.3.1.2. Metal Matrikli Kompozitler (MMK)**

Metal matrisler taşıyıcılık açısından plastik matrislere oranla daha iyi performans sağlamaktadır. Metal matris kullanarak fiber takviyeli kompozit üretimi daha zor ve maliyetlidir ancak metal matris kompozitin tokluğunu önemli ölçüde artırmakta ve yüksek sıcaklıkta dayanımları olumlu yönde artmaktadır. En çok kullanılan metal matris malzemeleri olarak alüminyum, titanyum, magnezyum, bakır, nikel ve gümüş gelmektedir. Glass fiberler plastik matris malzemeleri ile çok başarılı bir şekilde kullanılmasına rağmen metal matrislerle kullanıldığında yüksek sıcaklıklarda taşıyıcılığını kaybetmektedir. Bu nedenle metal matrislerle kullanım için wisker adı verilen çok ince metal kıllar üretilmiştir. (Al-Kubati, 2019)

### **3.3.1.3. Seramik Matrikli Kompozitler (SMK)**

Çok yüksek sıcaklık ve termal şoklara karşı dayanımları yüksektir. Gevrektiler ve çentik hassasiyetleri yüksektir. Bu gruba en iyi örnek olarak SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fiber ile takviye edilmiş SiC ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> seramikleri gösterilebilir.

## **3.3.2. Fren Balatası Çeşitleri**

### **3.3.2.1. Metalik Fren Balataları**

İçerisinde metal malzemelerin oransal olarak daha fazla bulunduğu, ağır ticari araç grubunun çok fazla tercih ettiği çeşittir. Bu balataların diğerlerine göre yıpranma (fade) direnci en iyidir, fakat daha fazla pedal basıncına ihtiyaç duyar ve disk aşınması oldukça fazladır.

### **3.3.2.2 Karbon Esaslı Fren Balataları**

Karbon-karbon(C-C) esaslı kompozitlerin geleneksel balatalara kıyasla, düşük yoğunluk, termal şok direnci gibi özelliklere sahiptir.

Yoğunlukları düşük olduğu için hafif uygulamalarda tercih sebebi olmaktadır. Ancak nemli koşullarda ve 200 °Cnin altındaki sıcaklıklarda sürtünme katsayılarının tatmin etmemesi nedeniyle uzun ömürlü kullanım için tercih edilmemektedirler. (Chan & Stachowiak, 2004)

### **3.3.2.3 Organik Fren Balataları**

Organik balatalar, kompozisyon bileşenleri içerisinde organik veya inorganik fiberler bulunan kompozit yapıdır. Asbest kullanımı yasaklandıktan sonra bu sınıftaki balataların performansını yükseltmek için demir harici cam elyaf ve aramid gibi malzemeler kullanıldı. Fakat organik balatalarda fade oluşumu diğer çeşit balatalara göre daha hızlı ve performans düşüşü daha belirgin olmaktadır. (Aleksendrić & Carlone, 2015)

#### 4. FREN BALATASI SÜRTÜNME MALZEMELERİ

Frenleme sırasında disk-balata sürtünme çiftinde sürtünme katsayısını oluşturan temel kısım fren balatasının kompozit kısmıdır. Kompozit kısımda kullanılan malzemeler yumuşak ve aşınma özelliğine sahip fenolik reçinelerden, agrasif aşınma sağlan aşındırıcı malzemelere, sert ve aşınmaya dayanıklı liflerden, ısı stabilitesi sağlayan dolgu malzemelerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsar.

Polimer matrisli kompozit sınıfında yer alan fren balatasında kullanılan malzemeler 5 ana sınıfa ayrılmıştır.

##### 4.1 Bağlayıcılar

Bağlayıcılar tüm bileşenleri bir arada tutmak ve termal açıdan kararlı bir matris oluşturmak için kompozisyonda yer alır. Sürtünme malzemesi içerisinde bağlayıcı olarak termoset reçine sınıfından yüksek sıcaklıklara dayanıklı novolac tip fenolik reçine tercih edilir. (Ertan, 2008) Bunun nedeni; frenleme esnasında fren balataları yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu aşamada fren balatasında istenmeyen özelliklerden olan fade (frende zayıflama) değerinin stabil kalması için fenolik reçine seçilmektedir. Reçine seçiminden sonra reçine miktarı da çok önemlidir.



Phenol resin

Şekil 4.1 Fenolik Reçine

##### 4.2 Yağlayıcılar

Yağlayıcılar sürtünme katsayısını stabil tutmak ve disk-balata sürtünme çifti arasında meydana gelen aşınmayı kontrol etmek ve gerekli sürtünme filmini oluşturabilmek amacıyla kullanılır. Yağlayıcı olarak genellikle; grafit, antimon ve

metal sülfidler tercih edilmektedir. Ticari ve binek araçlar gibi farklı performans gerektiren sistemlerde frenleme sırasında meydana gelebilecek farklı sıcaklıklardaki sürtünme-aşınmayı kontrol edebilmek ve ulaşılan sıcaklıklarda doğru sürtünme filminin oluşması amacıyla iki veya daha fazla katı yağlayıcı kullanımına gidilmesi önerilir.



Şekil 4.2 Yağlayıcı malzeme örnekleri a) grafit b) sürtünme tozu

### 4.3 Aşındırıcılar

Aşındırıcılar fren balatalarının durdurma işlemini gerçekleştirmek amacıyla sistemde oluşması gereken sürtünme katsayısının oluşmasında en etkili göreve sahiptir. Sürtünme çifti arasında oluşan sürtünme filmini kaldırmak, sürtünme değişimini kontrol etmek, sürtünme torkunun oluşmasını etkilemek ve değişimini kontrol etmek için kullanılırlar. Aşındırıcı olarak, alümina, silisyum karbür, zirkonyum silikat, kuvars, potasyum titanat, silikon oksit, çinko oksit, demir oksit ve krom oksit gibi metal oksitleri sıklıkla tercih edilir.

Frenleme sırasında oluşan sürtünme katsayısının dengesi ve sürtünme filminin oluşumu aşındırıcı-yağlayıcı malzemeler arasındaki optimum değerlerde meydana gelmektedir.

Aşındırıcıların sisteme uygun olmayacak şekilde kullanımı ve yanlış miktarlarda kullanımı frenleme performansında dengesizliğe, frenlerde gürültü ve sarsıntı gibi problemlere yol açmaktadır. (Ertan, 2008)



Şekil 4.3 Aşındırıcı Malzeme Örnekleri a) alüminyum oksit b) silisyum karbür

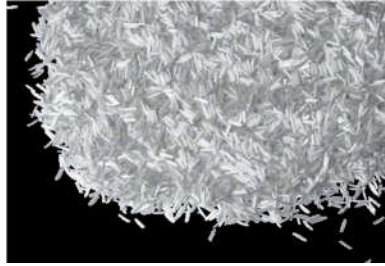
<https://blogmech.com/abrasives-types-of-abrasives/>

#### 4.4 Dolgu Malzemeleri

Dolgu malzemeleri, sürtünme malzemesi içerisinde boşlukları doldurmak, maliyeti azaltmak, termal kararlılık sağlamak, frenlemede oluşan sesin önlenmesinde ve üretilebilirliği iyileştirmek için kullanılır. Organik ve inorganik yapıda dolgular kullanılabilir. Barit, kalsit, sönmemiş kireç, mika, vermikülit ve kalsiyum karbonat en çok kullanılan dolgu maddelerine örnektir. (Gümüş, 2012; Sayar, 2022)

#### 4.5 Takviye Malzemeler (Modifiye Ediciler)

Takviye malzemeler sürtünme malzemesine mekanik dayanım, termal stabilite, sertlik ve kararlı bir sürtünme özelliği için destek olurlar. Genellikle çelik yünü, cam elyaf, kaya yünü, aramid(kevlar) ve bakır lifleri gibi malzemeler tercih edilmektedir. Takviye malzemelerinin lif boyları ve kompozit sürtünme malzemesi içerisindeki lif yönü önemlidir.



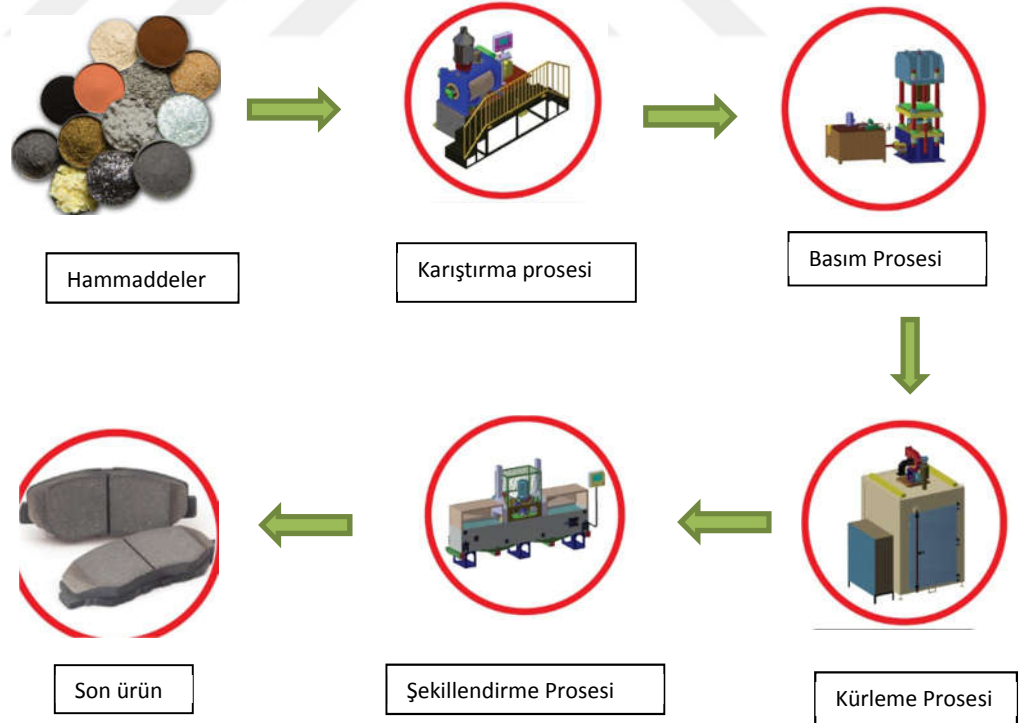
Şekil 4.4 Takviye Malzemesi Örnekleri a) cam elyaf

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

### 5.1 Balata Üretim Metodolojisi

Fren balatası farklı özelliklere sahip toz, granül, lif yapıları malzemelerin homojen bir şekilde karıştırılıp ardından preslenmesi ile oluşan polimerik matrisli kompozit(PMK) bir malzemedir. Balatayı oluşturan tüm malzemeler üretim sırasında kendi özelliklerini korur ve oluşan son ürüne de bu özellikleri bir nevi aktarır. Fren balatası üretim yöntemi üç aşamalı bir yöntem olup, bu adımlar 1) karıştırma, 2) presleme, 3) kütleme şeklinde sırasıyla uygulanmıştır. Üretimi tamamlanan ürünlere testler için kullanılmak üzere fiziksel şekillendirme işlemi yapılır.

Fren balatası üretimi için soğuk, ılık ve sıcak proses olarak üç farklı proses şekli seçilebilir. Bu çalışmada sıcak proses adımları ile ürün hazırlandı.



Şekil 5.1 Fren Balatası Üretim Proses Şeması

## 5.2 Formülasyonun Belirlenmesi

Bu çalışma farklı çeşit aşındırıcı malzemeler ile polimer matriksli kompozit malzeme hazırlanmıştır. Formülasyon dizaynı için ‘Design Expert’ programı ile aşındırıcıların Mohs sertlik değeri göz önünde bulundurularak istatistiksel şekilde deney tasarımı yapılmıştır.

### 5.2.1 Deneysel Tasarım Yöntemi

Günümüzde deneysel tasarım uygulamaları ürün iyileştirme çalışmaları, yeni ürün çalışmalarında doğru sonuca gitme yolunda zamandan kazanmak ve çalışmalarda kullanılan malzeme maliyetini daha doğru bir şekilde azaltmak için çok fazla tercih edilmektedir. Programın doğru şekilde çalışması için gerekli alt yapı kullanıcı tarafından hazırlanmalıdır. İlk adım çalışmanın amacının belirlenmesidir. Daha sonra doğru veriler girilmesi, mantıklı sınırlamalar getirilmesi ve hangi yanıtların analiz edilmesi belirlenmesi gerektiğinden istatistiksel deneysel tasarım yöntemleri literatür araştırmalarının önemini açığa çıkarmıştır.

Design-Expert programında faktöriyel tasarımlar, yanıt yüzey metodları ve birleştirilmiş tasarımlar yapılarak çok fazla sektöre hitap etmektedir.

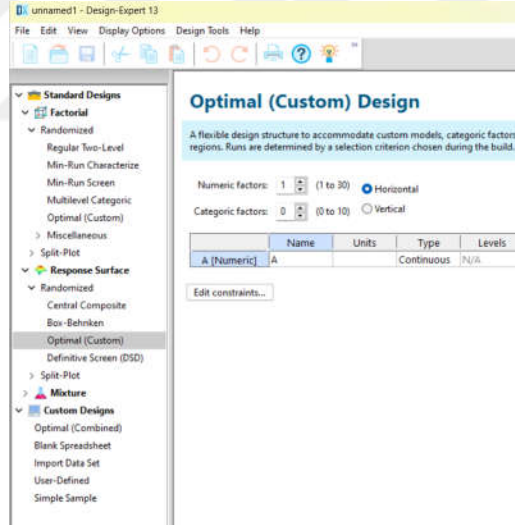
### 5.2.2 Deneysel Tasarım Programı Kullanılarak Formülasyonun Belirlenmesi

Literatür araştırmaları ve tecrübeler ışığında seçilen 6 farklı aşındırıcı ve kompozisyon içindeki ağırlıkça malzeme miktarı %15 aşındırıcı malzeme, %85 baz karışım olarak belirlendi. Seçilen aşındırıcı malzemelerin mohs sertlik değerleri listelendi.

Tablo 5.1 Aşındırıcıların Mohs Sertlik Tablosu

Material Name	Hardness (Mohs)	Material Name	Hardness (Mohs)	Material Name	Hardness (Mohs)
Copper	2½-3	Garnet	6-7½	Chilled Iron Grit	<9>
Plastic Media	3-4	Zirconium Silicate	6-7½	Chromium	8½
Glass Bead	5-5½	Glass crushed, (Lead Free)	7	Brown Fused Alumina	6-9
Pumice	5-6	Furness Slag	7	White Aluminium Oxide	9
Chromite	5½-7	Copper Slag / Iron Silicate	7	Tungsten Carbide	9
Magnetite	5½-6	Zirconia	8	Silicon Carbide	9.5
Olive Stone	6-6½	Steel Shot (Standard)	8	Boron Carbide	9.5
Porcelain	6-7	Steel Grit	8-9	Diamond	10

Program içerisinde yer alan yanıt yüzey yöntemi(response surface methodology) seçildi. Bu yöntem farklı girdi değişkenleri ile bir veya daha fazla çıktı değişkeni arasındaki ilişkiyi inceler.



