



**BALATA ÜRETİMİNDE BASINÇ DEĞİŞİM
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Ziya GÜVEN

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

İkinci Danışman

Dr. Hicri Yavuz

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BALATA ÜRETİMİNDE BASINÇ DEĞİŞİM ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ

Muhammet Ziya Güven

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

İkinci Danışman

Dr. Hicri YAVUZ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Muhammet Ziya GÜVEN tarafından hazırlanan “Balata Üretiminde Basınç Değişim Etkilerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 07/07/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Anabilim Dalı Adı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

İkinci Danışman : Dr. Hicri YAVUZ

Başkan : Prof. Dr. Recai KUŞ
Selçuk Üni. Teknoloji Fak

Üye : Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
Afyon Kocatepe Üni. Teknoloji Fak.

Üye : Dr. Öğrt. Üyesi Bülent DEMİR
Haliç Üni. MYO

Üye : Dr. Öğrt. Üyesi Ersan MERTGENÇ
Afyon Kocatepe Üni. MYO

Üye : Dr. Hicri YAVUZ
Afyon Kocatepe Üni. MYO

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

07/07/2023

Muhammet Ziya GÜVEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BALATA ÜRETİMİNDE BASINÇ DEĞİŞİM ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Muhammet Ziya GÜVEN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

İkinci Danışman: Dr. Hicri YAVUZ

Fren sistemleri, hareket halindeki aracı durdurmak veya yavaşlatmak için tasarlanan mekanizmalardır. Frenleme, kinetik enerjinin ısı enerjisine sürtünme yoluyla dönüştürülmesi sonucu oluşmaktadır. Günümüzde yaygın olarak binek araçların ön tekerleklerinde diskli, arka tekerleklerde ise kampanalı fren sistemi kullanılmaktadır. Yeni model binek araçlarda ve motosikletlerde ön ve arka olmak üzere tüm tekerleklerde diskli fren sistemi tercih edilmektedir. Bu çalışmada, farklı basınç parametrelerinde üretilen fren balatası numuneleri incelenmiştir. Çalışmadaki temel amaç, çevre şartlarına uygun materyaller ile TS555 (2019) standardında, farklı basınç parametrelerinde balata numuneleri üretilerek incelenmesidir. Balata numuneleri 15, 20, 25, 30, 35, 40 MPa basınçlarında 6 farklı numune geliştirilmiştir. Üretilen balata numunelerinde sürtünme katsayısı, aşınma oranı, yoğunluk, sertlik, SEM analizi ve diskte yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda balata numunelerinin sürtünme katsayısı ve aşınma oranları uygun bulunmuştur.

2023, .ix + 53 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fren Balatası, Sürtünme, Otomotiv, Basınç

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF PRESSURE CHANGE EFFECT IN BRAKE LINING PRODUCTION

Student Name SURNAME

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Co-Supervisor: Dr. Hicri YAVUZ

Brake systems are the mechanism designed to stop or slow down a moving vehicle. Braking is the result of the conversion of kinetic energy into heat energy by friction. Today, disc brake system is used on the front wheels of passenger cars and drum brake system is used on the rear wheels. Disc brake system is preferred on all wheels, front and rear, in new model passenger cars and motorcycles. In this research, brake pad samples produced by powder metallurgy at different pressure parameters were examined. The main purpose of the study is to produce and examine lining samples in different pressure parameters in accordance with the TS555 (2019) standard with materials suitable for environmental conditions. Lining samples 6 different samples were produced at 15, 20, 25, 30, 35, 40 MPa pressures. Wear, density, hardness, surface roughness, friction test and SEM analysis were performed on the produced lining samples. The friction coefficient and wear rates of the lining samples produced as a result of the experiments were found to be appropriate.

2023, ix + 53 pages

Keywords: Brake lining, Friction, Automotive, Pressure

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN, araştırma, uygulama ve test aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Hicri YAVUZ'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme ve Eşim Tuğçe GÜVEN'e teşekkür ederim.

Muhammet Ziya GÜVEN

Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	i
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Fren Sistemleri.....	2
1.1.1 Diskli Fren Sistemleri	2
1.1.1.1 Diskli Fren Sistemi Çalışma Prensibi.....	3
1.1.2 Kampanalı Fren Sistemi	4
1.1.2.1 Kampanalı Fren Sistemi Çalışma Prensibi	5
1.2 Balatalar	6
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	8
3. MATERYAL ve METOT	16
3.1 Numune Üretimi	16
3.1.1 Numune İçeriği.....	16
3.1.1.1 Dolgu Malzemesi	17
3.1.1.2 Bağlayıcı Malzeme.....	18
3.1.1.3 Yağlayıcı Malzeme.....	19
3.1.1.4 Takviye Edici	19
3.1.1.5 Sürtünme Düzenleyici	20
3.1.2 Üretim Prosesi	22
3.1.2.1 Numune İçeriğinin Hazırlanması	23
3.1.2.2 Kurlleme	23
3.2 Numune Üretiminde Kullanılan Cihazlar	25
3.2.1 Hassas Terazî	25
3.2.2 Mekanik Karıştırıcı	26

3.2.3 Hidrolik Pres ve Kalıplar	26
3.3 Test için kullanılan Cihazlar	28
3.3.1 Sertlik Ölçüm Cihazı.....	28
3.3.2 Fren Balata Tez Cihazı.....	29
3.3.3 Yoğunluk Ölçüm Yöntemi.....	32
3.3.4 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı	33
3.3.5 Karbon Kaplama Cihazı.....	34
3.3.6 SEM Analiz Cihazı	35
4. BULGULAR	36
4.1 Yoğunluk	36
4.2 Sürtünme Katsayısı	36
4.3 Aşınma Oranı Değerleri.....	41
4.4 Disk Pürüzlülük Sonuçları	42
4.5 Sertlik Sonuçları	43
4.6 SEM	44
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	46
5.1 Sonuçlar	46
5.2 Öneriler	47
6. KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	53

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
°	Derece
°C	Santigrat Derece
μ	Sürtünme Katsayısı
μ_m	Maksimum sürtünme katsayısı
μ_o	Ortalama sürtünme katsayısı
d	Aşınan malzemenin yoğunluğu
dH ₂ O	Distile su
F	Deney numunesine uygulanan basma kuvveti
f	Dinamometrede okunan sürtünme kuvveti
g	Gram
km/h	Kilometre / Saat
kW	Kilowatt
M	Yükleme ağırlığı
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
N	Newton
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
Rz	Maksimum yüzey pürüzlülük değeri
S	Kayma mesafesi
SK	Sürtünme katsayısı kararlılığı
Wa	Aşınma oranı
ΔG	Ağırlık kaybı
ρ_b	Balata numunesinin yoğunluğu
g_h	Balata numunesinin havadaki ağırlığı
g_s	Balata numunesinin sudaki ağırlığı
ρ_s	Saf suyun yoğunluğu

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASMT	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (American Society for Testing and Materials)
KX-12	%12 oranında Kolemanit ve Boraks malzemesine sahip balata numunesi
KX-4	%4 oranında Kolemanit ve Boraks malzemesine sahip balata numunesi
PLC	Programlanabilir mantıksal denetleyici (Programmable Logic Controller)
SAE	Amerikan otomotiv mühendisleri birliği (Society of Automobile Engineers)
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
ÜB4	%4 oranında Üleksit ve Baroks malzemesine sahip balata numunesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Diskli fren sistemi	3
Şekil 1.2 Diskli fren sistemi çalışma prensibi	4
Şekil 1.3 Kampanalı fren sistemi	5
Şekil 1.4 Kampanalı fren sistemi çalışma prensibi	6
Şekil 3.1 Üretim proses adımları	23
Şekil 3.2 Presleme prosesinde sıcaklık-süre grafiği	24
Şekil 4.1 Sürtünme test sonucu yoğunluk değerleri	36
Şekil 4.2 15 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği ...	37
Şekil 4.3 20 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği ...	38
Şekil 4.4 25 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği ...	38
Şekil 4.5 30 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği ...	39
Şekil 4.6 35 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği ...	39
Şekil 4.7 40 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği ...	40
Şekil 4.8 Test öncesi ve sonrası Ra değerleri	42
Şekil 4.9 Test öncesi ve sonrası Rz değerleri	43
Şekil 4.10 Shore D sertlik ölçüm sonuçları	44
Şekil 4.11 a) 15 MPa, b) 20 MPa, c)25 MPa, d)30 MPa, e)35 MPa, f)40 MPa basınç altında üretilmiş balata numunelerin SEM görüntüleri	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Literatürde çeşitli malzemeler ile yapılan bazı çalışma örnekleri.....	8
Çizelge 3.1 Numune içeriğinde bulunana malzemeler ve kullanım oranları	16
Çizelge 3.2 Kalsit kimyasal özellikleri ve görünümü	17
Çizelge 3.3 Fenolik reçine yapısal özellikler ve görünümü	18
Çizelge 3.4 Grafit yapısal özellikler ve görünümü	19
Çizelge 3.5 Alümina kimyasal özellikleri ve görünümü	21
Çizelge 3.6 Andezit kimyasal özellikleri ve görünümü	22
Çizelge 3.6 Fren balata test cihazı özellikleri	31
Çizelge 3.7 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı teknik özellikleri	33
Çizelge 4.1 Ortalama sürtünme katsayısı, kararlılık ve standart sapma sonuçları	40
Çizelge 4.2 Aşınma oranı değerleri	41

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 Örnek fren diski balatası	7
Resim 3.1 Çelik elyaf tozu görünümü	20
Resim 3.2 Cashew görünümü	21
Resim 3.3 Sıcak presleme sonrası balata numunesi	25
Resim 3.4 Hassas terazi.....	25
Resim 3.5 Mekanik karıştırıcı	26
Resim 3.6 Hidrolik kollu pres	27
Resim 3.7 Kalıp tasarımı(a) ve uygulama görünümü(b).....	28
Resim 3.8 Sertlik ölçüm cihazı	29
Resim 3.9 Fren balata test cihazı tasarım görünümü	31
Resim 3.10 Yoğunluk ölçüm düzeneği	32
Resim 3.11 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı	34
Resim 3.12 Karbon kaplama cihazı	34
Resim 3.13 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analiz cihazı.....	35
Resim 4.1 Fren balata numunesi sertlik ölçüm noktaları.....	43

1. GİRİŞ

21. yüzyıl ile beraber taşıtlardaki teknolojik gelişmeler ile motor gücü, ivmelenme ve hareket hızları artmıştır. İnsan ihtiyaçlarını karşılamak üzere otomotiv sektöründe gelişmeler devam etmektedir.

Tekerleğin icadınının temel sebeplerinden olan cisimlerin veya insanların bir yerden başka bir yere hareket ettirme isteği günümüz taşıt hareketlerine ve yapısal değişikliklere evrilmiştir. Tasarlanan ilk taşıtlarda itme veya hayvanlar tarafından çekme kuvveti uygulanarak hareket sağlanmıştır. Daha sonraki buluşlar ile buhar kazanlı, içten yanmalı ve elektrik motorlu araçlar geliştirilmiştir. Günümüzdeki binek araçlar artık çok kısa sürede yüksek hızlara veya ağır yük taşımak üzere tasarlanan ağır vasıta araçlarının yüksek tonajda hareket sağlayabilmesi için yeterli tork gücü elde edilebilmektedir.

Yüksek hızlara olanak sağlayan teknolojik gelişimleri güvenli olarak kontrol edilebilmesi için ihtiyaç olan yardımcı organların en önemlisi fren sistemidir. Sürtünme kuvveti uygulayarak durdurma veya yavaşlatma görevini üstlenen ana fren parçaları balatalar ve disklerdir. Frenleme esnasında oluşan ısı enerjisi frenleme kuvvetini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle frenleme esnasında en yüksek verimi elde edebilmek için balata içeriği ve üretim parametresi üzerine birçok çalışma yapılmış olup balata, disk ve diğer bağlantı parçalarının üretim parametresi, malzeme seçimine olumlu katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, altı farklı basınç değerlerine sahip numune üretimi yapılmıştır. Numune içerikleri hazırlanırken içeriğindeki hammaddelerin insan hayatına ve çevreye zararsız olmasına dikkat edilmiştir. Deney yöntemleri TS555 (2019) standardına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Fren sürtünme malzemelerinin sürtünme ve aşınma davranışlarına ilişkin araştırmaların, sürtünmeyi kontrol etmek, aşınmayı azaltmak, sürtünme malzemeleri geliştirmek ve frenleme güvenilirliğini artırmak için önemli olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle son yıllarda bu alanda çok sayıda araştırma yapılmıştır (Xiao vd. 2016).

1.1 Fren Sistemleri

Hareket halindeki aracı durdurmak veya yavaşlatmak için tasarlanan sistemdir. Frenleme, kinetik enerjinin ısı enerjisine sürtünme yoluyla dönüştürülmesi sonucu oluşmaktadır. Balata, disk, kaliper ve hidrolik vb. parçalar fren sistemini oluşturan en temel parçalardır. Günümüzde yaygın olarak binek araçlarda ön tekerleklerde diskli fren sistemleri, arka tekerleklerde ise kampanalı fren sistemi kullanılmaktadır. Yeni model binek araçlarda ve motosikletlerde ön ve arka olmak üzere tüm tekerleklerde diskli fren sistemi tercih edilmektedir. Yapılan birçok çalışmada fren sisteminde kullanılan fren balatalarının tribolojik özellikleri, malzeme içeriği, kullanım ömrü ve üretim yöntemleri incelenmiştir.