Tablo 5.2 Design Expert Programı Dizayn Belirleme Sayfası

Kullanılacak yöntem belirlendikten sonra istenilen kompozisyonu elde etmek için belirlenen verilerin girişi yapıldı. Seçilen alümina ( $Al_2O_3$ ), silisyum karbür ( $SiC$ ), zirkonyum oksit ( $ZrO_4$ ), zirkonyum silikat ( $ZrSiO_4$ ), magnetite ( $Fe_2O_3$ ), chromite ( $FeCr_2O_4$ ) aşındırıcı malzemeler Tablo 5.1. de yer alan sertlik değerlerine ve tecrübelerine göre ağırlıkça aralıkları belirlendi.

Bu aralıklar ağırlıkça %0-4 alümina ( $Al_2O_3$ ), %0-3 silisyum karbür (SiC) , %0-4 zirkonyum oksit ( $ZrO_4$ ), %0-4 zirkonyum silikat ( $ZrSiO_4$ ) , %0-6 magnetite ( $Fe_2O_3$ ), %0-6 chromite ( $FeCr_2O_4$ ) olacak şekilde Design Expert-V13 programında uygun tasarımda kullanıldı.

Tablo 5.3 Programa Girilen Veriler

Factor	Name	Units	Type	SubType	Minimum	Maximum	Coded Low	Coded High	Mean	Std. Dev.
A	SiC	%	Numeric	Discrete	0.0000	3.00	-1 ↔ 0.00	+1 ↔ 3.00	1.85	1.25
B	Alumina	%	Numeric	Discrete	0.0000	4.00	-1 ↔ 0.00	+1 ↔ 4.00	1.85	1.72
C	ZrO	%	Numeric	Discrete	0.0000	4.00	-1 ↔ 0.00	+1 ↔ 4.00	2.00	1.83
D	ZrSiO4	%	Numeric	Discrete	0.0000	4.00	-1 ↔ 0.00	+1 ↔ 4.00	2.00	2.00
E	Magnetite	%	Numeric	Discrete	0.0000	6.00	-1 ↔ 0.00	+1 ↔ 6.00	3.69	2.50
F	Chromite	%	Numeric	Discrete	0.0000	6.00	-1 ↔ 0.00	+1 ↔ 6.00	3.46	2.40
G	Base	%	Numeric	Discrete	84.90	85.00	-1 ↔ 84.90	+1 ↔ 85.00	84.95	0.0500

Böylece kompozisyon içerisinde toplam aşındırıcı malzemenin ağırlıkça oranının %15 olacağı belirlendiği için sınırlayıcı veri olarak programa girildi.

## Design Constraints

Process Coding: Actual

Low Limit	Constraint	High Limit
14,100	$\leq A + B + C + D + E + F \leq$	15,000

Edit constraints...

. Şekil 5.2 Dizayna Eklenen Sınırlayıcı Veriler

Tüm verilerin girilmesinin ardından istenilen çıktı başlıkları da yazılarak seçilen deneysel tasarım yöntemiyle program çalıştırıldı. Tarama işlemi bittikten sonra program tarafından anlamlı 13 farklı kompozisyon belirlendi.

Tablo 5.4 Deneysel Tasarım Yöntemi Özet Bilgi Kısmı

<b>File Version</b>	<b>13.0.5.0</b>			
<b>Study Type</b>	Response Surface		<b>Subtype</b>	Randomized
<b>Design Type</b>	I-optimal	Point Exchange	<b>Runs</b>	13.00
<b>Design Model</b>	Linear		<b>Blocks</b>	No Blocks
<b>Build Time (ms)</b>	1203.00			

Tablo 5.5 Design-Expert Programında Belirlenen Kompozisyonlar

Run	Factor 1 A:SiC	Factor 2 B:Alumina	Factor 3 C:ZrO	Factor 4 D:ZrSiO4	Factor 5 E:Magnetite	Factor 6 F:Chromite	Factor 7 G:Base
1	1,5	4	0	0	6	3	84,9
2	3	4	2	0	0	6	85
3	3	0	0	0	6	6	84,95
4	3	2	0	4	3	3	84,9
5	1,5	2	4	4	3	0	84,9
6	0	2	4	0	3	6	84,9
7	0	4	4	4	0	3	85
8	3	0	4	2	0	6	84,9
9	3	4	2	0	6	0	85
10	1,5	0	4	0	6	3	85
11	0	0	2	4	6	3	84,9
12	3	2	0	4	6	0	85
13	1,5	0	0	4	3	6	85

### 5.3 Numune Hazırlanması

Deneysel çalışmalar için hazırlanacak numunelerin kompozisyonu ve üretim parametreleri belirlendikten sonra numune hazırlama aşamasında gerekli cihazlar kullanıldı.

#### 5.3.1 Numune Hazırlanmasında Kullanılan Cihazlar

##### 5.3.1.1 Terazi

Balata kompozisyonunda kullanılan tüm malzemelerin tartılması, balata son ürün haline geldikten sonra ürünün tartılması ve Arşimet prensibine göre hesaplanan yoğunluk değerinde ölçümlerin alınması için Radwag marka 0,1 g hassasiyete sahip laboratuvar terazisi kullanılmıştır.



. Şekil 5.3 Laboratuvar Terazisi

### **5.3.1.2 Küçük Ölçekli Mikser**

Balata kompozisyonu hazırlık aşamasında, baz formül hazırlandıktan sonra farklı aşındırıcıların eklenerek temel formüllerin hazırlık aşamasında malzemelerin homojen bir şekilde karıştırılması için Eirich marka max. 2 litre kapasiteye, z-blade bıçak ve dijital ekran kontrolüne sahip mikser kullanılmıştır.



Şekil 5.4 Eirich Mikser

### **5.3.1.3 Büyük Ölçekli Mikser**

Balata kompozisyonu hazırlık aşamasının ilk adımı olan baz formülasyonunun hazırlanması için tartılan malzemelerin homojen bir şekilde karıştırılması için

kullanılan 5 litre hacime ve z-blade büyük bıçak ve chopper bıçağına sahip Lödige mikser kullanılmıştır.



Şekil 5.5 Lödige mikser görüntüsü a) mikserin dış görünüşü b) mikserin iç haznesi ve bıçağı

#### 5.3.1.4 Hidrolik Pres

Üretimin ikinci adımı olan ve hazırlanacak olan numuneye istenilen formun verilmesi için kullanılan hidrolik pres hidrolik sistemlerin çalışma prensibine göre işlemektedir. Hidrolik sistem; sıkıştırılmaz özelliği olan akışkanların kullanıldığı, basınca maruz kalmış akışkan vasıtasıyla çeşitli hareket ve kuvvetin üretildiği sistemler olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 5.6 Laboratuvar tipi hidrolik pres a)presin dış görünüşü b)numunelerin hazırlandığı kalıp görüntüsü

### 5.3.1.5 Fırın

Hidrolik preste belirli basınç ve sıcaklıkla formu oluşturulan sürtünme malzemesinin bileşiminde bulunan bağlayıcı reçinenin kürlenme aşamasını tamamlaması için hazırlanan numuneler kademeli sıcaklık verilerek fırınlama işlemine tabi tutulur.



Şekil 5.7 Laboratuvar Tipi Fırın

### 5.3.2 Numune Üretimi

Karıştırma: Sürtünme malzemesi formülasyonlarının hazırlanması için öncelikle üretim adımlarının ilki olan karıştırma işleminden başlandı.

1. Adım: Deneme karışımının %85ini oluşturan baz karışım için bileşenlerinin tartımı yapıldı.



Şekil 5.8 Toz Hammaddelerin Hazırlanması

Tartımı yapılan hammaddeler partikül boyutları göz önünde bulundurularak Lödige mikserde öncelik toz hammaddeler eklenip 5dk, ardından granül hammaddeler eklenip 5 dk ve son olarak lif yapılı hammaddeler eklenerek 3 dk daha toplamda 13 dk olacak şekilde 500 rpm hızda karıştırma işlemi gerçekleşti. Her defasından 4,5 kg lık, toplamda 13,5 kg lık baz karışım elde edilecek şekilde bu işlem 3 defa tekrarlanarak karışım işlemi tamamlandı.

2. Adım: 13 farklı deneme karışımı için; %15lik kısmını oluşturan aşındırıcı hammaddelerin tartımı yapıldı. Tartımı yapılan hammaddeler her deneme için Eirich mikserde 1kg lık karışımlar elde edilecek şekilde; 850 gram baz karışım + 150 gram aşındırıcı hammaddeler eklenerek 1000 rpm hızda 2 dk boyunca karıştırıldı.



Şekil 5.9 Eirich Mikserde Aşındırıcı Malzeme Eklenmiş Karışım

Presleme: Karıştırma prosesi sonunda 13 farklı deneme karışımı elde edildi. Her deneme karışımından 4er adet balata numunesi elde edecek şekilde 250şer gram tartım yapıldı. Her numunenin pres basım şartları aynı olacak şekilde aşağıda yer alan parametrelere göre Şekil 5.5. te yer alan laboratuvar tipi hidrolik preste basım yapıldı.

Set t°C: 160°C

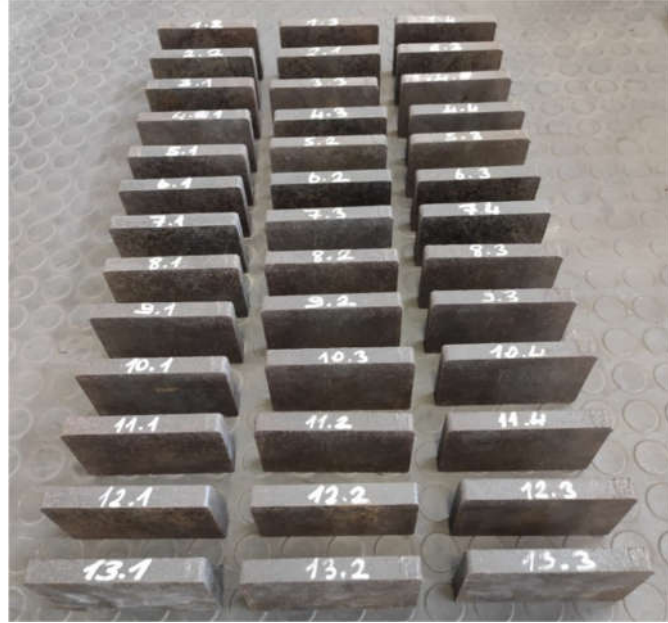
P: 350 kgf/cm<sup>2</sup>

Süre: (5x20s) + 240s (hava almalı)

Basımı gerçekleştiren ürünler 102x69x15mm ölçülerinde balata formunu almıştır. Toplamda üretilen 52 adet numune pres basım sonrası kendi arasında numaralandırıldı.



Şekil 5.10 Pres Sonrası Fren Balata Numunesi Enine Görünüş



Şekil 5.11 Numaralandırılmış Fren Balatası Numuneleri

Kürleme: Balata kompozisyonunda yer alan toz kimyasalların birbiriyle bağlanmasının tamamlanması için laboratuvar tipi hava sirkülasyon fırınında

kademeli olarak sıcaklık artacak şekilde ayarlanan programda (40°C-230°C) 10,5 saat boyunca fırımlandı. (Wilairat vd., 2019)

Yüzey İşlemleri(Taşlama): Numunelerin fiziksel ve sürtünme-aşınma testlerinin yapılması için yüzeyin daha pürüzsüz ve numunenin kendi içinde kalınlık ve paralellik ölçülerinin stabil olması önemlidir. Bundan dolayı fırınlama prosesi bittikten sonra numunelerin iki tarafına da taşlama işlemi yapıldı.

## **5.4 Testler için Kullanılan Cihazlar**

Fren balatası üretimi için hazırlanan karışım ve balata numunelerine kimyasal, fiziksel ve karakterizasyon testleri yapıldı.

### **5.4.1 Sertlik Ölçüm Testi**

Fren balatalarının sertlik ölçümleri için Bulut Makine Marka cihaz kullanılmıştır. Sertlik, bir maddeye uygulanan basınca karşı yükün uygulandığı bölgede oluşan deformasyona bağlı olarak gerçekleşen deformasyonun, boyutuna bağlı elde edilen bir değerdir. Brinell, Vickers, Rockwell gibi sertlik ölçümlerinde deforme olan bölgenin, geometrik şekline göre oluşan dairenin yarıçapı veya dörtgenin köşegen uzunluğuna bağlı olarak hesaplanmaktadır.(Akdoğan, 2020) Sertlik ölçümü EN ISO 2039 standardında belirtilen şekilde yapıldı. Ölçümler HRR metoduyla Rockwell sertlik birimi cinsinden ölçüldü.

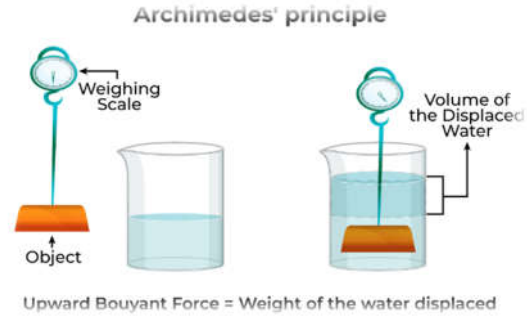


Şekil 5.12 Sertlik Ölçüm Cihazı

### 5.4.2 Yoğunluk Ölçümü

Hazırlanan tüm balata numunelerine Arşimet prensibinde göre  $d = m / V$  (g/cm<sup>3</sup>) bağıntısına yoğunluk ölçümü yapılmıştır.

(<https://www.geeksforgeeks.org/buoyant-force/>)



Şekil 5.13 Arşimet Prensibi

### 5.4.3 Sıkıştırılmış Yoğunluk Cihazı

Sıkıştırılmış yoğunluk ölçümü hazırlanan tüm karışımlara(toz numuneler) ASTM B527-15 test prosedürüne göre ölçüm yapıldı. Ölçüm sırasında 100mm lik mezür kullanıldı. Mezür içerisine tüm karışımlar aynı seviyede olacak şekilde 80mm seviyesine kadar numuneler dolduruldu ve tartım alındı. Karışımları koyarken

tozların el veya bir aparatla sıkıştırılmamasına dikkat edilir. Mezür istenilen seviyeye geldikten sonra cihaza yerleştirilir ve 3000 vuruş ayarlanarak cihaz çalıştırıldı. 3000 vuruş sonrasında sıkışmış numunenin mezür üzerinde seviyesi ölçüldü. Sonrasında;  $d = m / V$  (g/cm<sup>3</sup>) bağıntısına göre hesap yapılarak sıkıştırılmış yoğunluk değeri hesaplandı.



Şekil 5.14 Sıkıştırılmış Yoğunluk Cihazı

#### 5.4.4 Pıknometre Cihazı

Bir diğer yoğunluk ölçümü cihazı olan pıknometrede toz ve katı formda numuneler kullanılabilir. Hacmi ölçmek için gaz yer değiştirme yöntemi kullanılarak gerçek hacim ve yoğunluk elde etmek mümkündür. Ölçüm için AccuPyc II 1345 otomatik gaz pıknometresi kullanılarak ISO 1183-3 standardına göre ölçümler yapıldı.



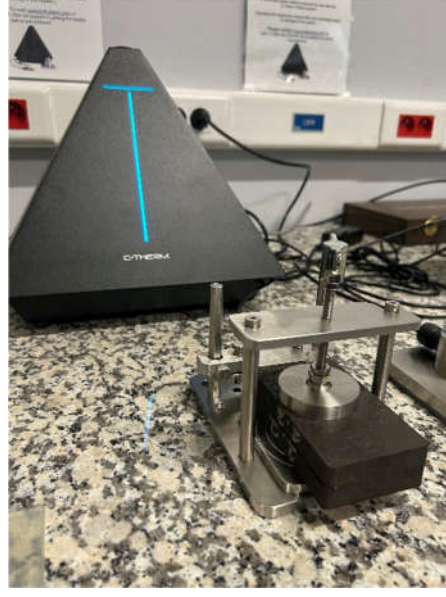
Şekil 5.15 Piknometre Cihazı



Şekil 5.16 Piknometre Cihazı Ölçüm Ekranı

#### 5.4.5 Termal İletkenlik Analiz Cihazı

Termal iletkenlik malzemelerin ısı taşıma özelliklerinin tanımlanması için kullanılan termofiziksel özellikler arasında en önemli olanıdır. Malzemenin yüzeyi cihazın balata numunesi için uygun olan TPS sensörü ile temas altında ölçüm yapıldı. TPS(Transient Plane Source) sensör ISO 22007-2 standardına göre yöntemi belirlenmiştir. Cihaz ile tüm formülasyonlara ait balata numunelerinin W/m K cinsinden termal iletkenlik sabitinin(k) ölçümü yapıldı.



Şekil 5.17 Fren Balata Numunesi Bağlanmış Termal İletkenlik Cihazı

#### 5.4.6 X-Işını Difraksiyon Spektrostokipi Cihazı

X-Işını kırınım yöntemi her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak x-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. (<https://arum.ogu.edu.tr/Sayfa/Index/19/x-isininlari-xrd-ve-xrf-analiz-birimi>) Bu yöntem ile kullanılan aşındırıcı malzemelerin yüzdesel olarak saflık değerlerinin ölçümü yapıldı.



Şekil 5.18 XRD Cihazı

#### 5.4.7 Partikül Boyutu Analiz Cihazı

Kullanılan aşındırıcı malzemelerin partikül boyutları Mastersizer 2000 cihazı ile mikrometre biriminden ölçümleri yapıldı.



Şekil 5.19 Partikül Boyutu Analiz Cihazı

#### 5.4.8 Taramalı Elektron Mikroskop Cihazı

Hazırlanan tüm balata numunelerinin sürtünme-aşınma testi öncesi ve sonrası yüzeyleri SEM(Scanning Electron Microscope) cihazı ile nano ölçekte incelenerek görüntüleme ve elementel analizleri yapıldı.



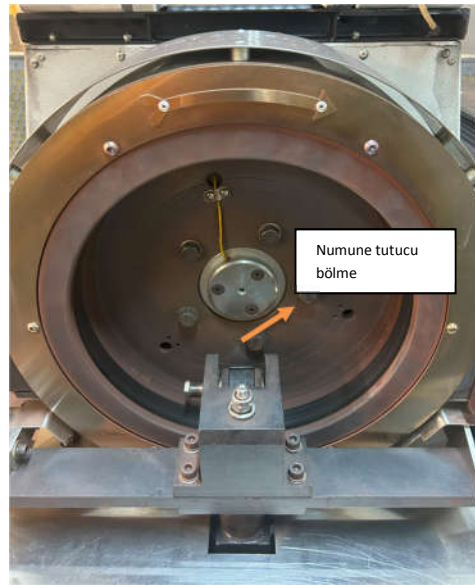
Şekil 5.20 Taramalı Elektron Mikroskobu

#### 5.4.9 Sürtünme-Aşınma Test Cihazı

Sürtünme – aşınma testi Chase Sürtünme cihazı SAE J661 standardına göre test etmek için tasarlanmıştır. Sistem, numunenin sürtünme yüzeyiyle en az %95 temas elde etmesi için dönen bir dökme demir disk üzerine burnish testinde 312 rpm hızda 470 N basınçta, sürtünme test adımına geçildiğinde 417 rpm hızda 667 N basınçta test edecek şekilde hazırlanmıştır. Sürtünme testi sonunda ortalama 350°C sıcaklıklara ulaşmaktadır.



Şekil 5.21 Chase Sürtünme-Aşınma Test Cihazı



Şekil 5.22 Chase Test Cihazı Disk ve Numune Tutucu

## 6. BULGULAR

### 6.1 Kimyasal, Fiziksel ve Sürtünme Aşınma Test Sonuçları

#### 6.1.1 Kimyasal Test Sonuçları

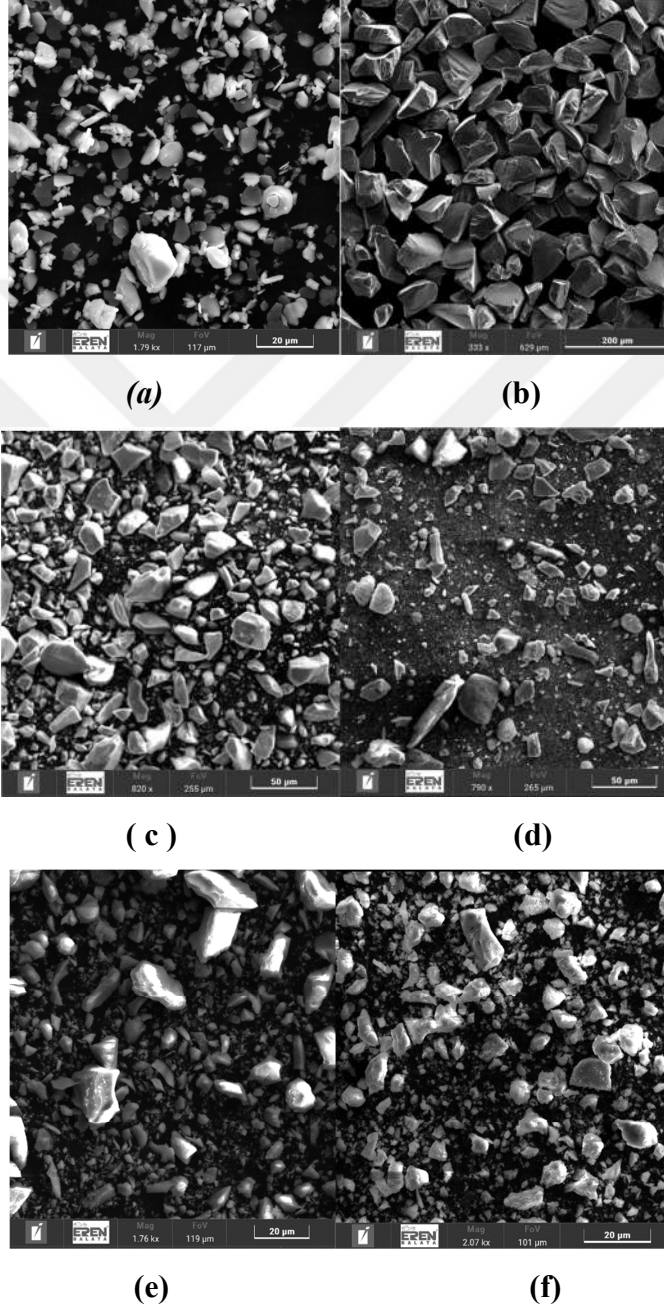
Tez çalışması planlanırken kullanılacak olan aşındırıcı malzemelerin seçiminde literatür araştırmaları ve tecrübelerden yararlanılmıştır. Altı farklı yapıdaki aşındırıcı malzemenin PSD, XRD, TGA ve SEM analizleri yapıldı.

Lazer difraksiyonlu partikül boyutu analizi ve atomik olarak X-ışını difraksiyon spektroskopisi ile analizi yapılan aşındırıcıların % sonuçları Tablo 6.1.'de yer almaktadır. Tüm aşındırıcı malzemelerin XRD sonuç grafikleri Ek A'da ve alüminanın ( $Al_2O_3$ ) termogravimetrik analiz (TGA) sonuç grafiği Ek B'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Aşındırıcı Malzemelerin PSD, XRD ve TGA Analiz Sonuçları

Malzeme / Analiz	PSD	XRD		TGA
	$d_v(50) \mu m$	Bileşen	%	T °C
SiC	59	Moissanite	100	> 1100
$Al_2O_3$	8,25	Corundum	100	> 1074
$Zr_2O_4$	5	Baddeleyite	99.7	-
$ZrSiO_4$	12,4	Zirkon	100	-
$Fe_2O_3$	2,65	Magnetite	98	-
$FeCr_2O_4$	14	Chromite	100	> 800

Aşındırıcı malzemelerin partikül şekillerinin üç boyutlu görüntülenmesi, frenleme sırasında oluşan kayma arayüzündeki davranışını anlamak ve sürtünme-aşınma test sonuçlarının yorumlanmasında fikir edinmek amacıyla SEM görselleri Şekil 6.1 de yer almaktadır.



Şekil 6.1 Aşındırıcı Malzemelerin SEM Görüntüleri (a) alümina (b) silisyum karbür (c) chromite (d) magnetite (e) zirkonyum silikat (f) zirkonyum oksit

Fren balata numunesi hazırlanırken pres adımına geçmeden önce hazırlanan Şekil 5.10 'de görüldüğü gibi toz haldeki deneme karışımlarına kimyasal testler uygulanmıştır.

Tablo 6.2 Deneme Karışımına Uygulanan Test Sonuçları

Deneme / Testler	$d_{\text{bulk}}$	Nem (%)	Kül (%)	Aseton (%)	Sıkıştırılmış Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
1	0,82	0,93	81	6	1,280
2	0,83	0,64	89	4	1,282
3	0,84	0,74	90	6	1,279
4	0,82	0,71	87	6	1,284
5	0,85	0,59	85	7	1,295
6	0,84	0,66	86	7	1,293
7	0,85	0,52	89	6	1,290
8	0,84	0,72	85	6	1,298
9	0,84	0,58	92	7	1,273
10	0,83	0,57	91	6	1,270
11	0,85	0,54	85	6	1,264
12	0,83	0,57	86	6	1,275
13	0,82	0,65	88	6	1,282

Tablo 6.2.'de yer alan test sonuçları incelendiğinde karışımların  $d_{\text{bulk}}$  sonuçlarının 0,82-0,85 aralığında,  $d_{\text{sık.yoğ}}$  sonuçlarının 1,270-1,295 aralığında olup birbirine çok yakın olduğu saptanmıştır. Kül tayini; kompozisyonda yer alan inorganik madde miktarıyla ilişkili olup, %85 lik baz karışım tüm karışımlarda aynı olduğu için sonuçlar % 85-92 arasında beklenen değerlerdedir. Nem

sonuçlarına göre % 0,93 ile en çok nem tutan karışım 1 numaralı karışımdır. Aseton ile organik madde tayini kompozisyon içerisindeki fenolik reçine ile ilişkilidir. %85 lik baz karışım tüm karışımlarda aynı olduğu için % 6-7 oranında yakın sonuçlar alınmıştır.

### 6.1.2 Fiziksel Test Sonuçları

Pres basım sonrası elde edilen Şekil 5.12.'de yer alan balata numunelerine Tablo 6.3.'te yer alan fiziksel testler uygulanmıştır.

Tablo 6.3.'e göre balata numunelerine uygulanan test sonuçları incelendiğinde; dnumune değerleri 2,91-3,04 aralığındadır. Sertlik sonuçları numunenin basım sırasında karışımın kalıp içerisinde eşit dağılıp dağılmaması ile ilgili bilgi vermektedir. En düşük ve diğer numunelerin sertlik değerlerinden çok uzak sertlik değerine sahip 2.1 ve 2.2 numaralı numunelerin olduğu görülmektedir. Bu yüzden bu numuneler chase sürtünme-aşınma testleri için kullanılmamıştır. dnumune ölçümü arşimet prensibine yapılmıştır. dpiknometre ölçümü için gaz yer değiştirme yöntemi ile ölçüm yapılmış olup gerçek yoğunluk sonuçları elde edilmiştir. En yüksek piknometre yoğunluğa sahip numune 10 numara iken, en düşük piknometre yoğunluğuna sahip numune 12 numaralı numunedir. Frenleme sırasında oluşan yüksek sıcaklıklar sürtünme çiftinin frenleme performansını etkilemektedir. Fren balatasının termal iletkenlik değeri sistemdeki ısı dağılımı için çok önemlidir. En yüksek termal iletkenliğe sahip numune 4 numara iken en düşük termal iletkenliğe sahip numune 3 numaralı numunedir.