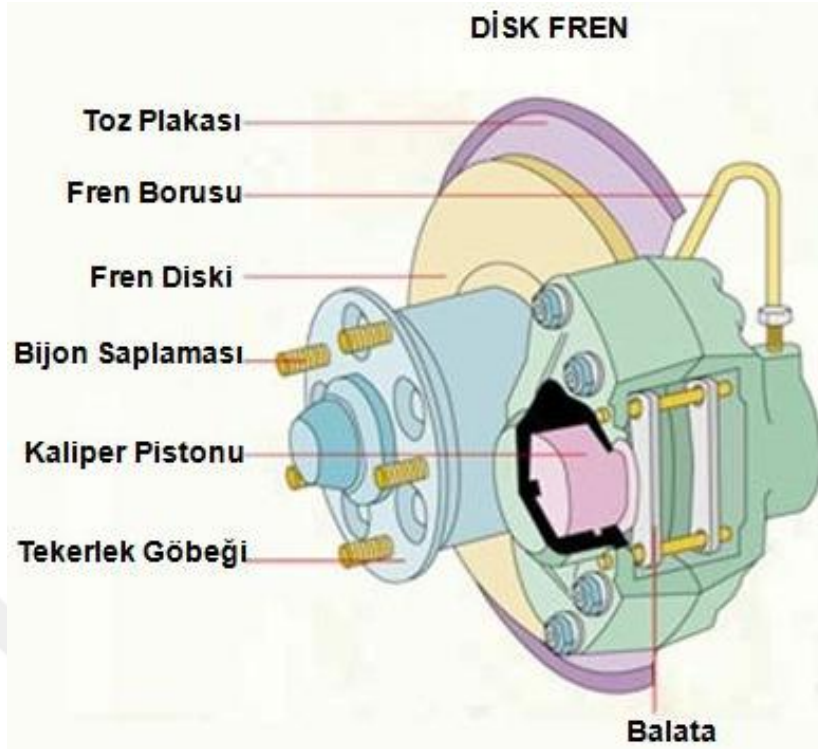
1.1.1 Diskli Fren Sistemi

Diskli fren sistemleri, araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürücü tarafından ayak pedalı ile baskı uygulanarak frenleme yapılır. Hidrolik basınç sistemi ile desteklendiği için uygulanan kuvvetten daha yüksek bir basınç elde edilmektedir. Diskli fren sistemine örnek olarak Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

Taşıtlarda tercih edilen fren sistemleri değişmiş olup, ön tekerleklerde kullanılan diskli fren sistemleri, uzun seneler arka tekerleklerde kullanılan kampanalı sistem yerine kullanılmaya başlanmıştır. Diskli fren sistemi, havalandırma kanallarına sahip olduğu için kısa sürede soğumaktadır. Bu nedenle, diğer fren sistemlerine göre diskli fren sistemi daha fazla tercih edilmektedir (Rashid 2014).

Diskli fren sistemi parçaları,

- Balata
- Kaliper
- Kaliper Pistonu
- Fren diski
- Fren hidrolik borusu
- Toz koruma plakası

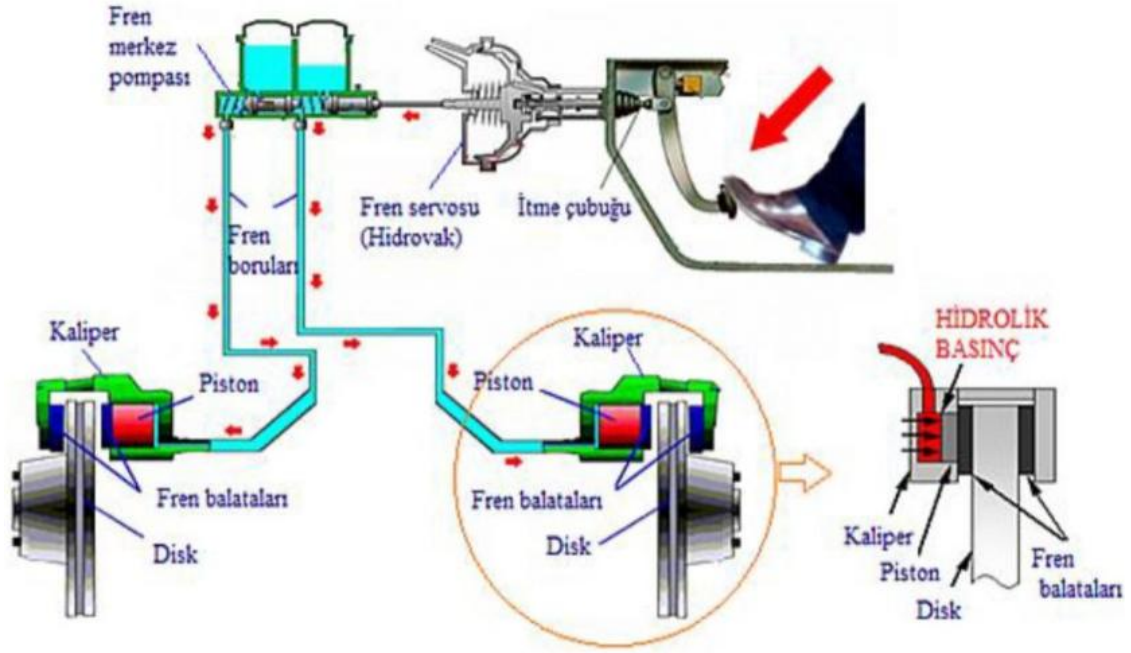


Şekil 1.1 Diskli fren sistemi (İnt.Kyn.1).

1.1.1.1 Diskli Fren Sistemi Çalışma Prensibi

Fren pedalına uygulanan kuvvet sonrasında itme çubuğu fren servosuna kuvvet aktarımı gerçekleşir. Oluşan basınç kuvveti ile fren merkez pompasına baskı uygulanır ve fren borularından basınçlı akış gerçekleşir. Fren kaliper içerisinde bulunan pistonu hidrolik basınç uygulanır, piston üzerine sabitlenmiş fren balatası hareket etmekte olan fren diskine mekanik kuvvet uygulamaktadır (Şekil 1.2).

Sistem temel olarak Pascal prensibine dayanmaktadır. Mekanik olarak uygulanan kuvvet önce hidrolik basıncına dönüşmektedir. Sonrasında ise mekanik kuvvete dönüştürülerek fren diskine sürtünme kuvveti uygulanmaktadır.



Şekil 1.2 Diskli fren sistemi çalışma prensibi (İnt.Kyn.2).

Diskli Fren Sisteminin Avantajları

- Dengeli frenleme yapılması mümkündür.
- Kontrol ve parça değişimi kolaydır.
- Kampanalı fren sistemine göre daha hafiftir.
- Açık ortamda çalışması sayesinde kolay ve hızlı soğuyabilmektedir. Ek olarak, frenleme sonucu oluşan parçaların kolay dışarı atılması.

Diskli Fren Sisteminin Dezavantajları

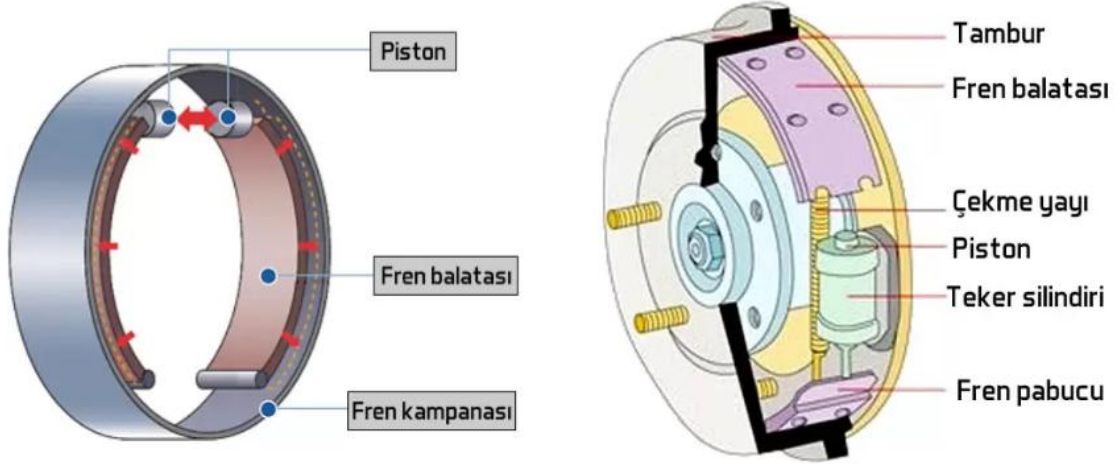
- Diskli frenlerde el freni kullanımı normale göre karışık bir yapıya sahiptir.
- Kampanalı fren sistemine göre daha sık balata değişim ihtiyacı oluşur.
- Kampanalı fren sistemlerine göre maliyet daha yüksektir.

1.1.2 Kampanalı Fren Sistemi

Diskli fren sistemine göre daha eski bir sistemdir. Günümüzde halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Hafif ve ağır ticari araçlarda tercih edilir. Maliyet olarak diğer fren sistemlerine göre oldukça avantajlı bir sistemdir. Kampana fren sistemine ait parçalar Resim 1.3.'te gösterilmiştir.

Kampanalı Fren Sistemi Parçaları;

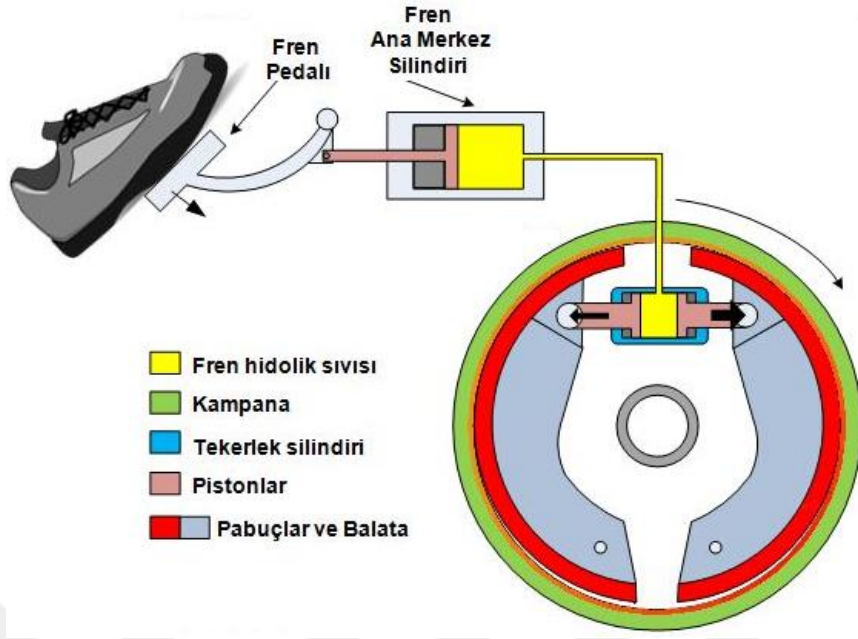
- Kampana
- Tekerlek Fren Silindiri
- Fren Pabuçları
- Fren Balataları
- Geri Getirme Yayları



Şekil 1.3 Kampanalı fren sistemi (İnt.Kyn.3).

1.1.2.1 Kampanalı Fren Sistemi Çalışma Prensibi

Frenleme esnasından fren pedalına uygulanan kuvvet sonucu fren merkezinde basınç meydana gelmektedir. Fren merkezinin içerisinde bulunan hidrolik sıvı sıkışır ve hidrolik borulardan kampana tekerlek silindirine ulaşmaktadır. Tekerlek silindiri içerisinde oluşan basınç pistonları dışa doğru itmektedir. Burada oluşan kuvvet sonucunda fren pabucuna sabitlenmiş fren balatası tambura baskı uygulayarak tekerlek hareketine mekanik enerji uygulamaktadır. Sürtünme sonucu oluşan mekanik enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Frenleme kuvveti serbest bırakıldığında fren pabucu arkasında bulunan çekme yayları pabucu geri çekerek frenleme işlemini durdurur ve frenleme süreci tamamlanmaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Kampanalı fren sistemi çalışma prensibi (İnt.Kyn.4).

Kampanalı Fren Sisteminin Avantajları

- Uygun maliyet
- Az parçadan oluşan basit sistem
- Uzun kullanım ömrü
- Diskli fren sistemine göre fren uygulaması için daha az kuvvete ihtiyaç vardır

Kampanalı Fren Sisteminin Dezavantajları

- Kapalı sistem içerisinde çalışma gerçekleştiği için aşınan parçacıklar sistem içerisinde kalmaktadır. Temizlik ihtiyacı göstermektedir.
- Yüksek ısı ve sürtünme nedeniyle aşınma oranı artmakta, kullanım ömrü azalmaktadır.
- Sürtünme sonucu oluşan ısı dağılımı oldukça zayıftır.
- Parça sayısının fazla olması nedeniyle arızalanma olasılığı oldukça yüksektir.

1.2 Balatalar

Hareket halindeki tekerleklerin yavaşlatılması veya durdurulması için kullanılan fren sistemin temel parçalarından biri balatalardır. Diskli fren sistemlerinde, hidrolik

borulardan gelen basınçlı hidrolik sıvısının oluşturduğu kuvvet sonucunda pistonlar balatayı hareketli disk yüzeyine hareket ettirir ve sürtünme gerçekleşir. Sürtünme sonucu mekanik enerji ısı enerjisine dönüşmektedir.

Balataların frenleme sonucundaki aşınmasından dolayı endüstride talep miktarı oldukça fazladır. Bu nedenle, otomotiv piyasasında çok sayıda balata üreticisi vardır. Üretici sayısının artması ve taleplerin farklılıklarından dolayı ürün çeşitliliği her geçen gün artmaktadır. Klasik binek araçlarda metal balata tipi tercih edilirken spor araçlarında ise seramik balata tercih edilmektedir. Bu durumun temel sebebi ise balataların kullanım alanına göre ısınma/soğuma hızı, aşınma miktarı ve frenleme verimine göre tercih edilmesidir.

Balatalar üzerinde bulunan yarıklar ne kadar kullanım ömrünün kaldığını göstermesi ve frenleme esnasında kopan küçük parçaların kolaylıkla dışarı atışması içindir. (Resim 1.1) Ek olarak, balataların soğuma hızına olumlu katkı sağlamaktadır.



Resim 1.1 Örnek fren diski balatası (İnt.Kyn.5).

Balatalardan beklenen temel özellikler,

- Yüksek ısılara dayanıklı olmalıdır.
- Disk yapısını gözeterek aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır, kullanım ömrü uzun olmalıdır.
- Sürtünme sonucunda olumsuz ses çıkarmamalıdır.
- Olumsuz hava şartlarında su, toz, çevre kirliliği gibi etkenlere dayanıklı olmalıdır.
- Mukavemetin yüksek olması

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Fren mekanizmasının en temel parçalarından biri olan balatalar üzerine ulusal ve uluslararası akademik çalışmalar yapılmıştır. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda aşınma, sürtünme, malzeme içeriği, geometrik yapısı, numune üzerindeki ısı dağılımı ve bu özellikleri etkileyen faktörler vb. incelenmiştir. Çizelge 2.1’de literatürde çeşitli malzemeler ile yapılan çalışmalar gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Literatürde çeşitli malzemeler ile yapılan bazı çalışma örnekleri.