Tablo 6.3 Balata Numunelerine Uygulanan Fiziksel Test Sonuçları

Deneme / Testler	d <sub>numune</sub> (g/cm <sup>2</sup> )	Sertlik (HRR)		d <sub>piknometre</sub> (g/cm <sup>2</sup> )	Thermal Conductivity (W/m K)
1.1	2,97	107	109	3.4226	4.4301
1.2	3,01	109	101		
1.3	3,00	109	109		
1.4	3,01	106	114		
2.1	2,98	53	47	3.441	4.3627
2.2	3,01	60	101		
2.3	3,03	107	104		
2.4	3,00	101	99		
3.1	2,92	108	105	3.4386	3.0742
3.2	2,98	103	112		
3.3	3,01	102	106		
3.4	2,99	110	110		
4.1	3,01	108	112	3.4296	4.9507
4.2	3,00	108	109		
4.3	3,01	108	108		
4.4	2,98	111	101		
5.1	2,93	111	111	3.4972	4.7232
5.2	3,01	100	107		
5.3	2,99	110	104		
5.4	3,01	112	106		
6.1	3,05	109	110	3.4581	4.0126
6.2	3,04	111	107		
6.3	3,00	109	109		
6.4	3,02	110	109		
7.1	2,99	100	104	3.4933	4.2492
7.2	3,00	102	105		
7.3	2,99	110	112		
7.4	2,99	97	106		
8.1	2,91	107	105	3.4478	4.6488
8.2	2,95	110	101		
8.3	2,93	102	110		
8.4	2,97	108	103		
9.1	2,94	103	95	3.4642	4.6160

9.2	2,99	109	103		
9.3	2,98	110	105		
9.4	3,02	104	102		
10.1	3,02	110	105	3.5095	4.2585
10.2	3,04	107	106		
10.3	2,98	106	107		
10.4	3,03	105	109		
11.1	2,97	105	101	3.4991	4,4336
11.2	3,00	105	102		
11.3	3,04	104	100		
11.4	3,02	109	110		
12.1	3,03	100	111	3.4162	4.1385
12.2	3,04	109	91		
12.3	3,02	111	109		
12.4	2,97	105	98		
13.1	3,02	113	108	3.4332	4.2269
13.2	3,04	103	109		
13.3	2,99	110	111		
13.4	3,01	104	109		

### 6.1.3 Sürtünme-Aşınma Test Sonuçları

Fren balatası numunelerine uygulanan fiziksel testler sonrası Tablo 6.3.'te yer alan sonuçlar göz önünde bulundurularak tüm karışımlardan 1er adet olmak üzere sonuçları optimum düzeyde barındıran numunelerden seçim yapıldı. Seçilen balata numunelerinin çift tarafında yüzeyinin pürüzsüz hale gelmesi için taşlandı. Sonrasında Chase sürtünme testinde kullanmak için 25mmx25mmx7mm ölçülerinde toplamda 13 adet numune hazırlandı.

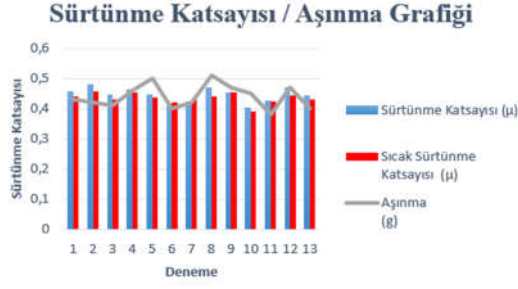
İstenilen ölçüde hazırlanan numuneler SAE J661 test prosedürüne uygun olacak şekilde sürtünme testi yapıldı. Ortalama 3,5-4 saat süren sürtünme-aşınma testinde sıcaklık 400°Cye kadar çıkmaktadır. SAE J661 test prosedürüne göre normal sürtünme katsayısı; test aşamasının Fade-2 kısmında yer alan 93°C-121°C-149° ve 205°C sıcaklıklarda uygulanan frenlerden alınan değerlere göre

hesaplanmaktadır. Sıcak sürtünme katsayısı; test aşamasının Fade-2 (233°C-261°C-317°C-345°C) ve Recovery-2 (149°C ve 205°C) sıcaklıklarda uygulanan frenlerden alınan değerlere göre hesaplanmaktadır. Test sonrası elde edilen sürtünme katsayısı ve aşınma sonuçları Tablo 6.4.'te yer almaktadır.

Tablo 6.4 Sürtünme-Aşınma Test Sonuçları

Deneme / Test	Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ )	Sıcak Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ )	Aşınma (g)	Aşınma (%-g)	Aşınma (mm)	Aşınma (%-mm)
1	0.456	0.441	0.43	3.566	0.249	3.285
2	0.48	0.456	0.42	3.258	0.45	5.781
3	0.448	0.43	0.41	3.080	0.169	2.247
4	0.462	0.455	0.46	3.680	0.21	2.815
5	0.446	0.437	0.5	3.647	0.322	4.167
6	0.409	0.419	0.4	2.941	0.206	2.657
7	0.424	0.432	0.42	3.091	0.398	5.031
8	0.469	0.44	0.51	4.304	0.201	2.652
9	0.452	0.453	0.47	3.438	0.234	3.048
10	0.404	0.39	0.45	3.247	0.487	6.127
11	0.426	0.424	0.38	2.776	0.239	3.078
12	0.469	0.443	0.47	3.615	0.201	2.639
13	0.442	0.429	0.4	3.008	0.185	2.444

Tablo 6.4.'e göre 2 numaralı numune en yüksek sürtünme katsayısına sahipken 10 numaralı numune en düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Sıcak sürtünme katsayı sonuçları her numunenin sıcak sürtünme katsayısı ile anlamlı ve paralel gittiği görülmektedir. Sıcak sürtünme katsayıları karşılaştırıldığında yine en yüksek sonuç 2 numarada iken en düşük sonuç 10 numaraya aittir. Kütleye göre aşınma miktarı en düşük olan 11 numara, en yüksek aşınma miktarı 8 numaralı numunede görülmektedir. Kalınlığa göre aşınma miktarı en düşük olan 3 numara, en yüksek aşınma miktarı 10 numaralı numunede görülmektedir.



Şekil 6.2 Sürtünme Katsayısı-Aşınma Grafiği

Sürtünme katsayısı-aşınma değerlerinin karşılaştırmasının yer aldığı Şekil 6.2.'de görüldüğü gibi sürtünme katsayısının azalmasıyla birlikte aşınma miktarının da azaldığı görülmektedir.

## 6.2 Sürtünme-Aşınma Test Sonuçlarının ANOVA'da Değerlendirilmesi

Formülasyon belirleme aşamasında Tablo 5.2.'de yer alan veriler Design-Expert programı üzerinden girildikten sonra istenilen çıktılar olarak üç farklı başlık ele alındı. Bunlar sürtünme katsayısı, sıcak sürtünme katsayısı ve aşınma miktarı olarak belirlendi.

Tablo 6.4.'te yer alan sürtünme-aşınma test sonuçları Design-Expert programı üzerinden 'response' kısımlarında ilgili başlıklar altına eklendi. Analiz kısmına geldikten sonra 'Start Analysis' kısmından sonuçların değerlendirme aşaması başlatıldı. Yanıt yüzey yöntemiyle istenilen çıktıların analizleri yapıldı. Modelin anlamlı olma kriteri p-value < 0,05 olmasıdır.

### ANOVA for Linear model

#### Response 1: Friction Coefficient (1)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	0,0058	7	0,0008	5,23	0,0435	significant
A-SiC	0,0001	1	0,0001	0,7161	0,4360	
B-Alumina	6,037E-06	1	6,037E-06	0,0379	0,8534	
C-ZrO	0,0000	1	0,0000	0,0725	0,7985	
D-ZrSiO4	1,167E-06	1	1,167E-06	0,0073	0,9352	
E-Magnetite	6,777E-06	1	6,777E-06	0,0425	0,8448	
F-Chromite	2,320E-07	1	2,320E-07	0,0015	0,9711	
G-Base	0,0003	1	0,0003	1,58	0,2645	
<b>Residual</b>	0,0008	5	0,0002			
<b>Cor Total</b>	0,0066	12				

Şekil 6.3 Response 1 Anova Değerlendirmesi

### ANOVA for Linear model

#### Response 2: Hot Friction Coefficient (1)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	0,0035	7	0,0005	7,96	0,0182	significant
A-SiC	0,0003	1	0,0003	4,16	0,0970	
B-Alumina	0,0002	1	0,0002	3,67	0,1134	
C-ZrO	0,0001	1	0,0001	1,01	0,3608	
D-ZrSiO4	0,0001	1	0,0001	2,34	0,1868	
E-Magnetite	0,0001	1	0,0001	1,25	0,3140	
F-Chromite	0,0001	1	0,0001	1,70	0,2487	
G-Base	0,0003	1	0,0003	4,33	0,0919	
<b>Residual</b>	0,0003	5	0,0001			
<b>Cor Total</b>	0,0038	12				

Şekil 6.4 Response 2 Anova Değerlendirmesi

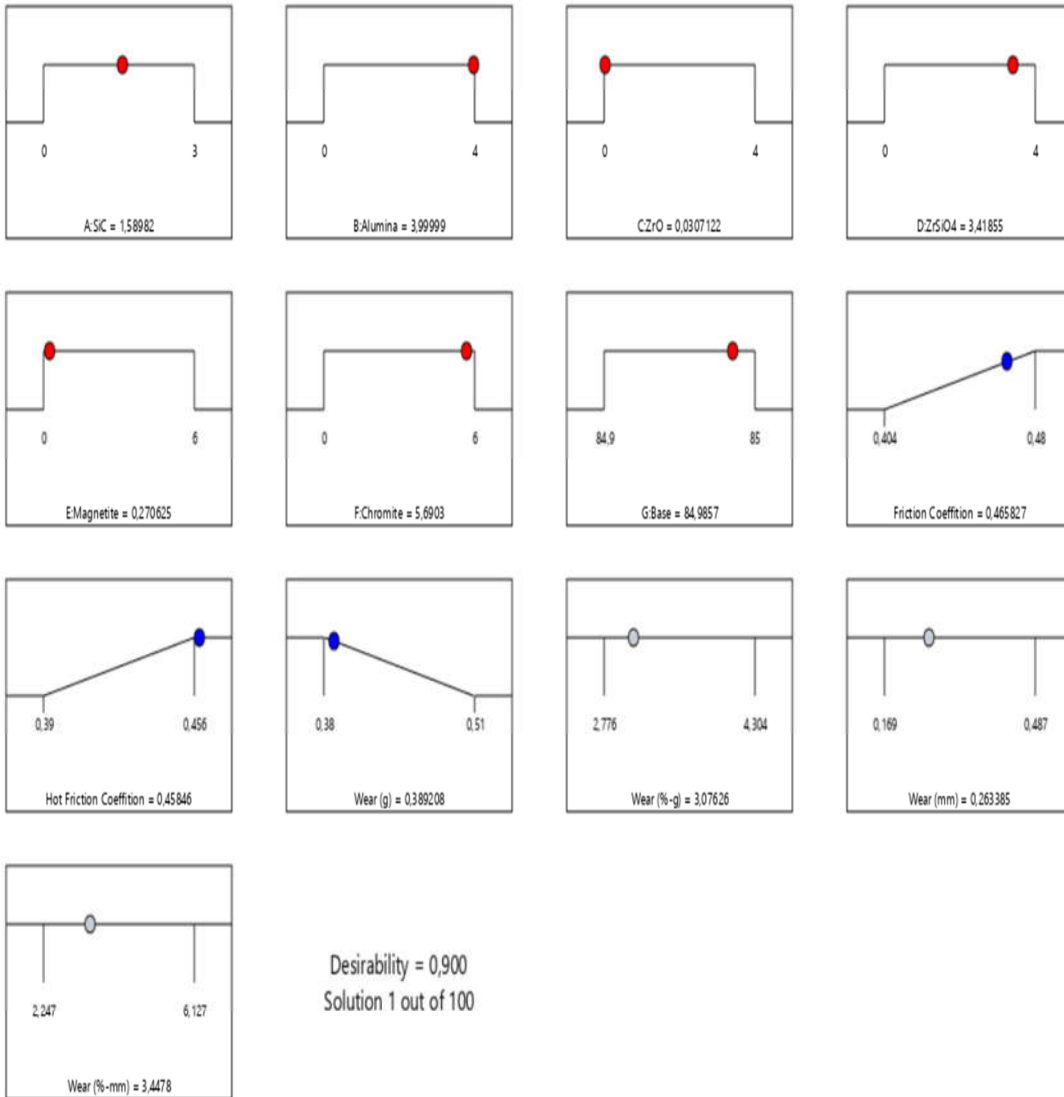
### ANOVA for Linear model

#### Response 3: Wear (g) (1)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	0,0180	7	0,0026	8,88	0,0143	significant
A-SiC	0,0001	1	0,0001	0,2127	0,6640	
B-Alumina	0,0010	1	0,0010	3,38	0,1253	
C-ZrO	0,0004	1	0,0004	1,46	0,2815	
D-ZrSiO4	0,0008	1	0,0008	2,76	0,1575	
E-Magnetite	0,0010	1	0,0010	3,50	0,1205	
F-Chromite	0,0013	1	0,0013	4,61	0,0845	
G-Base	0,0012	1	0,0012	4,24	0,0944	
<b>Residual</b>	0,0014	5	0,0003			
<b>Cor Total</b>	0,0194	12				

Şekil 6.5 Response 3 Anova Değerlendirmesi

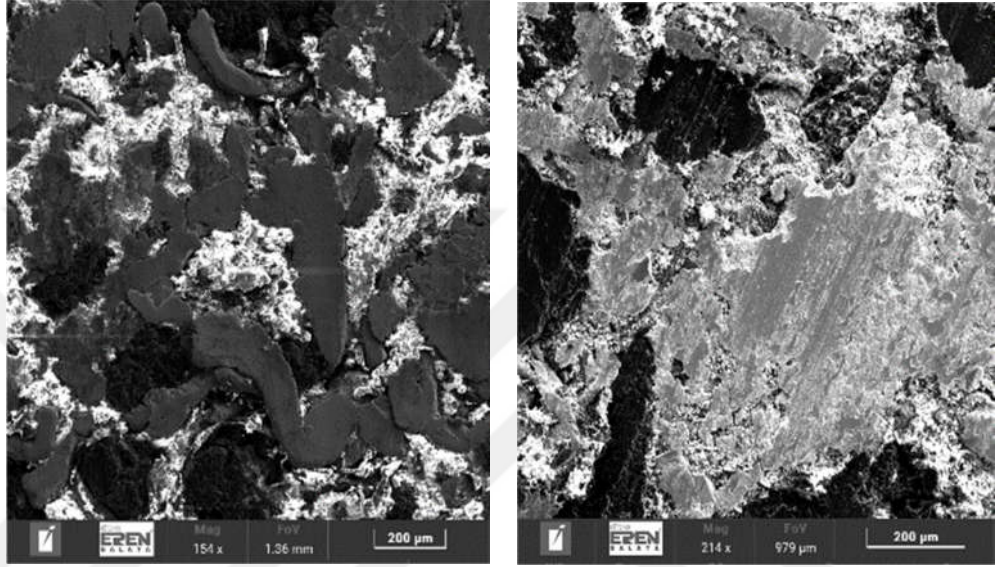
Üç farklı çıktı için de seçtiğimiz model anlamlıdır ve doğru seçilmiştir. Girdi-çıkı arasındaki ilişkiyi detaylı inceleyip formülasyonu optimize etmek için Design-Expert programı üstünden ‘optimizasyon’ kısmına geçildi. Bu kısımda sürtünme katsayısı ‘maximize’, sıcak sürtünme katsayısı ‘maximize’ ve aşınma ‘minimize’ seçilerek optimizasyonun sınırları belirlendi. Buna göre optimizasyon çalışması tamamlanarak Şekil 6.6.’te yer alan aralıklar optimizasyon çalışmasının çıktısı olarak belirlendi.