Kimyasal	Literatür
Üleksit ve baroks	(Sugözü 2018)
Karbon Fiber	(Malak vd. 2015)
Maun Cevizi	(Sugözü 2015)
Mermer	(Timur ve Mutlu 2013)
Andezit	(Ergün 2009)
Deniz salyangozu kabuğu	(Yawas vd. 2013)
Hurma çekirdeği, nil gülü buğday tozu	(Pujari ve Srikian 2019)

Sarıışık ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, hızla gelişen nüfus artışının sonucunda teknolojik gelişmeler ile beraber endüstriyel olarak yeni malzeme arayışına girilmiştir. Bu araştırmasında endüstriyel olarak ihtiyaç olan diğer ürünleri karşılaştırmıştır. Ankara ve Afyon illerinde yoğun olarak bulunan andezit, geçmişte medrese, camii, kilise, köprü, kervansaray gibi yapıların dışını kaplamak üzere kullanılmıştır. Günümüz sık karşılaşılmaya da birçok dekor parçaların içeriğinde kullanılmıştır. 1000, 1160, 1200 °C sıcaklığında denemeler yapılmıştır. Deneyler sırasında andezit malzemesi ile daima ek bir malzeme daha olmuştur. Bunlar; döküm kili, akas kili, kırmızı kil, yıkanmış Uşak kaolini malzemeleri ile ayrı ayrı karışımlar oluşturularak deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda, zengin görsel etkisi ve alternatif hammadde değerlendirmesinde dikkate alınması herhangi soruna yol açmayacağı tespit edilmiştir (Sarıışık vd. 2009).

Yavuz ve Bayrakçeken, huntit, cam elyaf, kaolin, grafit, fenolik reçine ve lastik

tozundan oluşan balata numunelerini 40 MPa basınç altında, 150 °C sıcaklık 15 dakika sıcak presleme ile üretmişlerdir. 8 mm kalınlık, 25,4 mm çapına sahip 10 farklı huntite içerik oranına sahip balata numuneleri üzerinde tribolojik çalışmalar yapmışlardır. Sürtünme testi, aşınma ve pürüzlülük ölçümleri uygulamışlardır. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek sürtünme katsayısı A45, minimum aşınma oranı A10 ve minimum pürüzlülük değeri A25 numunelerinde elde etmişlerdir (Yavuz ve Bayrakçeken 2022).

Boz tarafından yapılan çalışmada toz metalurjisi yöntemi ile üretilen seramik takviyeli balata numuneleri deney sonucu 350 MPa basıncında ve sinterleme sıcaklığı 820 °C olarak gözlemlenmiştir. Seramik miktarı arttıkça numunelerin yoğunluğunda düşüş tespit edilmiştir. Sinterleme aşamasında numune içerisinde bulunan kurşun malzemesi boşluklara yerleşerek numunelerin hacimsel alanın küçülmesine olumsuz katkı sağlamıştır. Deneye tabi tutulan tüm numuneler SAE-J661 şartlarına göre uygunluk almıştır (Boz 2003).

Kurt ve Boz tarafından yapılan çalışmada sürtünme düzenleyici olarak bronz malzemesini kullanmışlardır. Bronz malzemesinin yoğunluk değerini artırması ile beraber aşınmanın azaldığı gözlemlenmiştir. Numune içeriğinde bulunan kalay miktarının artırılması durumunda sürtünme katsayısında artış olduğu tespit etmişlerdir (Kurt ve Boz 2004).

Albayrak çalışmada, bronz katkılı balata numuneleri üreterek sürtünme-aşınma testine tabi tutmuştur. Çalışmada, en verimli sürtünme-aşınma değerleri 500 MPa presleme altında, 800°C olduğu belirlenmiştir. Üretilen tüm numunelerden sürtünme deneyleri sonucu sürtünme katsayısı 0,05-0,35 arasında elde edilmiştir. Balata içeriğinde bulunan grafit miktarı arttıkça sürtünme katsayısı değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Üretilen numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucu başarı ile sonuçlanmıştır (Albayrak 2009).

Yawas tarafından yapılan çalışmada, fren balatalarında sık sık kullanılan asbest malzemesinin yerine deniz salyangozu kabuğu kullanılması üzere araştırma yapmıştır. Deniz salyangozu kabuğunu 125 µm tanecik büyüklüğünde, içeriğinde %35 reçine bulunan balata içeriğinde asbest yerine kullanmıştır. Aşınma ve sürtünme testi

sonucunda aşınma hızında düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Sürtünme testi sonucu fren balatası kullanım koşullarına uygun olarak tespit edilmiştir. Deniz salyangozu kabuğu, insan sağlığı için sağlıksız olan asbest yerine kullanılabilceği, 125 µm tanecik boyutunda en iyi sonuç alındığı gözlemlenmiştir (Yawas vd. 2013).

Timur ve Kılıç, mermer atıklarını kullanarak üretilen balatalarda sürtünme katsayısını farklı balatalar ile karşılaştırması üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Anadolu'da yaygın olarak kullanılan mermer malzemesinin belirli işlemler sonrasında katkı malzemesi olabilmesi için kullanılabilcek tanecik boyutuna getirilmiştir. Numunelerde barit yerine dolgu maddesi olarak mermer tozu kullanılmıştır. TS555 (1992) standardına göre test ve deney işlemleri uygulanmıştır. Sürtünme-aşınma testleri sonucunda mermer tozu katkılı balata numunesinden 0,30-0,53 sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Bu bulgular TS555 (1992) standardına göre kullanıma uygun olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, mermer tozları balatalarda dolgu maddesi olarak kullanıma elverişli olduğunu bildirmişlerdir (Timur ve Kılıç 2013).

Timur ve Kuşçu, dört farklı balata numunesinde 300 saniye frenleme sonucu oluşan sıcaklık dağılım ve gerilimini araştırmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek sıcaklık değeri balatanın diske temas eden yüzeyinde tespit edilmiştir. Aşınma oranı arttıkça sıcaklık değerinin arttığı, deformasyonun azaldığı gözlemlenmiştir. Gerilimin en fazla olduğu nokta ise balata sabitleme köşelerinin olduğu elde edilen bulgular arasındadır (Timur ve Kuşçu 2014).

Öktem ve ark, yeni bir balata içeriğine sahip malzeme arayışı üzerine çalışma yapmışlardır. Piyasa kolaylıkla bulunabilen ve düşük maliyete sahip petrokok tozu ile balata numuneleri üretimi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan simülasyonlar ve fiziki deneyler sonuçları ticari fren balataları ile karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda petrokok katkılı numunelerde dengeleyici sürtünme katsayısına sahip olduğunu, özgül aşınma oranlarında iyileşmelerin olduğunu gözlemlemişlerdir (Öktem vd. 2021).

Güney ve Mutlu, AB ve ABD'de uygulanan frenleme standartlarında incelemesi sonucu, dinamik teknolojik gelişmelerin ardından disk/kampana ve disk malzemelerinin

belirli bir standart çerçevesinde değerlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Araç güvenliğinde önemli bir rol oynayan fren sisteminin yüksek standartlarda testlere tabi tutulması gerekmektedir. Araçların kullanım ve çevre koşullarına göre testlerin uygulanması ile fren sistemlerinde standarda uyulması amaçlanmıştır. Böylece standartlar çerçevesinde değerlendirilen fren sistemi parçalarının üretim yöntemlerine doğrudan etki etmiştir (Güney ve Mutlu 2015).

Erdem ve Altıparmak, fren disk sıcaklığının frenleme performansına etkisi incelemiştir. İncelemede aracın frenleme esnasında oluşan sıcaklık değerinin kayma mesafesini tespit etmişlerdir. Bu sayede araçların kullanım koşullarına göre balata tasarımına olumlu katkıları olmuştur. 80km/h hızla ve maksimum pedal basınç kuvveti ile frenleme sonucu 63°C sıcaklığındaki diskler 44,9 metre, 298°C sıcaklığında disk ise 52,71 metre mesafesinde durmuştur. Deneyle sonuçunda disk sıcaklığındaki artışın frenleme performansını olumsuz olarak etkilediğini tespit etmişlerdir. İniş rampasında servis freni kullanılması fren sisteminde sıcaklığı artıracağı için iniş rampasında kullanılması tavsiye edilmemektedir. Retarder, motor freni gibi ikincil fren sistemlerin kullanılmasını, frenlemeyi pozitif olarak etkileyeceğini bildirmişlerdir (Erdem ve Altıparmak 2014).

Mavi, taşıt frenlerinde sıcaklık etkisine bağlı olarak fren kuvveti değişiminin deneysel olarak incelenmesinde, 60, 80, 100 km/h disk hızlarında ve farklı fren basınçlarında denemeler yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda sürtünme devam ederken diskin 150 °C sıcaklık değerinde en iyi frenleme kuvveti elde edilmiştir. Sıcaklık yükseldikçe frenleme kuvvetinde azalma meydana gelmiştir. Yüksek devirlerde kayma hızı yüksek olmasından dolayı en yüksek fren kuvveti verimi düşük devirlerde elde edilmiştir (Mavi 2014).

Malak ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, karbon fiber malzemesini sürtünme malzemelerinde kullanılması sonucu etkileri incelenmiştir. %5, 10, 15 oranında kütlece kullanılan karbon fiber malzemesi sürtünme katsayısında pozitif katkı sağladığı gözlemlenmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı %15 karbon fiber katkılı balata numunesinden elde edilmiştir. Karbon fiber oranı arttıkça yoğunluk değeri ve aşınma

değeri azalmıştır, yüzey pürüzlülüğü ise artmıştır. Balata içeriğinde sık kullanılan asbest malzemesine alternatif olarak kullanılabilmesine karar verilmiştir. Standart olarak kullanılan balatalara takviye edilen karbon fiberli balatalar sahip olduğu uygun sürtünme katsayısı ve yoğunluk ile alternatif olarak tercih edilebileceği tespit edilmiştir (Malak vd. 2015).

Sugözü'nün çalışmasında, maun ceviz tozlu balata numunelerine sürtünme ve aşınma testleri yapılmıştır. Deney sonucunda aşınma en fazla %10 maun ceviz tozu katkılı numunede, en az ise %15 maun ceviz tozu katkılı numunede gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, en kararlı sürtünme katsayısı %10 katkılı numunenin olduğu belirlenmiştir. TS555 (1992)'e göre balata olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir. En verimli numuneler ise %5 ve %10 maun ceviz tozu katkılı numuneler olduğu belirlenmiştir (Sugözü 2015).

Wang ve ark, çalışmalarında polimer malzemelerin mekanik, termal ve tribolojik özellikleri incelemişlerdir. Harmanlanan karışımlar bir kalıba kondu ve 4 dakika 160 °C'de ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Bu numuneler daha sonra 2 dakika süreyle 160 °C'de 40 MPa basınç altında kürlenmiştir. Bu işlem sırasında, fenolik reçinelerin çapraz bağlanma reaksiyonlarının (polikondenzasyon) nemini ve gaz halindeki yan ürünlerini serbest bırakmak için önceden oluşturulmuş ve kompozit şişmeyi önlemek için kullanılan, her dakikanın sonunda bir süre beklemeye alınmıştır. Daha sonra numuneler 160 °C'de 6 dakika 40 MPa basınç altında ısıtılmıştır. Numuneler, oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur ve daha sonra donma gerilimlerini gidermek için 180 °C'de 8 saat süreyle tekrar kürlenmiştir. Daha sonra tüm numuneler, tribolojik performans testleri için tekdüze ve maksimum temas alanları üretmek üzere aynı koşullar altında kürlenmiştir. Son olarak, numuneler çeşitli fiziksel, termal, mekanik ve tribolojik özelliklere bakılarak karakterize edilmiştir (Wang vd. 2016).

Sugözü, balata içeriğinde alümina, zirkon ve silika kullanarak 12 adet numune üretmiştir. Deneyler, TS555 (1992) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Silika, zirkon ve alümina içeriğinin yoğun olduğu numuneler, diğer numunelere göre daha yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Nano boyutta kullanılan malzeme

içeriklere sahip balata numunelerinde test sonucu kararlılıkta artış gözlemlenmiştir. Aşındırıcı miktarı arttıkça sürtünme katsayısı ve sertlik değerleri artışa geçmektedir. Nano malzemeler kullanılması sonucu porozite oranı azalmaktadır (Sugözü 2016).

Başar ve ark. üç farklı miktarda kolemanit ve boraks katkılı, kütlece %4, %8 ve %12 oranlarında olan balata numuneleri hazırlamışlardır. Standart üretim sırasıyla (toz karışımı, ön şekillendire ve sıcak presleme) numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Sürtünme ve aşınma testi için pin on disk test yöntemi kullanılmıştır. %4 kolemanit ve boraks içeren KX-4 numunesi 0,376 sürtünme katsayısı ile en yüksek değer alınmıştır. En düşük değeri ise %12 kolemanit ve boraks içeren KX-12 numunesi 0,301 değeri alınmıştır. Sonuç olarak, kolemanit ve boraks malzemeleri balata üretiminde kullanılması uygun bulunmuş fakat balata içeriğinde kütlece artış göstermesi durumunda yoğunluk ve sertliği olumsuz etkilemektedir. Türkiye’de bol miktarda bulunmasından dolayı balata üretiminde kullanılmasını önermişlerdir (Başar vd. 2018).

Sugözü ve ark. çalışmalarında balata içeriğinde %4, %8 ve %12 üleksit ve boraks barındıran 3 farklı numune hazırlamışlardır. TS555 (2019) standardına göre aşınma ve sürtünme testi yapmışlardır. Test sonucunda değeri 0,35 olan kütlece %12 üleksit ve boraks içeriğine sahip numune en yüksek sürtünme katsayısı elde etmişlerdir. Kütlece %4 üleksit ve boraksa sahip ÜB4 numunesi 0,3 sürtünme katsayısı ile en düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olmuştur. Üleksit ve boraks miktar numunelerde kütle miktarı arttırıldıkça sürtünme kararlılığı artmıştır. TS555 (1992) standartlarına uygun numune sürtünme ve aşınma testi ile literatüre uygun sonuçlar elde edilmiştir (Sugözü 2018).

Surojo ve ark. fenolik reçine ve uçucu kül malzemesinin balata içeriğinde kullanılması durumunda deney sonuçlarını incelemişlerdir. Deney sonucunda; fenolik reçine miktarının numune içeriğinde artması durumunda sürtünme katsayısının azaldığı, uçucu kül miktarı arttığında ise sürtünme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Sıcaklığa bağlı olarak, 29 °C’den 200 °C’ye çıkarıldığında sürtünme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir (Surojo vd, 2018).

Choosri ve ark. fren balatalarında uçucu kül ve küspe külünün kullanımının çevre dostu olmasının araştırmışlardır. Numune içeriğinde fenolik reçine, cam elyaf, silisyum karbür, grafit, baryum sülfat, alümina, silika ve araştırma konusu olan uçucu kül ve küspe kullanılmıştır. Numune, 100 °C ve 150 °C test sıcaklıklarında, oda sıcaklığına göre daha yüksek sürtünme katsayısına ve daha düşük aşınma direncine sahip olmuştur. Deneyle sonucunda uçucu kül ve küspe külünün fren balatalarında kullanılan alümina ve silika aşındırıcılarının yerine kullanılabileceği tespit edilmiştir (Choosri vd. 2018).