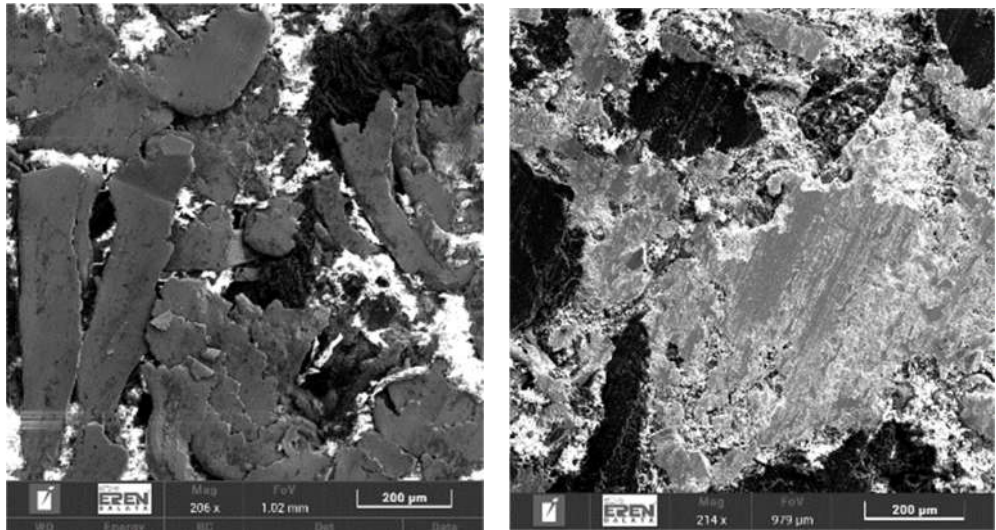
Şekil 6.6 Optimizasyon Çalışması

### 6.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri

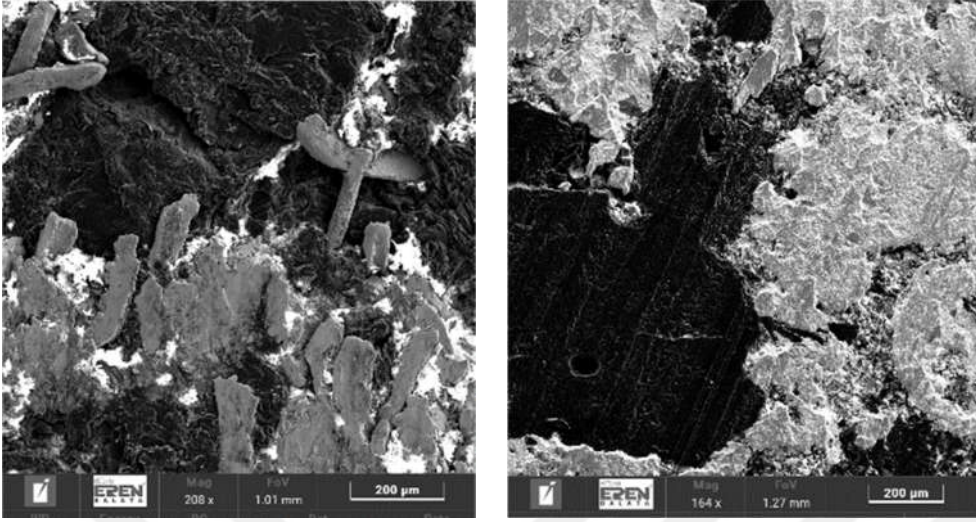
Chase sürtünme testi öncesi ve sonrası olmak üzere balata numunelerine taramalı elektron mikroskobu ile tüm numunelerin yüzey morfolojisi incelendi.



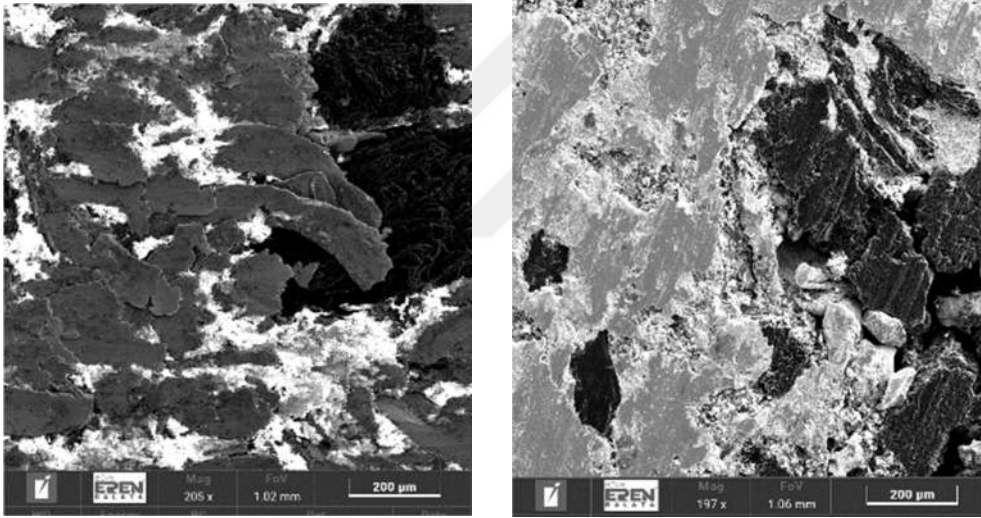
Şekil 6. 7 Deneme 1 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



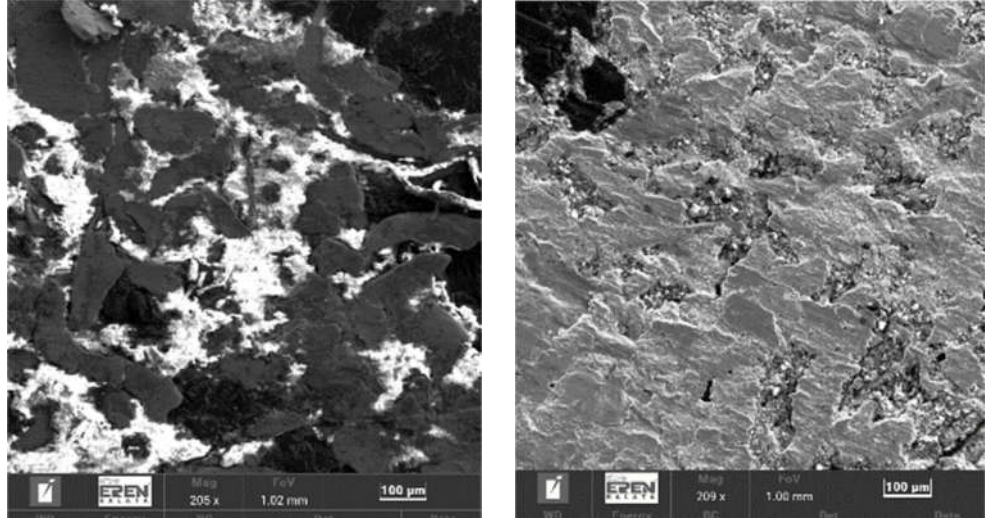
Şekil 6.8 Deneme 2 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



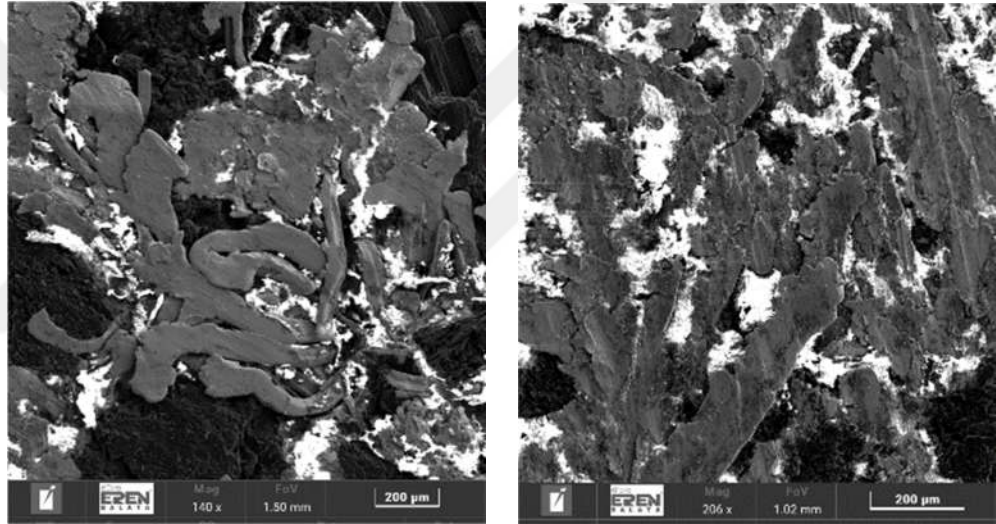
Şekil 6.9 Deneme 3 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



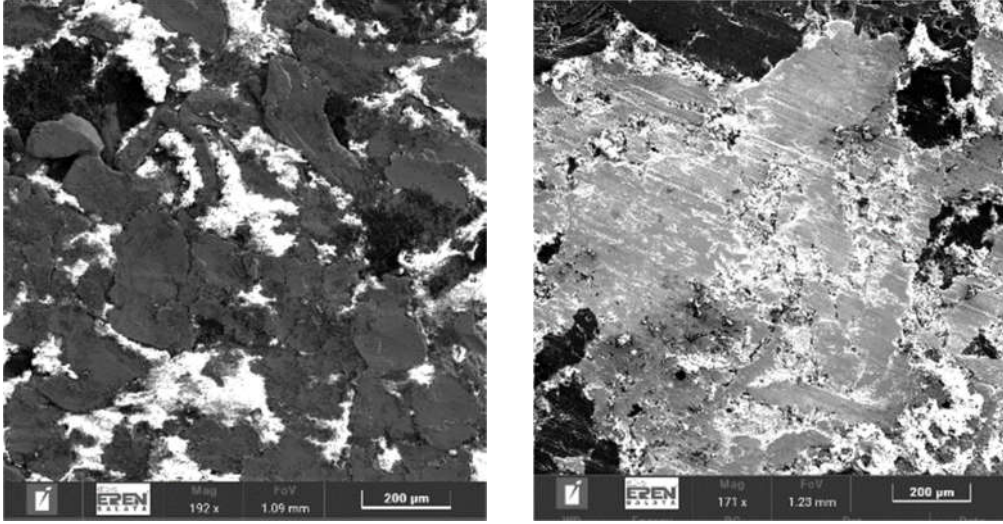
Şekil 6.10 Deneme 4 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



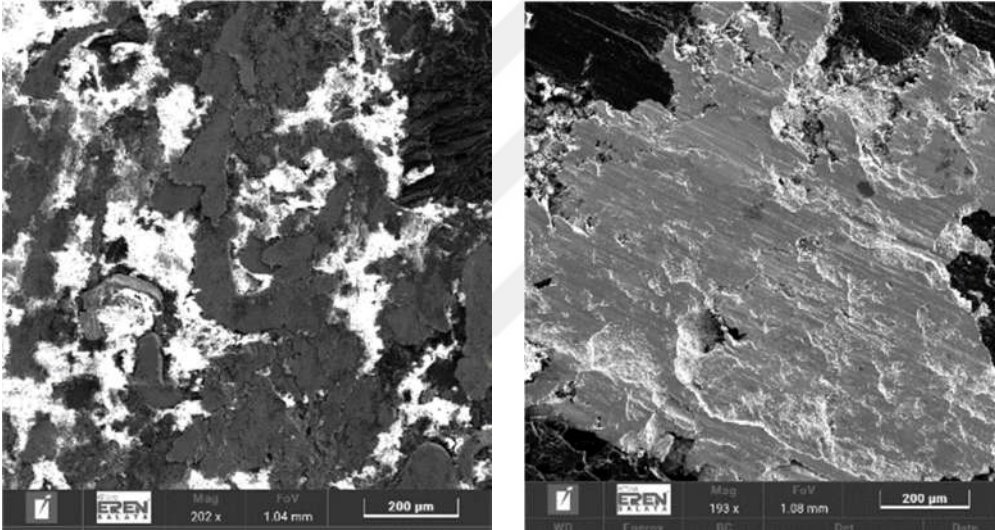
Şekil 6.11 Deneme 5 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



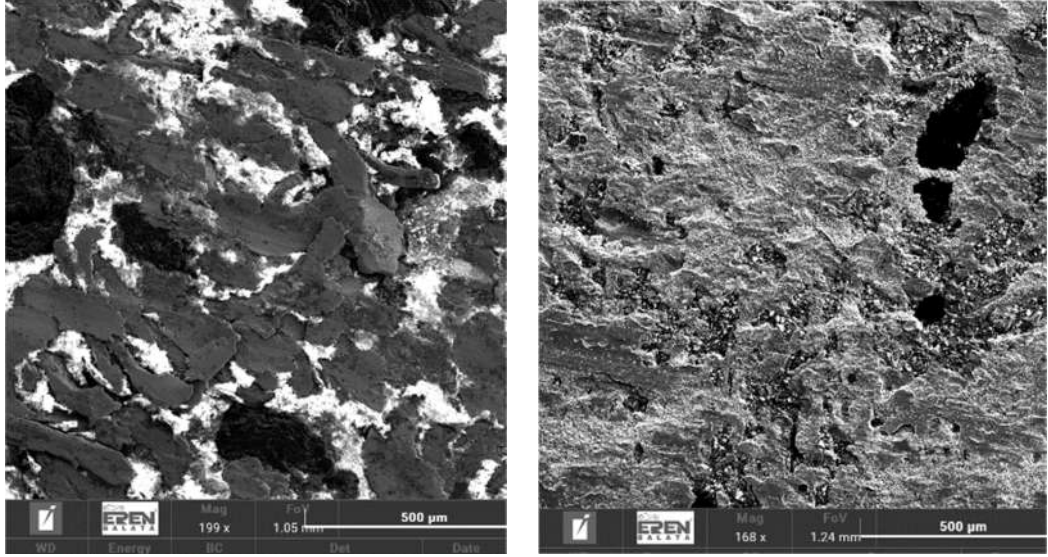
Şekil 6.12 Deneme 6 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