Ünaldı ve Kuş, çalışmasında balata numune içeriğinde takviye olarak Miscanthus, yağlayıcı olarak cashew, aşındırı olarak alümina, dolgu olarak kalsitve bağlayıcı olarak fenolik reçine kullanmışlardır. Üretilen balata numunelerinde yoğunluk ve gözenekli özelliklerinin numune verimine etkisini incelemişlerdir. Ekolojik fren balatası numuneleri üretilmiş ve deneyle Taguchi Metodu L32 ortogonal dizisine göre yapmışlardır. Elde edilen diğer grafik sonuçlara göre, fren balatası numunelerinin yoğunluk özelliği, karışım oranı faktörlerinden daha fazla etkilenirken, kalıplama sıcaklığı, kür süresi ve kür sıcaklığı faktörlerinin gözeneklilik üzerinde küçük bir etkisi olduğunu tespit etmişlerdir (Ünaldı ve Kuş 2018).

Lee ve ark, küresel ısınma ve çevre sorunları derinleştikçe, çevre dostu malzemelerin önemi artmıştır. Birçok araştırmacı, termoset polimer kompozitlerin geri dönüşümü, ısı ve darbe direnci sorunları nedeniyle karbon fiber takviyeli termoplastik polimer kompozitlere daha fazla odaklanmaktadır (Lee vd. 2020).

Pujari ve Srikiran, asbest malzemesi insan sağlığı için doğada serbest halde bulunması tehlikeli olduğu için alternatif malzeme arayışına girmişlerdir. Asbest yerine %0-50 oranında hurma ekirdeği, %0-15 Nil gülü, %0-10 buğday tozu kullanılabileceğini belirtilmişlerdir. Sürtünme katsayısını artırmak için Nil gülü, aşınma oranını düşürmek için buğday tozu kullanılabilmektedir. Bu sayede sürtünme katsayısı, gürültü kirliliği ve aşınma oranlarına olumlu katkı sağlamaktadır. Testler sonucunda asbest yerine kullanılan lifli malzemelerin balata içeriğine olumlu katlılar sağlamışlardır. Çalışma sonucuna göre asbest yerine hurma ekirdeği, Nil gülü ve buğday tozu kullanılabilmektedir (Pujari ve Srikian 2019).

Keskin, çalışmasında fren balatalarında yoğun olarak kullanılan asbest malzemesinin yerine zeytin çekirdeğinin kullanılmasını incelemiştir. Numune içeriğinde %3, %6, %9, %12 ve %15 oranlarında zeytin çekirdeği tozu kullanılarak 5 farklı numune elde edilmiştir. Numune içeriğinde farklı olarak fenolik reçine, barit, bronz, grafit ve alümina malzemeleri kullanılmıştır ve 12 dakika boyunca 1000 devir/dakika karışım yapılarak sıcak presleme için hazırlık yapılmıştır. 10 MPa basınçta, 150 °C sıcaklıkta, 15 dakika presleme işlemi uygulanarak numuneler elde edilmiştir. Üretilen numuneler fren balata test cihazında test edilmiştir. Test sonucunda, ZÇ3 numunesi en yüksek yoğunluk değerine, ZÇ15 numunesi en düşük yoğunluk değerine sahiptir. Sertlik değerleri incelendiğinde ise yine ZÇ3 numunesi en yüksek, ZÇ15 değeri en düşük değeri almıştır. Çalışma, yoğunluk ve sertlik değerlerinin doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Aşınma oranları ve sürtünme katsayısı sonuçları incelendiğinde zeytin çekirdeği tozunun fren balatası üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Keskin 2019).

Yılmaz, fren balatalarındaki uçucu külün tribolojik etkinliğinin araştırılmasında uçucu külün genellikle bir atık olduğu ve kömürün yakılmasından elde edilmesi nedeniyle bol miktarda bulunabileceği düşünülmüştür. Deneysel sonuçlara göre, uçucu külün balata içeriğinde alüminyum tozu yerine kullanılması uygun bulunmuştur. Ek olarak, numune içeriğinde kül kullanılması sonucunda sürtünme katsayısının artış tespit edilmiştir (Yılmaz 2022).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Numune Üretimi

Bu çalışmada, birçok araştırmada amaçlanmış olan çevre ve insan sağlığına uygun, alternatif ürün denemeleri yapılmıştır. Farklı basınç parametrelerinde (15, 20, 25, 30, 35, 40 MPa) sıcak presleme yöntemi uygulanarak balata numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Fren balata test cihazında deneyler yapılarak balata numuneleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Numune üretimi için uygulanacak parametreler belirlenirken piyasada yaygın olarak kullanılan balata içerikleri araştırılmıştır. Test yöntemleri TS555 (2019) standardına göre belirlenmiştir. Tek seferde presleme sonucunda 6 adet numune üretim kapasitesine sahip kalıp ile 36 adet numune üretilmiştir.

3.1.1 Numune İçeriği

Balata üretiminde kullanılacak malzemeler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Numune içeriğinde bulunana malzemeler ve kullanım oranları.

Parametre	Malzeme	İçerik Oranı (%)
Dolgu Malzemesi	Kalsit	40
Bağlayıcı Malzeme	Fenolik Reçine	20
Yağlayıcı Malzeme	Grafit	3
Takviye Edici	Çelik Elyaf	15
Sürtünme Düzenleyici	Cashew Tozu	6
Sürtünme Düzenleyici	Alümina	6
Sürtünme Düzenleyici	Andezit Tozu	10

Aynı numune içeriğinde farklı basınç parametrelerinde üretim yapılarak numunelerinin sürtünme katsayısı, aşınma oranı, SEM analiz, yüzey pürüzlülük ve sertlik ölçüm sonuçları incelenmiştir.

3.1.1.1 Dolgu Malzemesi

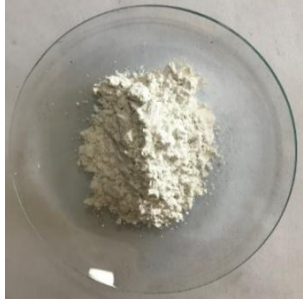
Dolgu malzemeleri, numune içeriğinde hacim dolgunluğu ve oluşacak maliyete olumsuz katkı sağlamamak amacıyla numune içeriklerinde kullanılmaktadır. Dolgu malzemeleri sürtünme özelliklerini değiştirmeden, numune yapısını geliştirmek üzere kullanılır.

Numune mukavemetinin artırılması, sürtünme katsayısı ve aşınma düzenleyici olarak kullanılabilir. Barit, alçı, kil, talk, kizelgur ve kalsit gibi malzemeler uygun maliyetli ve kolay temin edilen malzemeler olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kalsit

Bir diğer adı ile kalsiyum karbonat, halk arasında kireç taşı olarak da bilinmektedir. Bu mineralin kimyasal yapısı CaCO_3 'dir. Doğada, camsı parlaklıkta, şeffaf bir yapı olarak bulunmaktadır. Kolay öğütülmesi sonucunda beyaz renkte toz elde edilebilmektedir. Mekanik dayanımı ve rijitliği artırma özelliğine sahiptir. Barit malzemesine göre daha ucuzdur. Bu nedenle, fren balatası üretim sektöründe oldukça sık tercih edilebilmektedir. Çalışmada kullanılan kalsit malzemesi Türkiye'de bulunan özel bir firmadan temin edilmiştir. Kalsit malzemesinin fiziksel özellikleri ve görünümü Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Kalsit kimyasal özellikleri ve görünümü (Aras 2019).

Kimyasal Bileşen	İçerik Oranı (%)	Resim
CaCO_3	99,79	
MgO	0,431	
Na_2O	0,224	
SiO_2	0,034	
P_5O_5	0,073	

3.1.1.2 Bağlayıcı Malzeme


Bağlayıcı malzemeler, numune içeriğini oluşturan diğer malzemeleri bir arada tutmak üzere kullanılan malzemelerdir. Genellikle yüksek sıcaklıklara dayanımı düşüktür. Fenol Formaldehit reçineler, otomotiv enstitüsünde yaygın olarak kullanılmaktadır ve bazik ortamda amonyakla ısıtılması ile elde edilen suni bir reçinedir. Fenol formaldehit, daima kafes tipi yapıya sahip olduğu için yüksek sıcaklığa sahip ortamlarda sertleşme özelliğine sahiptir.

Fren balatalarının üretim prosesine uyumlu olarak performans artırıcı, hekzametilentetramin, hint fıstık kabuğu yağı ve nitril bütadiyen kauçuğu gibi malzemeler bağlayıcı diğer malzemelerdir (İnt.Kyn.8).

Fenolik reçine

Fenolik Reçineler, bağlayıcı malzeme olarak kullanıldığı için numune içeriğini oluşturan diğer malzemelerin bir arada olmasını sağlamaktadır (Çizelge 3.3). İki çeşit fenolik reçine vardır. Bunlardan birincisi, birer mol fenolün ve formaldehitin reaksiyona sokulması ile elde edilir. İkincisi tip novalaktır ve 1 mol fenole karşılık bir molden daha az formaldehit kullanılarak asit katalizör elde edilir (İnt.Kyn.9). Çizelge 3.3'te bulunan yapısal özellik ve malzeme görünümü bulunan fenolik reçine tez çalışmasında kullanılmıştır. Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş. firmasından tedarik edilmiştir.

Çizelge 3.3 Fenolik reçine yapısal özellikler ve görünümü.

Parametre	Değer	Resim
Yumuşama noktası	94 °C	
125 °C'de akma mesafesi	35 mm	
Hegzamin miktarı	%8,46	
Serbest fenol	≤%0,10	
Elek (-63)	97 µm	


3.1.1.3 Yağlayıcı Malzeme

Yağlayıcı malzemeler, balata numune yüzeyinde tabaka oluşturarak sürtünme katsayısını azaltmaktadır. Sürtünme katsayısının azalması ile aşınma oranı doğru orantılı olarak etkilenmektedir. Numune çevresinde yağlayıcı bir tabaka oluştuğu için kalıptan çıkarılmasını kolaylaştırır. Kuru sürtünme sonucu oluşan yüksek ses ve titreşim nedeniyle gürültü meydana gelmektedir. Yağlayıcı malzemelerin sürtünmeye olan katkısından dolayı oluşacak olan gürültüyü engellemektedir.

Grafit

Parlak, yumuşak ve siyah, açık gri, kül renginde bulunan grafit malzemesi karbon elementlerinden oluşmaktadır. Elektrik iletkenliğine sahip olan grafit, yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ve sıcaklık arttıkça dayanımı artış göstermektedir. Yağlama özelliğine sahiptir. Yapısal özellikler ve malzeme görünümü Çizelge 3.4'de gösterilmiştir. Karabacak Madencilik Sanayi ve Dış Ticaret Turizm A.Ş. firmasından tedarik edilmiştir.

Çizelge 3.4 Grafit yapısal özellikler ve görünümü.

Kimyasal Bileşen	İçerik Oranı (%)	Resim
Kül	8,3	
Uçuculuk	4,1	
Nem	1-2	
Karbon	87,96	
Boyut	200 mesh	

3.1.1.4 Takviye Edici

Takviye malzemeler, malzemenin matris yapısını güçlendirmektedir. Kompozit yapıdaki malzemenin mukavemet, rijitlik ve yapısal bütünlüğe olumlu katkı sağlamak için kullanılmaktadır. Bu sayede, sürtünme ve aşınma özelliklerine etkisi

bulunmaktadır.

Geçmiş yıllarda takviye edici malzeme olarak sık kullanılan birisi asbesttir. Asbest malzemesinin kanserojen bir etkisi olduğu ispatlanmasının ardından alternatif malzeme arayışına girilerek birçok çalışma yapılmıştır. Çelik elyaf, cam elyaf, fındık kabuğu, Hindistan cevizi kabuğu, muz kabuğu ve salyangoz kabuğu gibi birçok doğal elyaf malzemeler tercih edilerek çalışmalar yapılmıştır.

Çelik elyaf

Dağılmaya karşı direncinden dolayı takviye edici malzeme olarak kullanılmaktadır. Isı, sürtünme kararlılığı ve ekonomik maliyetinden dolayı balata üretimlerinde takviye edici malzeme olarak tercih edilmektedir. Çalışmada kullanılan malzeme As Fren – Yüksel Balataçılık San.Tic.A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Resim 3.1’de çelik elyaf tozu resmi gösterilmiştir.



Resim 3.1 Çelik elyaf tozu görünümü.

3.1.1.5 Sürtünme Düzenleyici

Sürtünme düzenleyici malzemeler, balatanın sürtünme katsayısını düzenlemek için kullanılan malzemelerdir. Katkı maddeleri ile balata yüzeyinde oluşan sürtünme katsayısı istenilen değerlere göre düzenlenebilir. Bir balata içeriğinde birden fazla sürtünme düzenleyici malzeme kullanılabildiği literatürde bulunan çalışmalarda gözlemlenmiştir.

Cashew

Organik esaslı olan cashew, sürtünme katsayısını arttırmak ve aşınma oranı, gürültü ve vibrasyonu düşürme özelliğine sahiptir. Çalışmada kullanılan malzeme As Fren – Yüksel Balataçılık San.Tic.A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Resim 3.2’de resmi gösterilmiştir.



Resim 3.2 Cashew görünümü.

Alümina

Sürtünme düzenleyici aşındırıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Alüminyum Oksit olarak adlandırılmaktadır. Çizelge 3.5’de kimyasal özellikleri ve görünümü gösterilmiştir. Alümina malzemesi Türkiye’de bulunan özel bir firmadan temin edilmiştir.

Çizelge 3.5 Alümina kimyasal özellikleri ve görünümü.


Kimyasal Bileşen	İçerik Oranı (%)	Resim
Al ₂ O ₃	99,32	
SiO ₂	0,01	
Fe ₂ O ₃	0,01	
Na ₂ O	0,25	
CaO	0,008	
LOI	0,4	

Andezit

Andezit, yer altı lavlarının yer üstünde soğumasıyla elde edilmektedir. Hammadde olarak taş halinde elde edildiği için işlenerek uygulama alanına göre tasarlanmaktadır. Dayanımı oldukça yüksek olan andezit malzemesi aşınma ve sürtünme düzenleme amacıyla kullanılmaktadır. Andezit malzemesi Türkiye’de bulunan özel bir firmadan temin edilmiştir. Resim 3.6’de resmi gösterilmiştir.