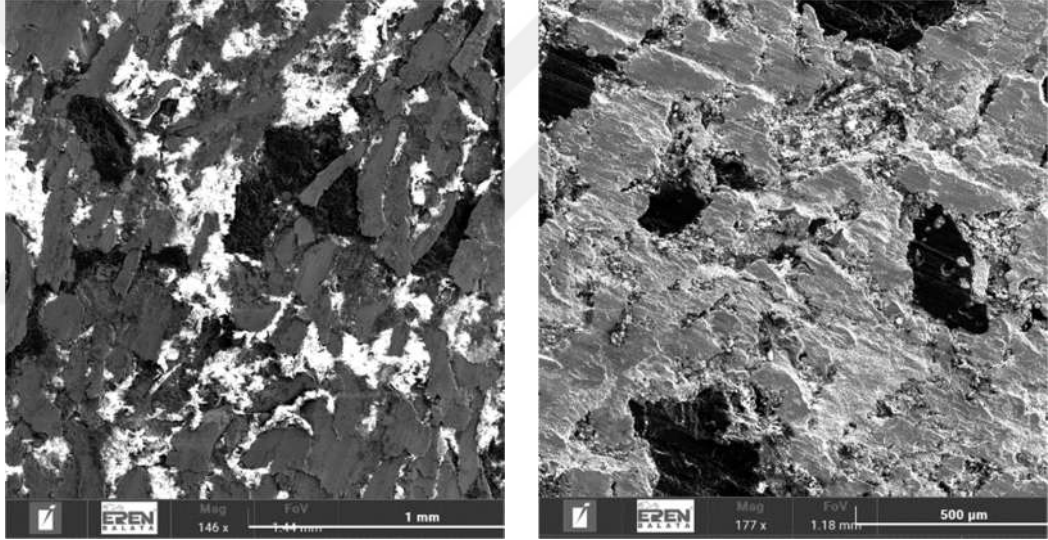
Şekil 6.13 Deneme 7 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



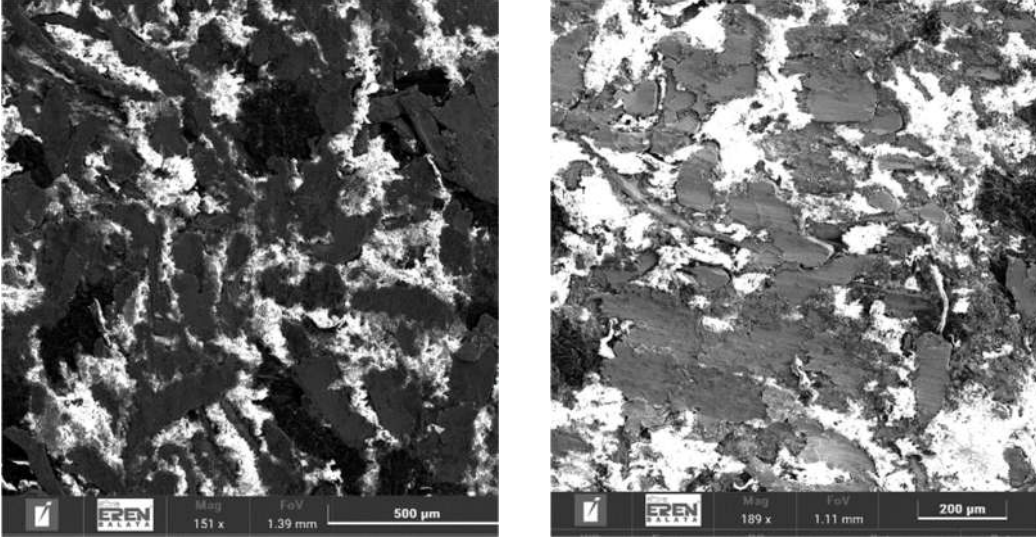
Şekil 6.14 Deneme 8 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



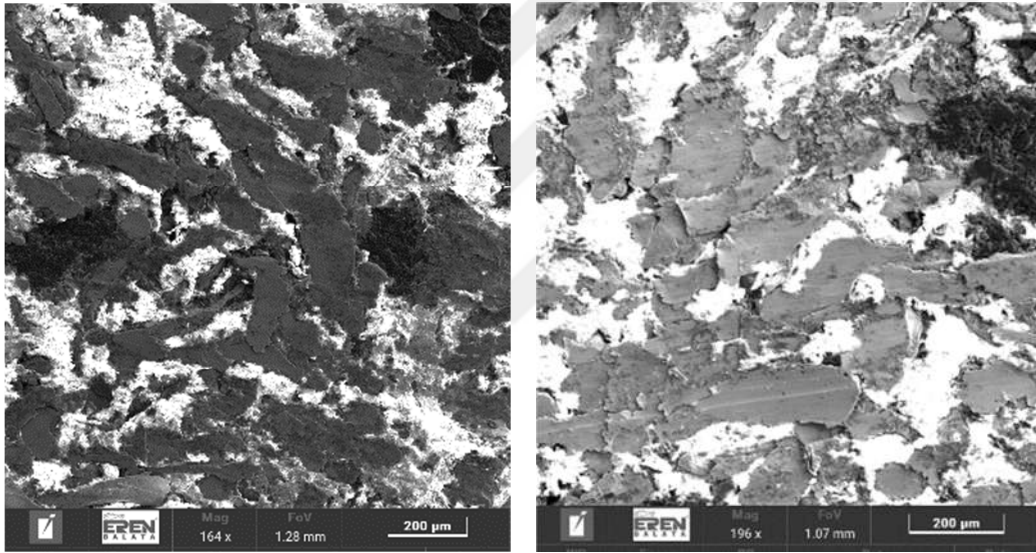
Şekil 6.15 Deneme 9 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



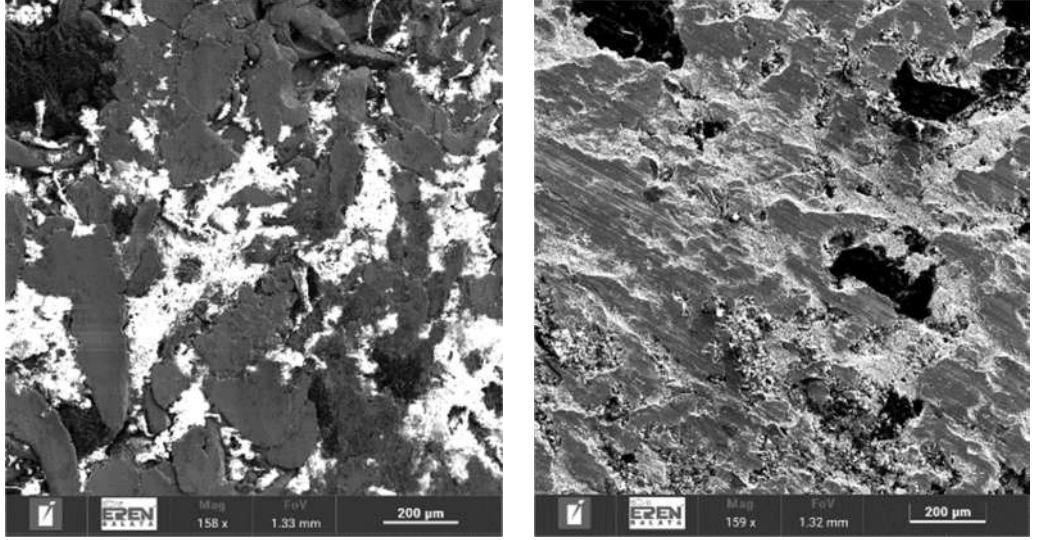
Şekil 6.16 Deneme 10 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



Şekil 6.17 Deneme 11 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



Şekil 6.18 Deneme 12 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası



Şekil 6.19 Deneme 13 SEM Görüntüleri (a) Test öncesi (b) Test Sonrası

Taramalı elektron mikroskopunda tüm numunelerin öncesi ve sonrası olmak üzere elementel analizleri yapıldı. Spektrum grafikleri Ek A' ye eklendi.

## 7. SONUÇ

Fren balataları, otomotiv sektörünün kendini sürekli geliştirmesi, yeni tasarım çıktıları elde edilmesi, yüksek performans araçlarının üretilmesi nedeniyle kendi alanında da durmadan ilerlemesi gereken ürünlerdir. Fren balata formülasyon geliştirme çalışmaları içeriğindeki 10dan fazla bileşenden dolayı geleneksel olarak çalışmalardaki tecrübelerle dayanarak ve deneme yanılma yöntemleriyle ilerletilmeye çalışılmıştır. Ancak günümüzde fren balataları ile ilgili literatür çalışmaları artmakta ve yapay zeka tabanlı programların gelişimiyle birlikte bu programların da kullanım alanları artmaktadır.

Fren balataları kompozisyonlarında kullanılan malzemelerin, sürtünme çifti arayüzünde oluşan kayma filmini hem oluşturmalı hem de sürtünmenin aktif olarak devam edebilmesi için filmi tekrar kaldırmalıdır. Bu denge sayesinde sürtünme çifti arasında meydana gelen yüksek sıcaklıklara karşı performans kayıpları azalabilir.

Fren balatası kompozit bir malzeme olduğu için kendini oluşturan bileşenlerin etkilerini taşımakta ve aynı zamanda oluşan yeni kompozit ürün üstün özellikler sergilemektedir. Fren balatasının temel amacı olan fren sistemini durdurma görevini yerine getirmesi için bu üstün özelliklerden olan sürtünme katsayısını oluşturması gerekmektedir. Bu katsayısının oluşmasında en etkili malzeme de aşındırıcılardır. Aşındırıcı malzemelerin mineral yapıları gereği kendi yapılarının sertlik değerleri de oldukça etkilidir. Bu bağlamda bu çalışmada alümina ( $Al_2O_3$ ), silisyum karbür ( $SiC$ ), zirkonyum oksit ( $ZrO_4$ ), zirkonyum silikat ( $ZrSiO_4$ ), magnetite ( $Fe_2O_3$ ), chromite ( $FeCr_2O_4$ ) aşındırıcı malzemeler seçildi. Seçilen malzemelerin kimyasal özellikleri XRD, TGA, PSD ve SEM analizleri ile netlik kazanmıştır. Kütlece %15 aşındırıcı malzeme, %85 baz karışım sabit olacak şekilde geliştirilecek formülasyonların kendi içinde oranları belirlendi. Belirlenen kütlece %15 lik kısım aşındırıcıların Mohs sertlik değerlerine göre deneysel tasarım yöntemiyle min. 3 max. 5 değişken olacak şekilde toplam 13 kombinasyon belirlendi.

Belirlenen kombinasyonların hazırlık aşamasında 13 kombinasyon için de aynı üretim şartlarında, aynı proses parametreleriyle üretim gerçekleşti. Hazırlanan fren balatası numuneleri SAE J661 test prosedürüne göre hazırlanan Chase sürtünme-aşınma test cihazında performans testleri gerçekleştirilerek, normal sürtünme katsayısı, sıcak sürtünme katsayısı ve aşınma miktarları ölçüldü.

- En yüksek sürtünme katsayısı 0,48 ile bileşiminde % 1,5 SiC, % 4 Alumina, % 6 magnetite ve % 3 chromite içeren 2 numaralı numunede görüldü.
- En yüksek sıcak sürtünme katsayısı 0,456 ile bileşiminde % 1,5 SiC, % 4 Alumina, % 6 magnetite ve % 3 chromite içeren 2 numaralı numunede görüldü. 0,455 sıcak sürtünme katsayısı ile 2 numaralı numuneyi takip eden 3 numaralı numunenin sürtünme katsayısı 0,448 dir. 3 numaralı numuneyi kendi içinde karşılaştıracak olursak frenleme sırasında artan sıcaklıkla sürtünme katsayısının daha stabil kaldığı görülmektedir.
- En düşük aşınma miktarı 0,38 gram ile bileşiminde % 2 zirkonyum oksit, % 4 zirkonyum silikat, % 6 magnetite ve % 3 chromit içeren 11 numaralı numune olduğu görülmektedir. Aşınma miktarına göre, sürtünme katsayılarının 0,426 ile yüksek olduğu görülmektedir.
- En yüksek aşınma miktarı 0,51 gram ile bileşiminde % 3 silisyum karbür, % 4 zirkonyum oksit, % 2 zirkonyum silikat ve % 6 chromite içeren 8 numaralı numune olduğu görülmektedir. Sürtünme katsayısı yüksek olsada sürtünme-aşınma davranışı diğer numuneler ile karşılaştırıldığında istenilen seviyelerde görülmemektedir.
- En düşük sürtünme katsayısı 0,404 ile bileşiminde % 1,5 silisyum karbür, % 4 zirkonyum oksit, % 6 magnetite ve % 3 chromite içeren 10 numaralı numune olduğu görülmektedir. Sürtünme-aşınma performansına bakıldığında 13 numuneye göre düşük sürtünme katsayısı elde edilmiş olsa bile aşınma miktarı 0,45 gram ile orta seviyelerde görülmektedir.
- SEM görüntüleri incelendiğinde, test sonrası numunelerin hiçbirinde yüzeyi agrasif bir şekilde çizdiği görülmemektedir.

Design-Expert programında 'responce surface methodology' ile belirlenen formülasyonların çıktıları olan normal sürtünme katsayısı, sıcak sürtünme katsayısı ve aşınma miktarları Anova analiz yöntemi analiz edilerek optimizasyon çalışması yapılmıştır.

- Yüksek normal sürtünme katsayısı, yüksek sıcak sürtünme katsayısı ve düşük aşınma özelliklerine göre optimum kombinasyon %1,5 silisyum karbür, % 4 alumina, yaklaşık % 3,5 zirkonyum silikat ve yaklaşık % 6 chromite olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada 6 çeşit aşındırıcı malzemenin sabit bir baz formülasyon ile standart proses koşullarında hazırlanan numunelerini fiziksel ve performans açısından inceledik. Tek bir aşındırıcı malzeme kullanılmasındansa farklı aşındırıcı türlerinin farklı oranlarının kullanılmasının sürtünme malzemesinde değişikliklere, iyileştirmelere neden olduğu görüldü.

**KAYNAKÇA**

- Sathyamoorthy, G. & Vijay R. & Singaravelu, D. L.**, (2022), A Comparative Study On Tribological Characterisations Of Different Abrasives Based Non-Asbestos Brake Friction Composites, *Materials Today: Proceedings*, 56, 661-668.
- Ekingen, O.**, (2012), AĞIR TİCARİ TAŞITLARDA KULLANILAN KAMPANALI FRENLERDE FREN TİTREŞİMLERİ, Yüksek Lisans Tezi, 45.
- Akdoğan, K.**, (2020), ASBESTSİZ BAĞLAYICI İLE ÜRETİLEN FREN BALATALARINDA DEMİR CÜRUFU KULLANIMININ FRENLEME PERFORMANSINA ETKİSİ, Karabük Üniversitesi, 116.
- Öztürk, B.**, (2018), Aşındırıcı Türü Ve Boyutunun Otomotiv Fren Balatalarının Sürtünme-Aşınma Performansına Etkisi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.
- Ertan, R., ve Yavuz, N.** (2010). BALATA MALZEMELERİNDE KULLANILAN YAPISALLARIN BALATANIN TRİBOLOJİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 201.
- Akincioglu, G., Akincioglu, S., Öktem, H. ve Uygur, İ.** (2021). Brake Pad Performance Characteristic Assessment Methods. *International Journal Of Automotive Science And Technology*, 5(1), 67-78.
- Akincioglu, G., Akincioglu, S., Oktem, H., & Uygur, I.** (2018). Characterization Of Water And Oil Absorption Properties Of Organic Additive Brake Pad Samples. *Gazi Journal Of Engineering Sciences*, 4(1), 50-56.
- Aleksendrić, D., & Carlone, P. (2015). *Composite Materials – Modelling, Prediction And Optimization. İçinde Soft Computing İn The Design And Manufacturing Of Composite Materials (Ss. 61-289). Elsevier.*

- Vijay, R., Singaravelu, D. L., & Jayaganthan, R.** (2020). Development And Characterization Of Stainless Steel Fiber-Based Copper-Free Brake Liner Formulation: A Positive Solution For Steel Fiber Replacement. *Friction*, 8(2), 396-420.
- Yamabe, J.**, (2002), Development Of Disc Brake Rotors For Trucks With High Thermal Fatigue Strength. *JSAE Review*, 23(1), 105-112.
- Shin, M. W., Kim, Y. H., & Jang, H.** (2014), Effect Of The Abrasive Size On The Friction Effectiveness And Instability Of Brake Friction Materials: A Case Study With Zircon. *Tribology Letters*, 55(3), 371-379.
- Wilairat, T., Saechin, N., Buggakupta, W., & Sujaridworakun, P.** (2019), Effects Of Hot Molding Parameters On Physical And Mechanical Properties Of Brake Pads. *Key Engineering Materials*, 824, 59-66.
- Deepika, K., Reddy, C. B., & Reddy, D. R.** (2013), Fabrication And Performance Evaluation Of A Composite Material For Wear Resistance Application. *International Journal Of Engineering Science And Innovative Technology (IJESIT)*, 2(6), 66-71.
- Ertan, R.** (2008), FREN BALATA MALZEMELERİNİN OPTİMİZASYONU VE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN ANALİZİ, 144.
- Yurdakul, A. ve Baştürk, N.**, (2019), Fren Balatası Üretimi İçin Zirkonya Esaslı Yeni Kompozisyonların Geliştirilmesi. *Academic Platform Journal Of Engineering And Science*, 7(2), 274-284.
- Sugözü, B., ve Dağhan, B.**, (2018), Fren Sürtünme Malzemelerinde Aşındırıcıların (Alümina, Silika, Zirkon) Tribolojik Özellikleri. *Nevşehir Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 14-23.
- Day, A.** (2014), Friction And Friction Materials. İçinde Braking Of Road Vehicles (Ss. 9-34). Elsevier.
- Kim, S. S., Hwang, H. J., Shin, M. W., & Jang, H.** (2011), Friction And Vibration Of Automotive Brake Pads Containing Different Abrasive Particles, *Wear*, 271(7-8), 1194-1202.

- Akıncioğlu, G., Akıncioğlu, S., Uygur, İ., & Öktem, H.** (2019), INVESTIGATION OF THE FRICTION BEHAVIOR OF THE EFFECT OF BORON OXIDE POWDER USED AS AN ALTERNATIVE CONTRIBUTION BRAKE PAD. Journal Of Boron.
- Al-Kubati, A.** (2019), Kompozit Malzemeler,
- Filip, P., Weiss, Z., & Rafaja, D.** (2002), On Friction Layer Formation İn Polymer Matrix Composite Materials For Brake Applications, Wear, 252(3-4), 189-198.
- Sayar, E.,** (2022), ORGANİK ATIK ÜRÜNLERİN KOMPOZİT FREN BALATALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI, Tarsus Üniversitesi, 79.
- Topuz, P.,** (2018), Otomobil Disk Fren Balatalarının Deneysel Yöntemlerle Karakterizasyonu Ve Karşılaştırılması, Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 30(3), 241-248.
- Timur, M.** (2014), OTOMOTİV FREN BALATALARININ SÜRTÜNME SONUCU OLUŞAN AŞINMA DİRENCİNİN VE TERMAL ETKİLEŞİMİNİN OTOMATİK TEST SİSTEMİ İLE TESPİT EDİLMESİ, Trakya Üniversitesi, 197.
- Gümüş, E.,** (2012), OTOMOTİVDE KULLANILAN KOMPOZİT SÜRTÜNME Lİ FREN BALATALARINDA YERLİ UÇUCU KÜL KATKISININ BALATA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ, Yıldız Teknik Üniversitesi, 106.
- Ertan, R., ve Yavuz, N.** (T.Y.). POLİMER MATRİKSLİ FREN BALATA MALZEMELERİNİN KOMPOZİSYON VE ÜRETİM PARAMETRELERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ. Mühendis Ve Makina, 47(553).
- Dante, R. C.,** (2016), Production Processes For Organic Brake Pads. İçinde Handbook Of Friction Materials And Their Applications (Ss. 55-65). Elsevier.

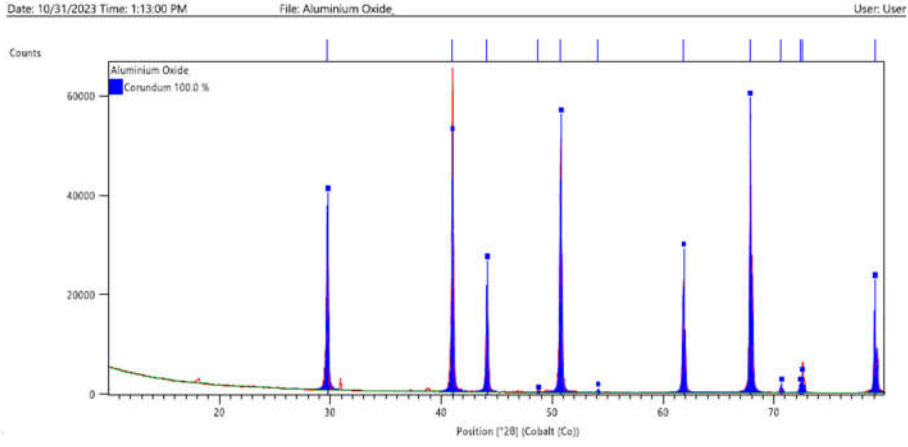
- Chan, D., & Stachowiak, G. W.** (2004). Review Of Automotive Brake Friction Materials, Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part D: Journal Of Automobile Engineering, 218(9), 953-966.
- Çalışkan, H.** (2023), TAŞIT FREN BALATALARINDA KATI YAĞLAYICI OLARAK GRAFİT, MOLİBDEN DİSÜLFİT VE BORON NİTRİT KULLANIMININ FRENLEME PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI, Mersin Üniversitesi.
- Prensibi, P.,** (2021), TAŞIT FREN SİSTEMLERİ TESTİ. BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ.
- Boz, M., ve Kurt, A.** (2013), TOZ METAL FREN BALATA MALZEMELERİNİN SÜRTÜNME-AŞINMA PERFORMANSI ÜZERİNE ÇİNKONUN ETKİSİ. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(1), Article 1.
- Kchaou, M., Sellami, A., Fajoui, J., Kus, R., Elleuch, R., & Jacquemin, F.** (2019), Tribological Performance Characterization Of Brake Friction Materials: What Test? What Coefficient Of Friction? Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part J: Journal Of Engineering Tribology, 233(1), 214-226.
- Kocabaş, İ.,** (2012), KOMPOZİT MALZEMELERİN FREN BALATALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN VE FRENLEME PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI, Fırat Üniversitesi, 158.

## ÖZGEÇMİŞ

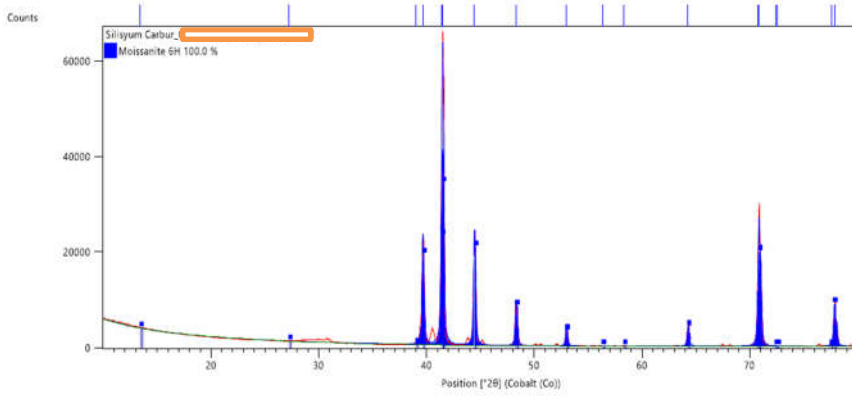


# EK AÇIKLAMALAR-A

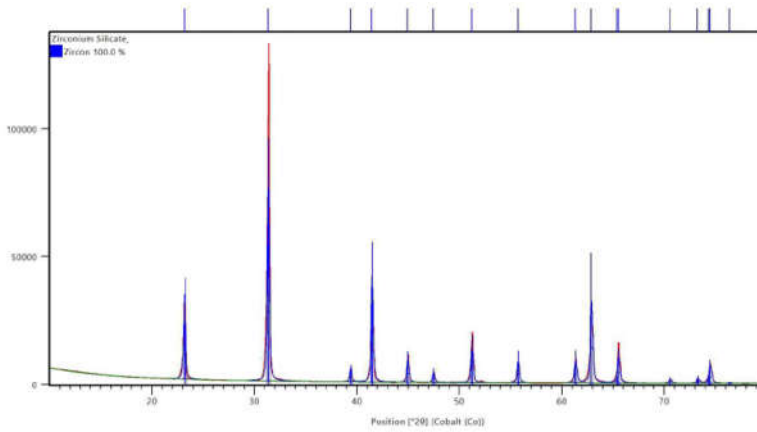
## Aşındırıcı Malzemelerin XRD Analiz Sonuçları



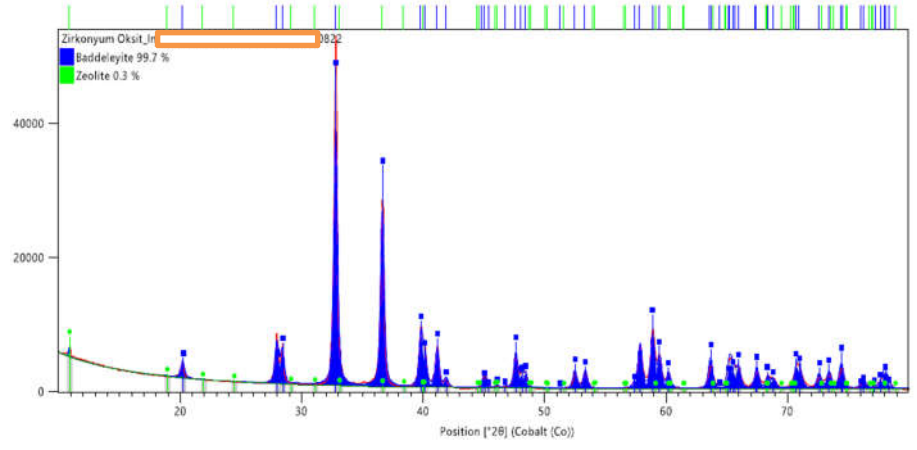
Şekil A1. Alumina XRD Analiz Sonucu



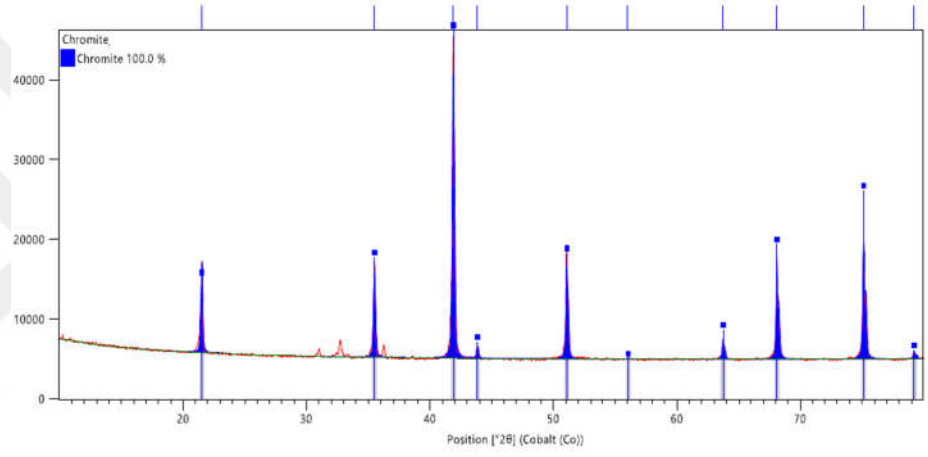
Şekil A2. Silisyum Kabür XRD Analiz Sonucu



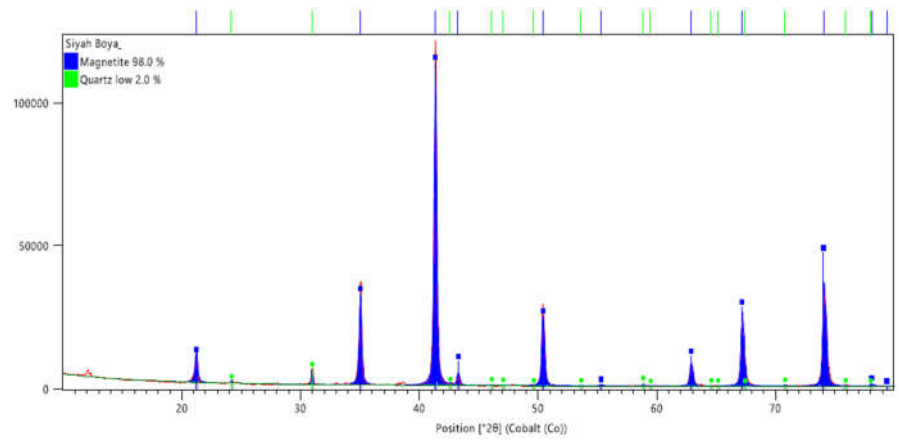
Şekil A3. Zirkonyum Silikat XRD Analiz Sonucu