Andezit tozu, andezit taşının işlenmesi sonucunda çalışma ortamına biriken toz haldeki malzemedan elde edilmiştir. Bu sayede, doğadan alınan bir malzemenin direkt olarak üretim aşamasına gelmesi yerine andezit taşının işlenmesin sonucu oluşan endüstriyel atıktan faydalanılmıştır.

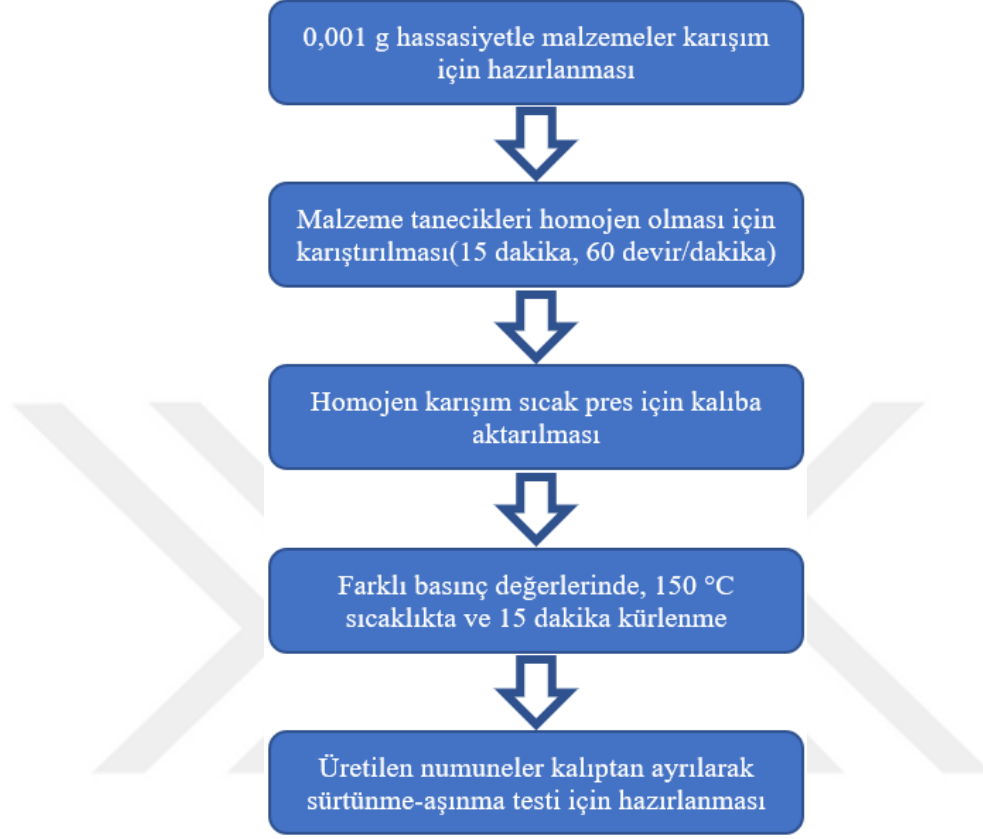
Çizelge 3.6 Andezit kimyasal özellikleri ve görünümü (Sarışık vd, 2009).

Kimyasal Bileşen	İçerik Oranı (%)	Resim
SiO ₂	60,34	
Al ₂ O ₃	15,80	
Fe ₂ O ₃	6,12	
K ₂ O	6,03	
CaO	4,31	
Na ₂ O	4,14	
MgO	1,36	
TiO ₂	0,83	

3.1.2 Üretim Prosesi

Üretim parametresi balata numunelerinden beklenen performansı etkilemektedir. Literatürde, farklı basınç, üretim yöntemi veya numune içeriğine sahip birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, aynı malzeme içeriğine sahip 6 farklı basınç değerine sahip numuneler üretilmiştir. Numune deneyleri sonucunda TS555 standartlarına uygunluk belirlenmiştir.

Üretim prosesinde uygulanan adımlar Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Üretim proses adımları.

3.1.2.1 Numune İçeriğinin Hazırlanması

Çizelge 3.1’deki numune içeriğini oluşturan malzemeler, belirtilen içerik oranlarında hazırlanmıştır. Malzemeler, 0,001 g hassasiyete sahip Şekil 3.4’te gösterilen hassas terazide tartılmıştır. Ölçümleri tamamlanan malzemeler bir karıştırma kabında toplanmıştır. Numune içeriğini oluşturan malzemeler homojen olarak karışması için Şekil 3.7’de gösterilen mekanik karışım cihazında 15 dakika boyunca 60 devir/dakika karışım işlemi uygulanmıştır.

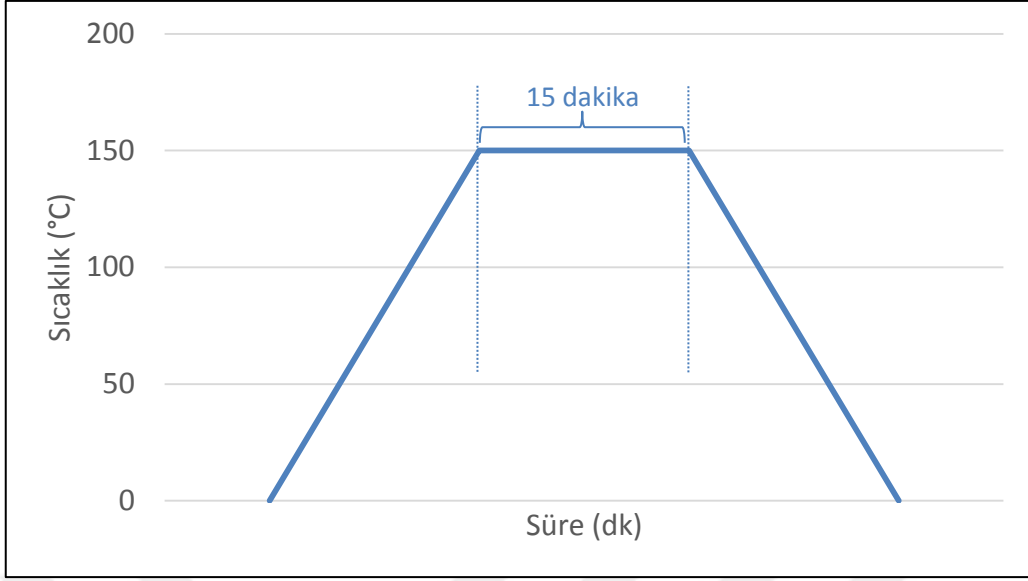
Üretim prosesinde bir sonraki adım olan sıcak presleme işlemine geçmek için kalıpta bulunan pres kalıp gözlerinin her birine 11 g karışım eklenmiştir.

3.1.2.2 Krleme

Kalıp içerisine hassas Şekilde eklenen homojen toz karışım sıcak presleme için Resim 3.6'daki presleme tezgahına yerleŐtirilmiŐtir. Hidrolik kollu pres ile kalıba presleme işlemi yapılmıştır. Farklı basınç parametrelerinde fren balatasının etkisini araŐtırmak için 15, 20, 25, 30, 35, 40 MPa basınçları altında sıcak presleme yapılmıştır.

6 gözlü kalıp içerisine yerleŐtirilen malzemeler 150 °C sıcaklıkta preslenmiŐtir (Yavuz ve Bayrakçeken, 2022). Kalıba yerleŐtirilen numune ieriŐini oluşturan malzemelere 150 °C sıcaklıkta 1800 kPa basınçta sıcak presleme yapılmıştır (Sugözü 2015). Literatürde yapılmış çalışmalar referans alınarak üretim yöntemi ve sıcaklık deŐeri krleme prosesinde kullanılmıştır. Başlangıç basınç deŐeri olan 15 MPa basınç uygulayabilmek için ilk önce kalıp etrafında bulunan Resim 3.9'daki rezistans ısıtıcı aktif hale getirilmiştir, 150 °C sıcaklıŐa ulaŐana kadar hidrolik kol yardımı ile ısıtma sresinde 15 MPa basınçta stabil tutulmuştur. Kalıp sıcaklıŐı 150 °C'ye ulaŐtıŐında 15 dakika boyunca (15 MPa - 150 °C) bekletilmiŐtir (Şekil 3.2). Presleme işlemi tamamlanmasının ardından basınç deŐeri sabit tutularak rezistansın ısıtma işlemi durdurulmuŐtur ve kalıp sıcaklıŐının düŐmesi için beklemeye alınmıştır. Kalıp sıcaklıŐı 75 °C'ye düŐmesi halinde basınç serbest bırakılmıŐtır ve balata numuneleri hasar verilmeden kalıptan çıkarılmıŐtır (Resim 3.3).

Sıcak presleme sonrası numune Resim 3.5'te gösterilmiştir. DiŐer basınç parametrelerinde de aynı proses uygulanarak numune üretimleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2 Presleme prosesinde sıcaklık-süre grafiği.



Resim 3.3 Sıcak presleme sonrası balata numunesi.

3.2 Numune Üretiminde Kullanılan Cihazlar

3.2.1 Hassas Terazi

Bu çalışmada, Resim 3.4'te bulunan SELES marka 0,001 hassasiyete sahip hassas terazi kullanılmıştır. Çizelge 3.1.'de belirtilen numune içeriğindeki malzeme miktarlarına göre ölçümler yapılmıştır. Aşınma oranının belirlenmesinde kullanılmak üzere numunelere uygulanacak sürtünme-aşınma test öncesi ve sonrasında ağırlık ölçümleri not edilmiştir. Terazi kullanımında her ölçüm yapıldıktan sonra kalibrasyon yapılmıştır. Her kullanım aşamasından sonra sık sık temizleme işlemi uygulanmalıdır. Aksi durumda, 0,001 g ölçüm hassasiyetine sahip numunelerde hatalı içerik miktarına yol açabilmektedir.



Resim 3.4 Hassas terazi.

3.2.2 Mekanik Karıştırıcı

Sıcak presleme öncesi hassas terazi ile ölçümü yapılmış toz haldeki malzemelerin homojen olarak karışabilmesi için mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Resim 3.5’de bulunan iki adet aynı yönlü ekseninde hareket eden iki mile sabitlenmiş sepet içerisine karışım kabı yerleştirilir. Üç yönlü hareket sağlayan kinetik tip karıştırıcı ile karışım kabında bulunan tanecikler homojen olarak karışmaktadır. Mekanik karıştırıcı, homojen karışım elde etmek için 15 dakika boyunca 60 devir/dakika karışım işlemi uygulanmıştır.



Resim 3.5 Mekanik karıştırıcı.

Balata içeriğinde birçok farklı özelliğe sahip malzeme bulunduğu için homojen olarak karışması önemlidir. Homojen karışım için kullanılan çalışmanın sistem ve süresi literatür çalışmaları referans alınmıştır.

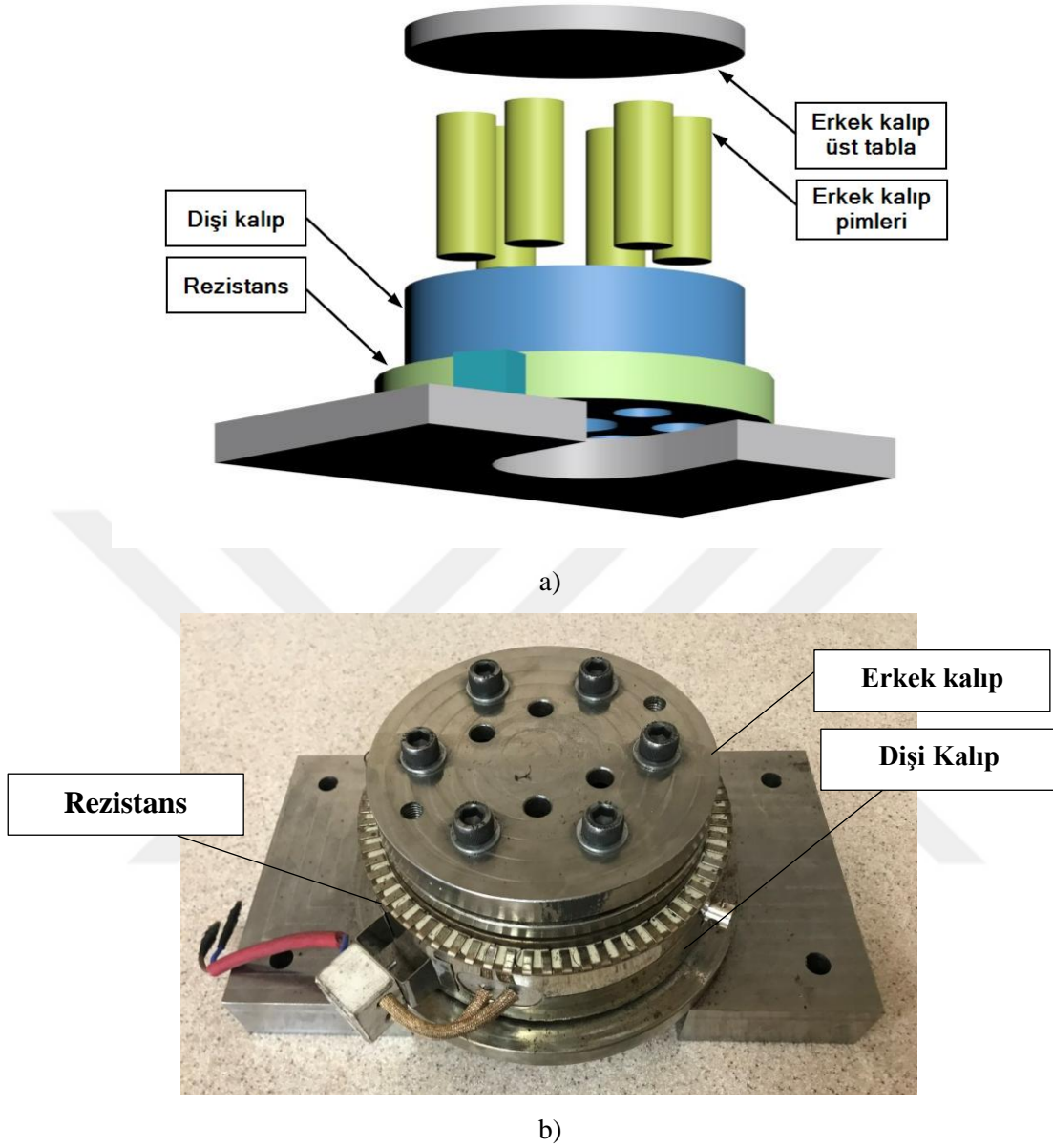
3.2.3 Hidrolik Pres ve Kalıplar

Numune balata üretiminde ihtiyaç olan numunenin üretilmesi için sıcak presleme işlemi yapılmaktadır. İki kalıp arasındaki hava boşluğu olmamasından dolayı sıcak presleme sonucunda numune üretimi gerçekleşmektedir.