Şekil A4. Zirkonyum Oksit XRD Analiz Sonucu



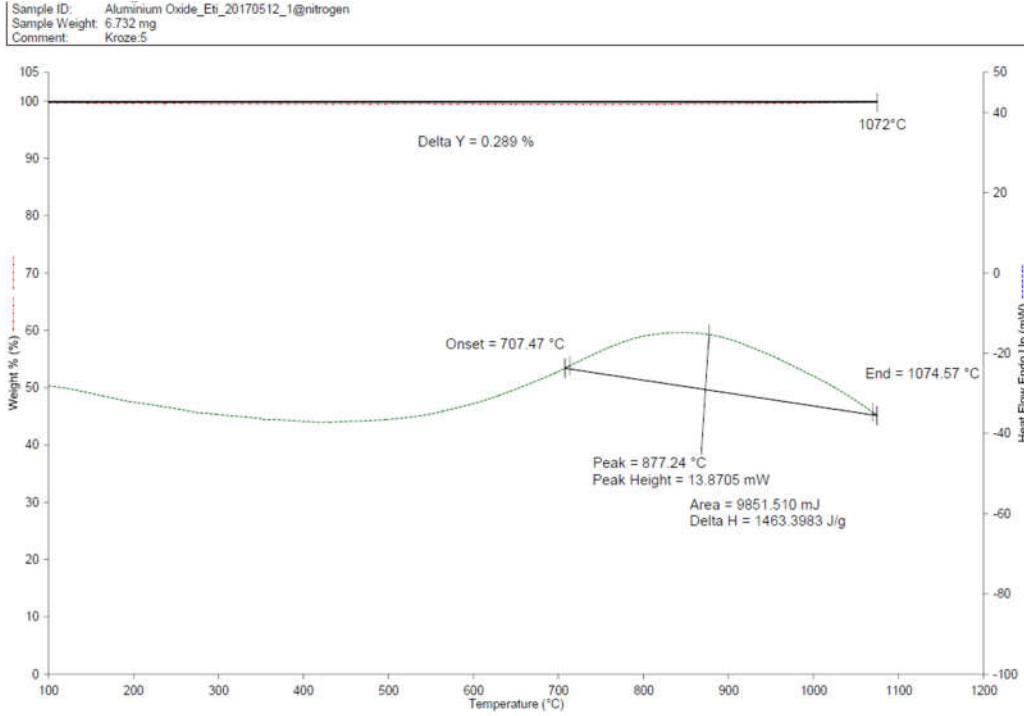
Şekil A5. Chromite XRD Analiz Sonucu



Şekil A6. Magnetite XRD Analiz Sonucu

## EK AÇIKLAMALAR-B

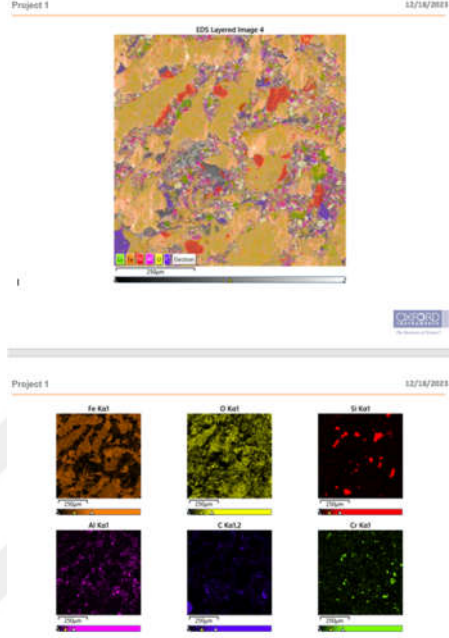
### Örnek Olarak Alumina TGA Analiz Sonucu



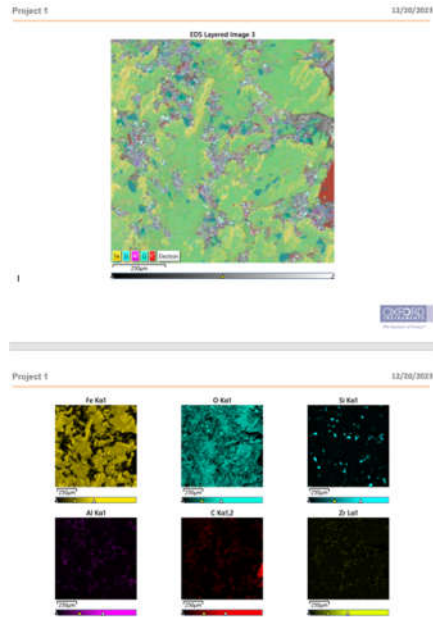
Şekil Ek B1. Alumina TGA Analiz Sonucu

## EK AÇIKLAMALAR-C

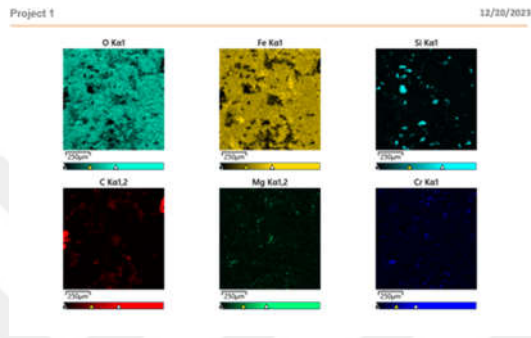
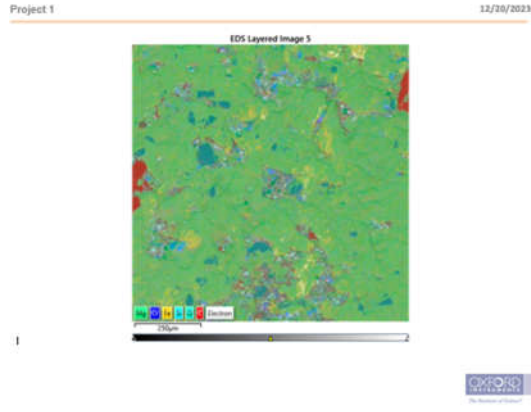
Chase Sürtünme-Aşınma Testi Sonrası Numunelerin SEM Görüntüleri



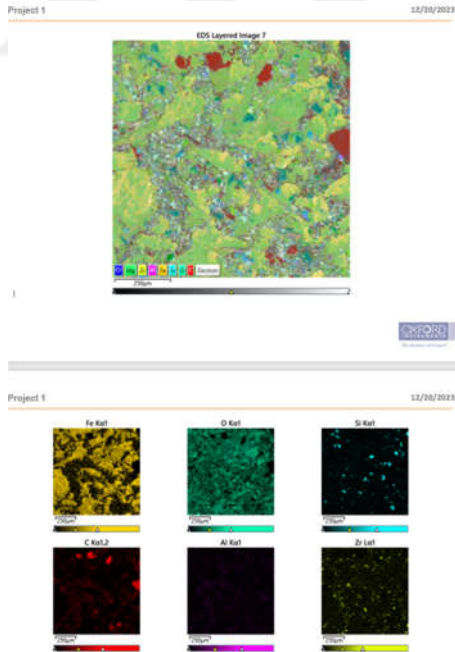
Şekil B1. Deneme 1-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



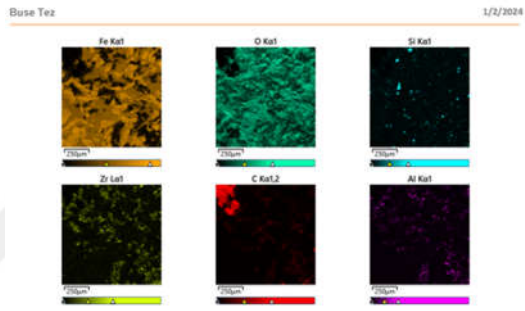
Şekil B2. Deneme 2-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



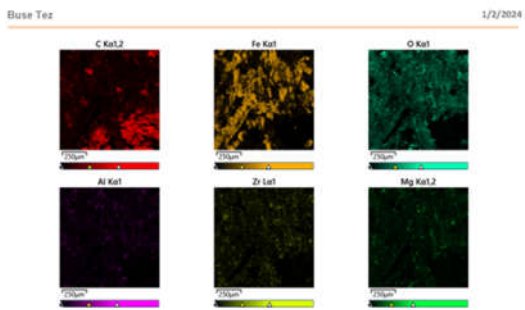
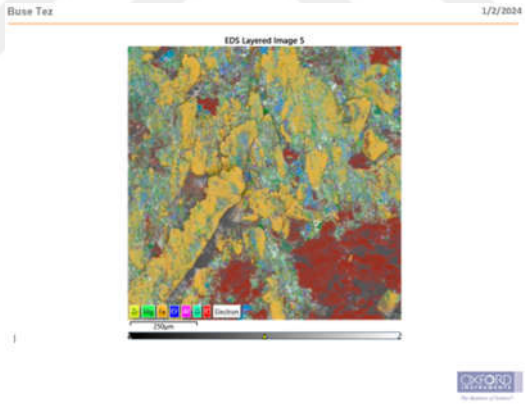
Şekil B3. Deneme 3-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



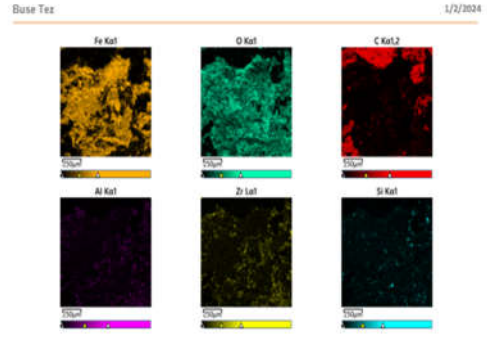
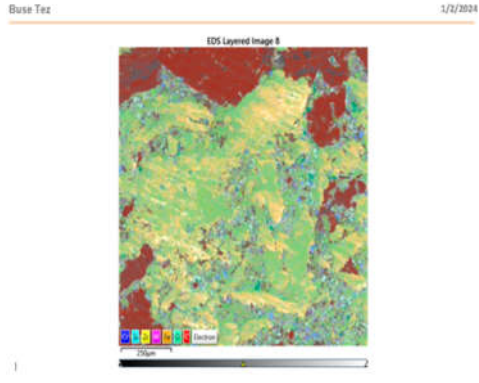
Şekil B4. Deneme 4-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



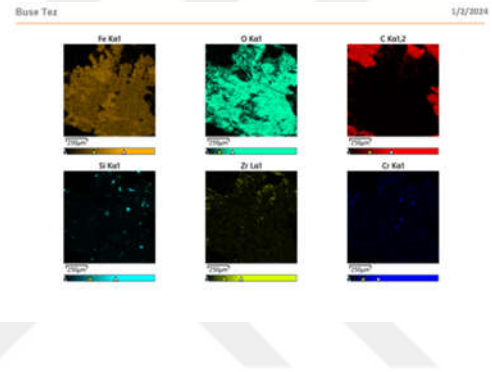
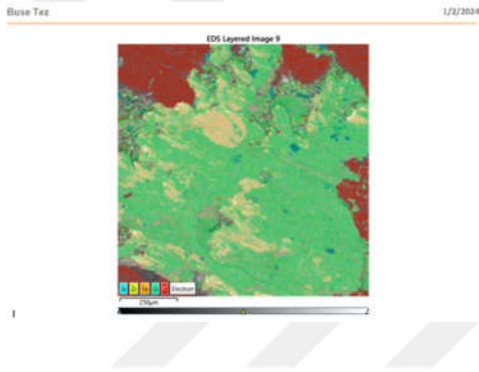
Şekil B5. Deneme 5-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



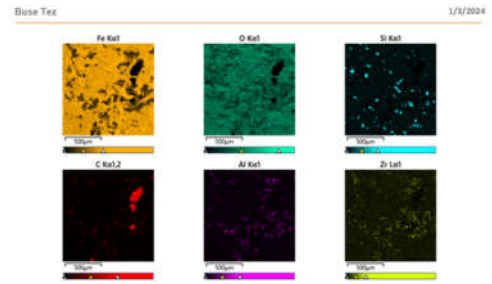
Şekil B6. Deneme 6-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



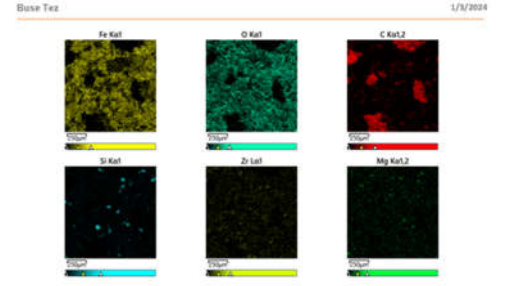
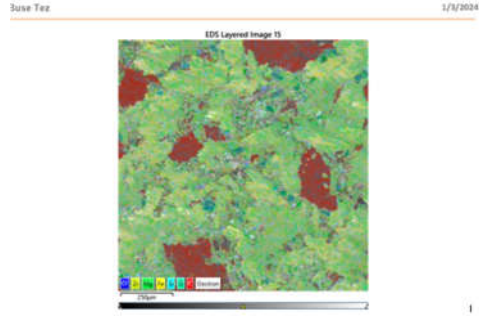
Şekil B7. Deneme 7-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



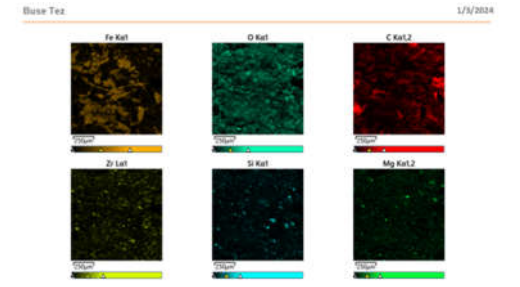
Şekil B8. Deneme 8-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



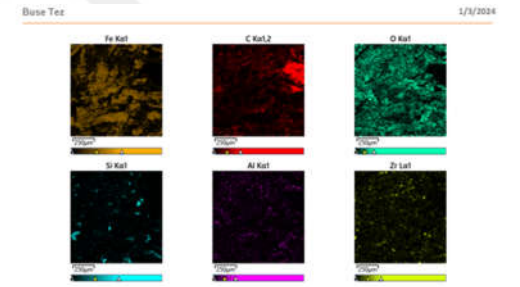
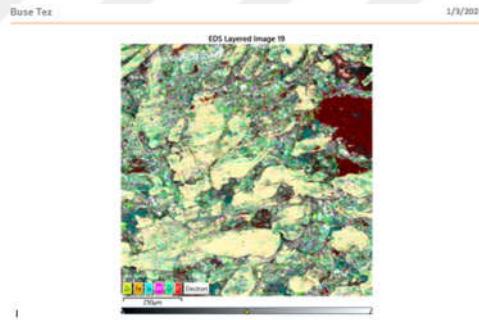
Şekil B9. Deneme 9-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



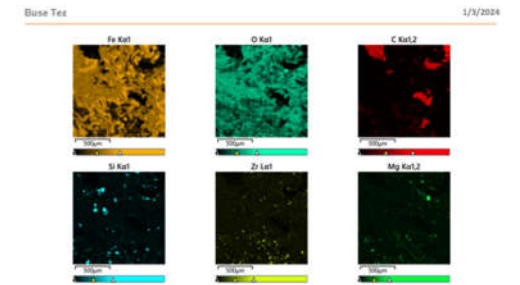
Şekil B10. Deneme 10-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



Şekil B11. Deneme 11-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



Şekil B12. Deneme 12-Chase Sonrası Sem Görüntüsü



Şekil B13. Deneme 13-Chase Sonrası Sem Görüntüsü