Pres üzerinde bulunan hidrolik kol sayesinde hidrolik sıvısını sıkıştırılarak basınç oluşturmaktadır. Oluşan basınç değerinin anlık olarak 0,25 MPa hassasiyete sahip manometre göstergesi üzerinden takip edilebilmektedir.



Resim 3.6 Hidrolik kollu pres.



Resim 3.7 Kalıp tasarımı(a) ve uygulama görünümü(b).

Sıcak presleme işleminde gerekli olan ısıtıcı faktörü kalıp çevresinde bulunan rezistanslar sayesinde sağlanmaktadır. Presleme esnasında rezistansa elektrik akımı verilerek sıcaklık yükseltilebilmektedir. Sıcaklık değeri göstergesi ve sınırlayıcı kontrol ünitesi pres cihazı üzerinde bulunmaktadır. Numune üretim kalıpları Resim 3.7’de gösterilmiştir.

Presleme cihazı (Resim 3.6) ve kalıplar AKU Otomotiv Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Laboratuvar'ında bulunan hidrolik kollu pres cihazı ve rezistanslı balata numune üretimine uygun kalıplar kullanılmıştır (Resim 3.7).

3.3 Test için Kullanılan Cihazlar

Bu araştırmada, farklı basınç parametrelerinde üretilen balata numunelerinin özelliklerini incelemek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Tez çalışmasında üretim ve deney için Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Laboratuvar'ında bulunan ekipmanlar kullanılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleme işlemi LEO 1430 VP model cihazda yapılmıştır.

3.3.1 Sertlik Ölçüm Cihazı

Bu çalışmada sertlik ölçüm yöntemlerinden biri olan Shore D kullanılmıştır. ASTM D2240 (2021) standardında kompozit, reçine ve plastik malzemelerinde Shore D sertlik ölçüm yöntemi tercih edilmiştir ASTM D2240 (2021). Akıncioğlu, çalışmasında Shore D ölçüm cihazı kullanılarak fren balatalarının sertlik ölçümleri yapmıştır ve balata yüzeyindeki beş farklı noktadan alınan değerlerin ortalaması hesaplamıştır (Akıncioğlu vd, 2018). Literatürde balatalar üzerine yapılmış çalışmalar incelendiğinde sertlik ölçümü için Shore D tercih edilmiştir. Bu çalışmada, Resim 3.8'de bulunan 0-100 HD aralığına, 0,5 HD hassasiyetine, 0,1 mm çapında iğne ucu özelliklerine sahip Shore D sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Resim 3.8 Sertlik ölçüm cihazı.

3.3.2 Fren Balata Test Cihazı

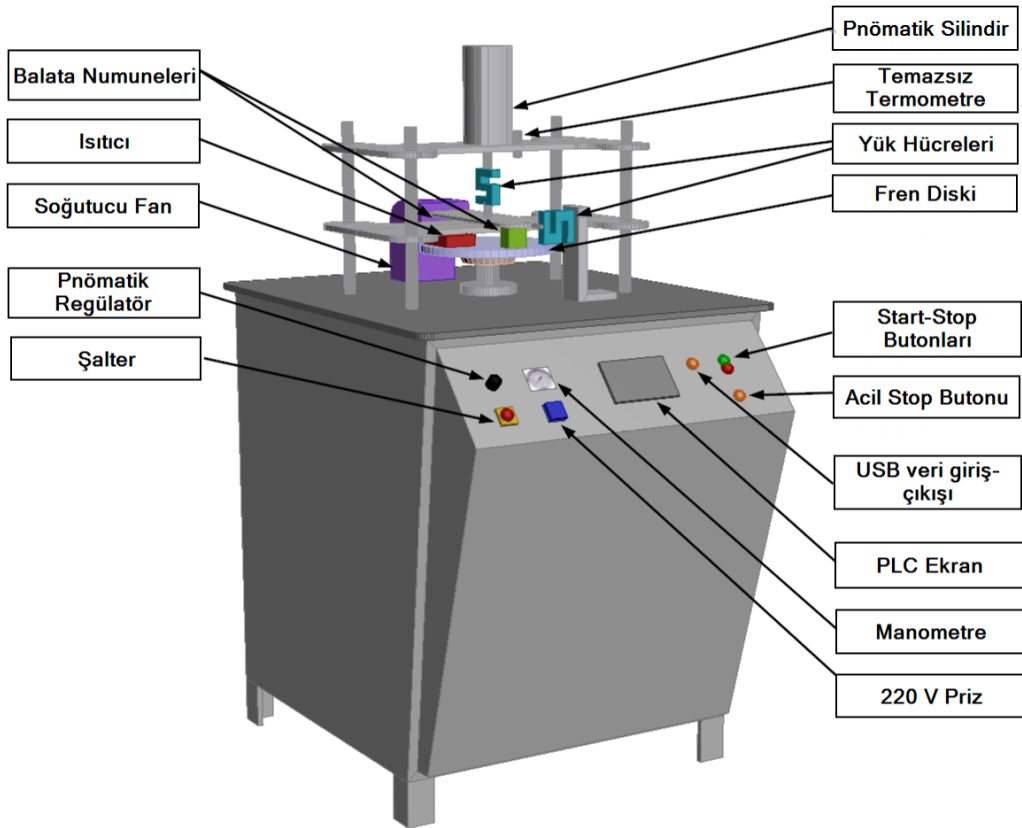
TS555 (2019) standardına uygun olarak tasarlanan balata fren balata test cihazında üretilen numuneler test için hazırlanmıştır. Test öncesi 320 numaralı zımpara ile balata yüzeyi zımparalanarak test hazırlığı yapılmıştır. Sürtünme testi için hazırlanan balata numuneleri cihaz üzerinde bulunan numune tutuculara sabitlenmiştir. Test sonrasında balata numunelerinin sürtünme yönünü tespit edebilmek için test öncesi numune tutucular üzerinde işaretlemeler yapılmıştır. Hazırlıkların tamamlanmasının ardından test cihazında başlatma komutu verilmesi ile fren diski 6 m/s disk dönüş hızına ulaşmıştır. Diskin deney yüzeyinin deney numunesine karşı kayma hızı 6 m/s ila 8 m/s hız arasındaki sabit bir hızda olmalıdır. Deney numunesine baskı basıncı $1 \pm 0,02$ MPa olmalıdır (TSE 555, 2019). Döner disk yüzeyine karşılıklı pozisyonlandırılmış 1 MPa pnömatik basınç uygulanarak sürtünme testi başlatılmıştır.

Sürtünme test süresi, balata numunelerinin 1 MPa basınç başlangıç anından itibaren 30 dakikadır. Cihaz üzerinde bulunan kontrol panelinde zamanlayıcı sayesinde test süresi tamamlandığında pnömatik basınç otomatik olarak durdurmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan fren balata test cihazında dikey olarak pozisyonlandırılmış elektrikli motor kullanılmaktadır. Bu sayede test için ihtiyaç duyulan dönüş hızı kontrol

panelinden takip edilebilmektedir. Sürtünme kuvveti ölçümü için yük hücreleri kullanılmıştır. Fren balataları sürtünme etkisi ile Resim 3.9’da belirtilen yük hücrelerine yük uygulamaktadır. Yük hücreleri saniye başına veri üreterek kontrol panelinde kayıt altına alınmıştır. Pnömatik silindir ile balata numune arasında diğer yük hücresi bulunmaktadır. Bu sayede, balata numunelerinin düşey yönde uyguladığı basınç değerleri periyodik olarak elde edilebilmektedir. İkinci yük hücresi balata numune tutucularına yatay olarak pozisyonlandırılmıştır. Buradaki yük hücresinden elde edilen veriler ile sürtünme katsayısı değerleri bulunmuştur. Resim 3.9’da belirtilen temassız termometre sayesinde disk yüzeyinde oluşan sıcaklık değeri periyodik olarak elde edilebilmektedir.

Tamamlanan test prosesinden elde edilen sürtünme katsayısı, sıcaklık, basınç ve kayma mesafesi değerleri cihaz kontrol panelinden bilgisayar ortamına aktarılarak sonuçlar incelenmiştir. Deney cihazında bulunan parçaların tanımını Resim 3.9’da, cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.



Resim 3.9 Fren balata test cihazı tasarım görünümü.

Çizelge 3.6 Fren balata test cihazı özellikleri (Yavuz ve Bayrakçeken 2022).

Parça Grubu	Özellik
Elektrik Motoru	Toplam gücü 11 kW
Disk Grubu	Yarıçapı 200-300 mm arasındaki diskler ile kullanılabilir.
Numune Tutucu	Numune geometrisine göre tutucu üretilerek kullanılabilir.
Sıcaklık Sensörü	Maksimum 500 °C
Yük Grubu	Pnömatik basınç sistemi ile 1200 N'a kadar yük uygulanabilir.
Yazılım ve Kontrol Ünitesi	Sıcaklık, sürtünme katsayısı ve devir değerlerini kayıt altına almak için kullanılmaktadır.

3.3.3 Yoğunluk Ölçüm Yöntemi

Arşimet prensibine göre belirlenen Eşitlik 3.1 yoğunluk ölçümünde kullanılmıştır. Resim 3.10'te gösterildiği üzere hassas terazi ve yoğunluk ölçüm aparatı ile ölçüm yapılmaktadır. Arşimet prensibinde göre numunelerin havada ve suda ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümleri tamamlanan numunelerden ortalama değerler kullanılarak yoğunluk değeri elde edilmiştir (Eşitlik 3.1).

$$\rho_b = \frac{g_h}{g_h - g_s} \rho_s \quad (3.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

ρ_b = Balata numunesi yoğunluğu (g/cm³)

g_h = Balata numunesinin havadaki ağırlığı (g)

g_s = Balata numunesinin sudaki ağırlığı (g)

ρ_s = Saf suyun yoğunluğu (g/cm³)



Resim 3.10 Yoğunluk ölçüm düzeneği.

3.3.4 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Time TR220 test cihazı (Resim 3.11) disk yüzeyinde pürüzlülük testi için kullanılmıştır. Cihaz teknik özellikleri Çizelge 3.7’dedir.



Resim 3.11 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.

Balata numunelerinde, pürüzlülük ölçümünde kararlı bir değer elde edilemediği için

disk üzerinden ölçüm yapılmasına karar verilmiştir. Pürüzlülük ölçüm cihazı ile disk yüzeyinden pürüzlülük değerleri alınmıştır. Deney öncesinde ve sonrasında 120 derecedeki aynı noktalardan Ra ve Rz değerleri elde edilmektedir. Hatalı sonuçların önüne geçmek için her kontrolde 3 kez değer alınmıştır.

Disk yüzeyinde oluşan Ra ve Rz pürüzlülük değerleri, 6 m/s disk hızında deney öncesi ve bir saatlik çalışmadaki deney sonrasında disk üzerindeki 120 ° açı ile bölünmüş üç farklı ölçüm noktasından ölçülmüştür. Ölçümler 40 µm ölçüm aralığında ve 2.5 mm ölçüm uzunluğunda gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre deney öncesi ve deney sonrasındaki üç ölçüm noktasından alınan ortalama disk pürüzlülük değerleri karşılaştırılmıştır (Yavuz ve Bayrakçeken, 2022).

Çizelge 3.7 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı teknik özellikleri (İnt.Kyn.5).

Ölçüm Parametresi	Ra, Rz
Ölçüm Aralığı	Ra: 0.025-12.5µm Rz: 0,02-160 µm
Z Eksenli Ölçüm aralığı	±20 µm, ±40 µm, ±60 µm
Ekran Çözünürlüğü	0,001 µm
Birim	µm
Ölçüm Uzunlukları	0.25mm (Ra: 0.02- 0.32 µm) 0.8 mm (Ra: 0.32- 2.50 µm)
Minimum / Maksimum Ölçme Boyu	1,3mm / 17,5
Hassasiyet	≤±10%

3.3.5 Karbon Kaplama Cihazı

SEM analizi yapılmadan önce numune yüzeyleri iletken bir malzeme ile kaplanması için Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne ait Bal-Tek marka SCD005 model karbon kaplama cihazı ile kaplama işlemi yapılmıştır.(Resim 3.12)



Resim 3.12 Karbon Kaplama Cihazı (Yavuz ve Bayrakçeken 2022).

3.3.6 SEM Analiz Cihazı

AKU TUAM'a ait LEO marka 1430 VP (Resim 3.13) model taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazında üretilen numunelerin incelemesi yapılmıştır.

LEO 1430 VP model SEM cihazı W (Tungsten) filament ile çalışmaktadır. Cihaz üzerinde ikincil elektron (secondary electron), geri yansıyan elektron (backscattered electron) ve RÖNTEC QX2 marka ve model XFlash tipi X ışınları (EDX – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) detektörü bulunmaktadır. Cihaz görüntü üzerinde nokta, çizgi, alan ve haritalama yöntemleri ile kalitatif ve semi-kantitatif olarak elementer analizleri yapabilmektedir (İnt.Kyn.6).

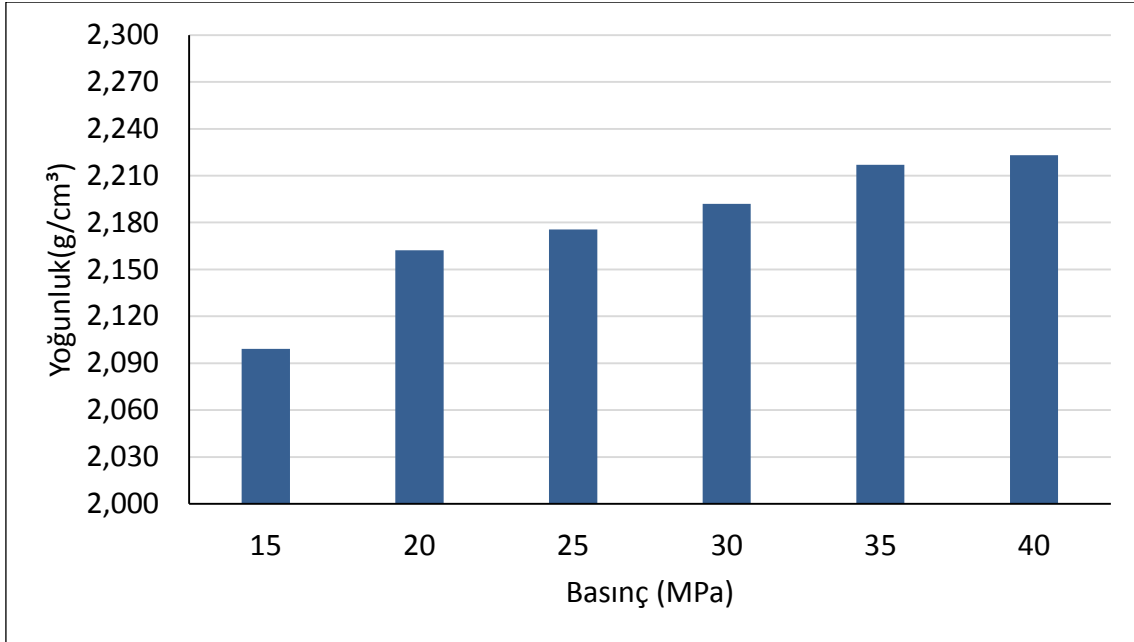


Resim 3.13 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analiz cihazı (İnt.Kyn.6).

4. BULGULAR

4.1 Yoğunluk

Hazırlanan kompozit balata numunelerinin sürtünme deneyi sonrasında yoğunluk ölçüm sonuçları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Yoğunluk sonucu hesaplanırken Eşitlik 3.1 kullanılmıştır. Basınç ve numune yoğunluk artışı doğru orantılı olarak artış göstermiştir. Yoğunluk değeri en düşük olan 15 MPa basınç altına üretilmiş balata numunesi, en yüksek olan numune ise 40 MPa basınçta üretilmiş balata numunesidir.



Şekil 4.1 Sürtünme test sonucu yoğunluk değerleri.

4.2 Sürtünme Katsayısı

Test cihazında üretilen tüm balata numune testleri yapılmıştır. Test sonucunda elde edilen sonuçlara göre aşağıda belirtilen sürtünme katsayısı ve sürtünme katsayısı kararlılık eşitlikleri kullanılmıştır (Eşitlik 4.1 ve 4.2).

$$SK = \frac{\mu_o}{\mu_m} \cdot 100 \quad (4.1)$$

$$\mu = \frac{f}{F} \quad (4.2)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

SK: Sürtünme katsayısı kararlılığı

μ : Sürtünme katsayısı

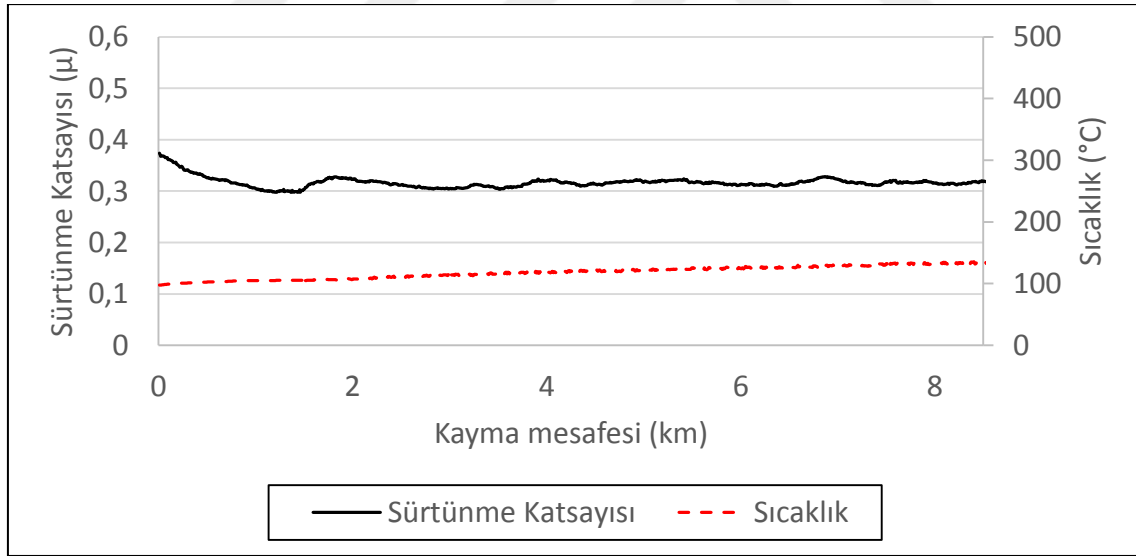
μ_o : Ortalama sürtünme katsayısı

μ_m : Maksimum sürtünme katsayısı

f : Dinamometrede okunan sürtünme kuvveti

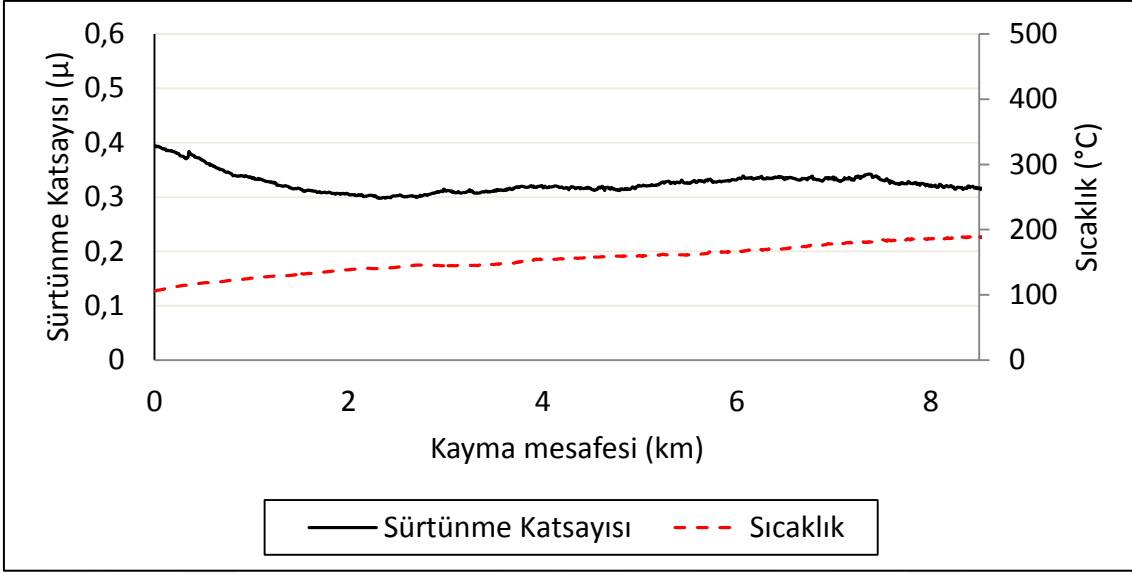
F : Deney numunesine uygulanan basma kuvveti

15 MPa basınç altında üretilen balata numunesine ait sürtünme grafiği Şekil 4.2’de görülmektedir. Deney sonucunda; ortalama sürtünme katsayısı 0.336, sürtünme yüzeyi maksimum sıcaklığı 135,9 °C, minimum sıcaklık değeri ise 34,2 °C’dir.



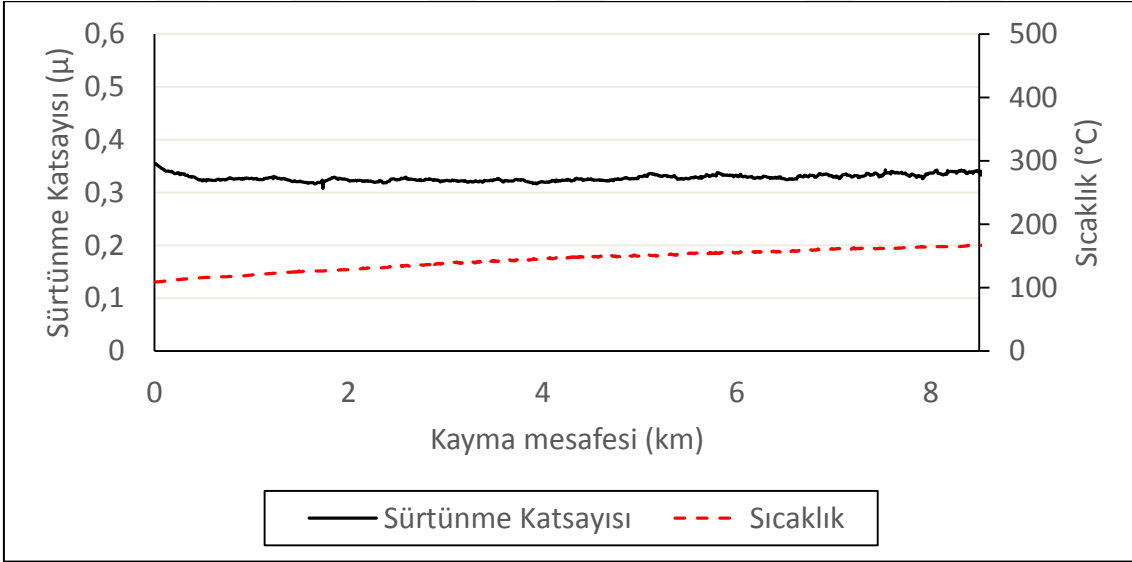
Şekil 4.2 15 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği.

20 MPa basınç altında üretilen balata numunesine ait sürtünme grafiği Şekil 4.3’te görülmektedir. Deney sonucunda; ortalama sürtünme katsayısı 0.337, sürtünme yüzeyi maksimum sıcaklığı 189,8°C, minimum sıcaklık değeri ise 31,2 °C’dir.



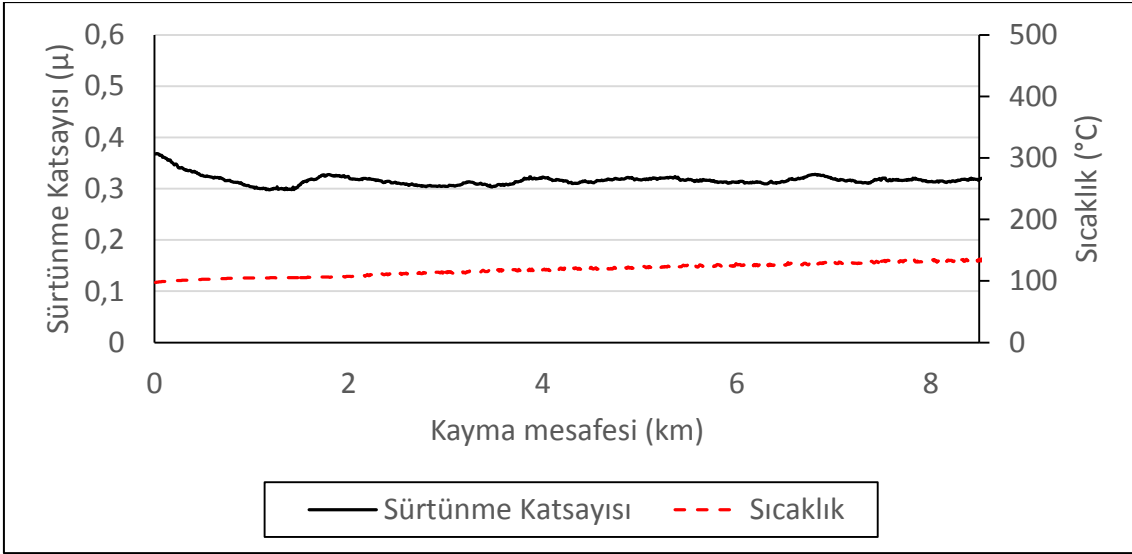
Şekil 4.3 20 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği.

25 MPa basınç altında üretilen balata numunesine ait sürtünme grafiği Şekil 4.4'te görülmektedir. Deney sonucunda; ortalama sürtünme katsayısı 0.350, sürtünme yüzeyi maksimum sıcaklığı 167,1°C, minimum sıcaklık değeri ise 33,6 °C'dir.



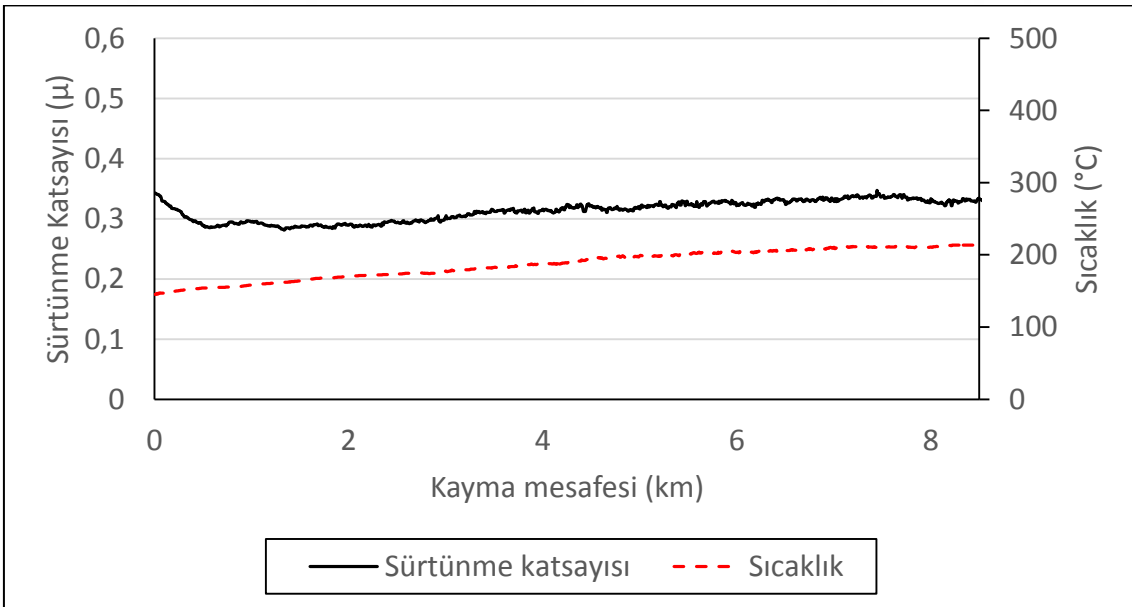
Şekil 4.4 25 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği.

30 MPa basınç altında üretilen balata numunesine ait sürtünme grafiği Şekil 4.5'da görülmektedir. Deney sonucunda; ortalama sürtünme katsayısı 0.354, sürtünme yüzeyi maksimum sıcaklığı 189,7°C, minimum sıcaklık değeri ise 31,6 °C'dir.



Şekil 4.5 30 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği.

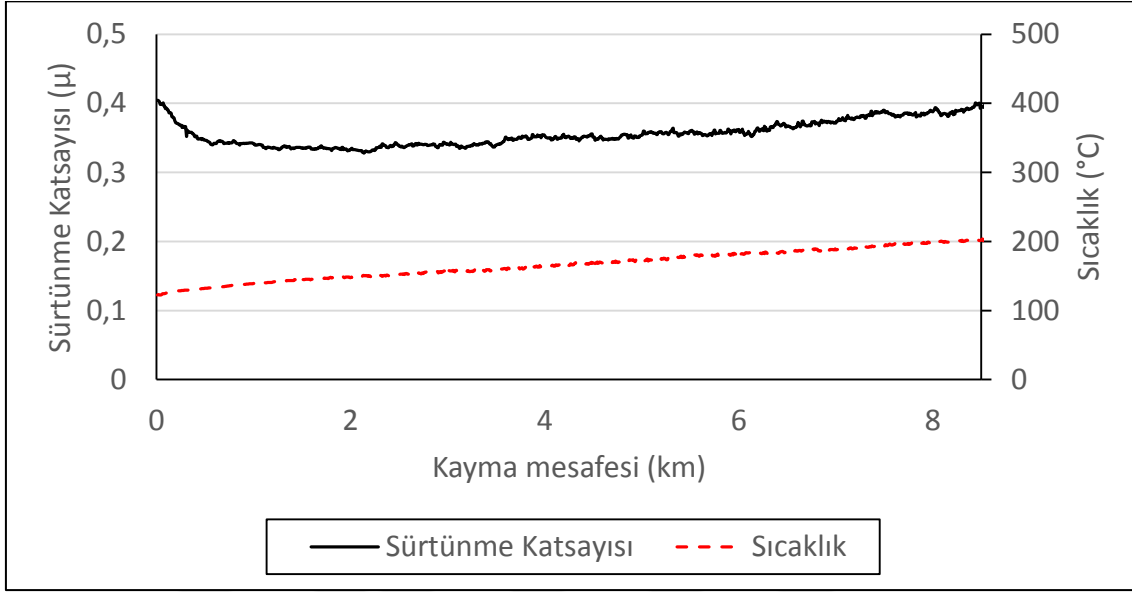
35 MPa basınç altında üretilen balata numunesine ait sürtünme grafiği Şekil 4.6'de görülmektedir. Deney sonucunda; ortalama sürtünme katsayısı 0.334, sürtünme yüzeyi maksimum sıcaklığı 218,1°C, minimum sıcaklık değeri ise 36,4 °C'dir.



Şekil 4.6 35 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği.

40 MPa basınç altında üretilen balata numunesine ait sürtünme grafiği Şekil 4.7'de görülmektedir. Deney sonucunda; ortalama sürtünme katsayısı 0.375, sürtünme yüzeyi

maksimum sıcaklığı 206,7°C, minimum sıcaklık değeri ise 30,7 °C'dir.



Şekil 4.7 40 MPa basınçta üretilmiş numune sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği.

Çizelge 4.1'de ortalama sürtünme katsayısı, kararlılık ve standart sapma verileri paylaşılmıştır. Kararlılık değeri olarak en yüksek değere 25 MPa basınçta üretilmiş balata numunesi sahiptir. Ortalama sürtünme katsayısı değerlerine göre en yüksek değer 40 MPa basınçta üretilmiş balata numunesine aittir.

Çizelge 4.1 Ortalama sürtünme katsayısı, kararlılık ve standart sapma sonuçları.

Basınç Değeri	Ortalama Sürtünme Katsayısı	Kararlılık	Standart Sapma
15	0,34	85,651	0,044
20	0,34	82,683	0,037
25	0,35	92,974	0,052
30	0,35	85,762	0,052
35	0,33	90,429	0,050
40	0,37	88,387	0,053

Çizelge 4.1'de ve Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8'de sürtünme katsayısı ve sıcaklık değerleri verilmiştir. Verilen değerlere göre en yüksek sıcaklık ve sürtünme katsayısı değeri 40 MPa basınçlı numunesine aittir. En düşük ortalama sıcaklık ve sürtünme

katsayısı değeri 35 MPa basınç ile üretilmiş balata numunesine aittir. Elde edilen değerlere göre sürtünme katsayısının sıcaklığa bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Sıcaklık değerlerinin mesafe oranına göre artışı incelendiğinde presleme basıncı ile sıcaklık değerinin doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

4.3 Aşınma Oranı Değerleri

TS555 (2019) standardına göre 200°C sıcaklıkta sürtünme gerçekleşen balata numunesinde aşınma oranı 1×10^{-7} cm³/Nm olması gerekmektedir. Aşınma oranı eşitliği aşağıdaki gibidir (Eşitlik 4.3). Sürtünme sonucunda balata numunelerinden kopan sert partiküllerden dolayı aşınma oranında farklılığa neden olan abrasif aşınmalara yol açmış olabilir.

$$W_a = \frac{\Delta G}{S.M.d} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

W_a : Aşınma oranı

ΔG : Ağırlık kaybı

S: Kayma mesafesi

M: Yükleme ağırlığı

d: Aşınan malzemenin yoğunluğu

Çizelge 4.2 Aşınma Oranı Değerleri.

Basınç Değeri	Aşınma Oranı Değeri
15	2,82E-08
20	2,50E-08
25	1,76E-08
30	2,81E-08
35	2,51E-08
40	2,44E-08

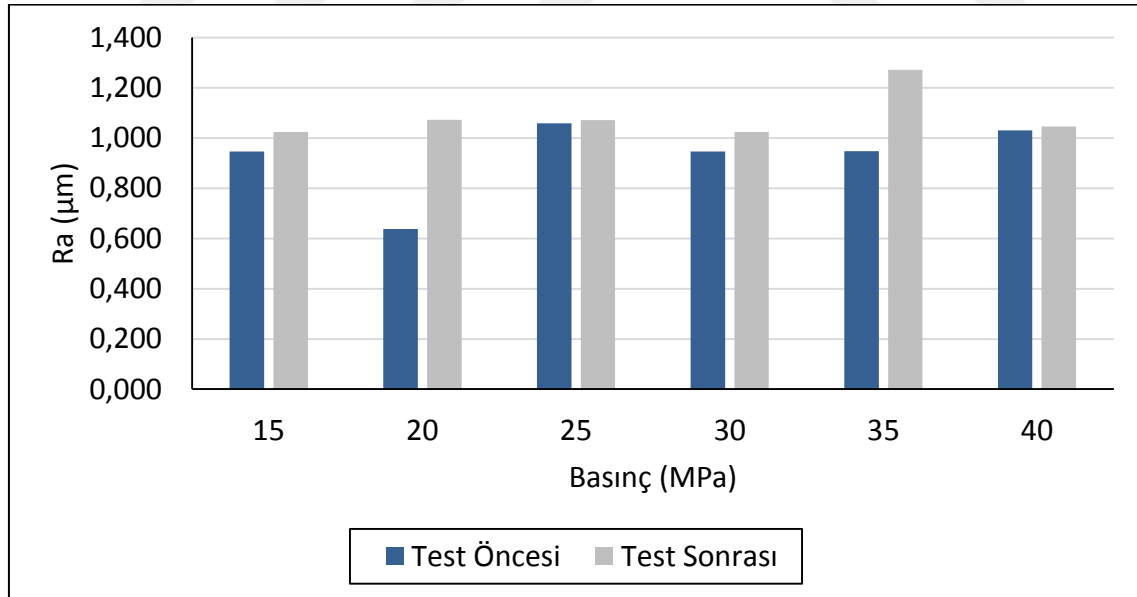
Şekil 4.8'de üretilen balata numunelerindeki aşınma oranları gösterilmiştir. Şekilde

gösterilen veriler incelendiğinde sonuçlar TS555 (2019) standardında belirlenen değerin altında kalarak aşınma oranı uygun bulunmuştur.

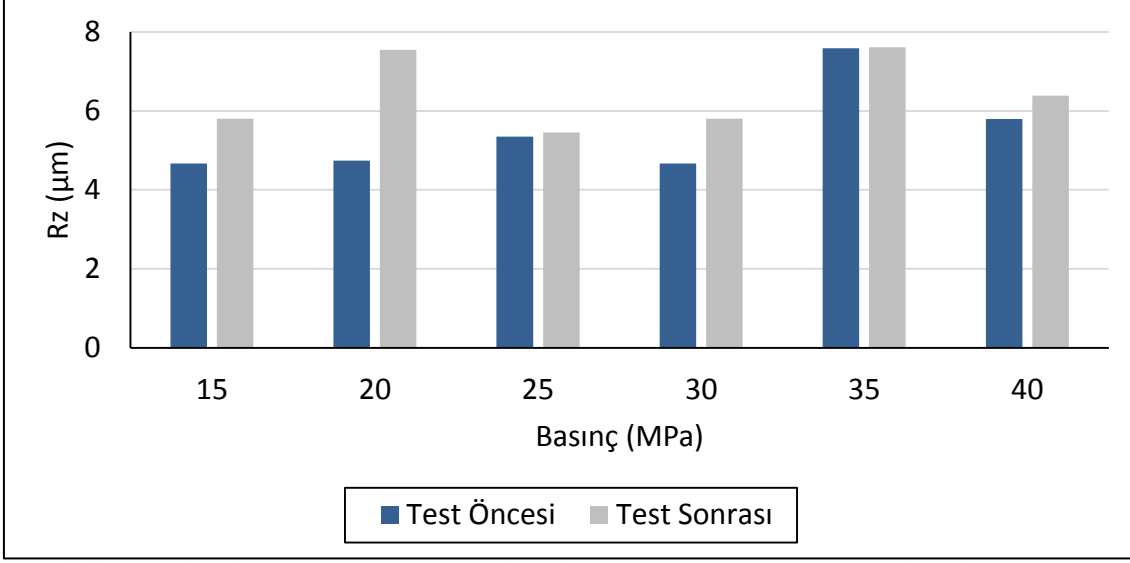
15 ve 30 MPa basınçta üretilmiş numunelerin aşınma oranları neredeyse aynı olmak ile beraber aşınma miktarı en yüksek değere sahip olmuşlardır. 25 MPa basınçta üretilmiş numune kararlılık değeri en yüksek ve en az aşınma miktarına sahip numunedir.

4.4 Disk Pürüzlülük Sonuçları

Test öncesi ve test sonrasında disk üzerinden alınan Ra (Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri) değerleri incelendiğinde 20 ve 35 MPa basınçlı numuneler haricindeki numunelerde pürüzlülük farkı değerinde önemli bir artış gözlemlenmemiştir (Şekil 4.8). Numunelerden alınan Rz değerleri incelendiğinde 20 MPa basınçta üretilmiş balata numunesindeki test öncesi ve sonrası farkı diğer numunelere göre oldukça yüksektir (Şekil 4.9). Disk pürüzlülük farkının bazı numunelerde farklı çıkmasının nedeni abrasif aşınma sonucu numune yüzeyinden kopan sert partiküllerden kaynaklı olabilir.



Şekil 4.8 Test öncesi ve sonrası Ra değerleri.



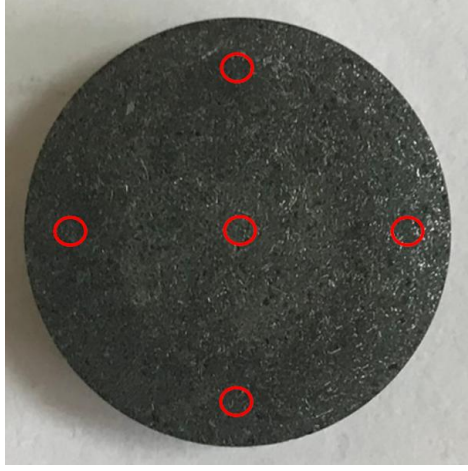
Şekil 4.9 Test öncesi ve sonrası Rz değerleri.

25 MPa basınçlı balata numunesinin sertlik değeri diğer numunelere göre daha düşük olduğu tespit edilse de aşınma oranı ve disk pürüzlülük değişimi en düşük, kararlılık ise en yüksek değere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

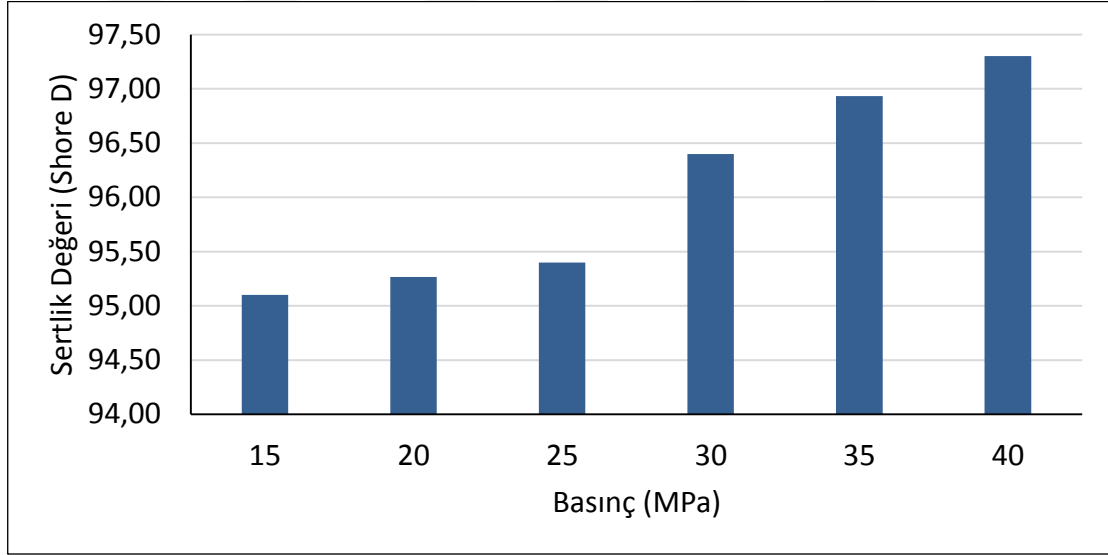
4.5 Sertlik Sonuçları

Üretilen balata numunelerden 3 tanesinin 5 farklı noktasından sertlik ölçüm değerleri alınmıştır. Her bir numuneden alınan değerlerin ortalaması alınmıştır. Shore D sertlik ölçüm değerleri aşağıdaki gibidir. 15 ve 25 MPa basınç altında üretilmiş balataların sertlik değerleri birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. 40 MPa basınçta üretilen numune en yüksek sertlik değerine sahipken, 15 MPa basınçla üretilen numune ise en düşük sertlik değerine sahip olmuştur. Basınç değerleri artmasına bağlı olarak sertlik değerleri artış göstermiştir.

Üretilmiş 4 adet balata numunesi üzerinde yapılan sertlik ölçüm sonucu ortalama sertlik Shore D değeri 83 olarak bulunmuştur. (Akdoğan 2020) İçeriğinde bakır tozu, kaya yünü ve aramid lifler bulunan balata numuneleri üretilmiştir ve sonrasında yapılan sertlik ölçüm Shore D değeri ortalama 78 olarak tespit edilmiştir (Ertan ve Yavuz, 2010). Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde sertlik ölçüm birimi olarak Shore D kullanılmıştır.



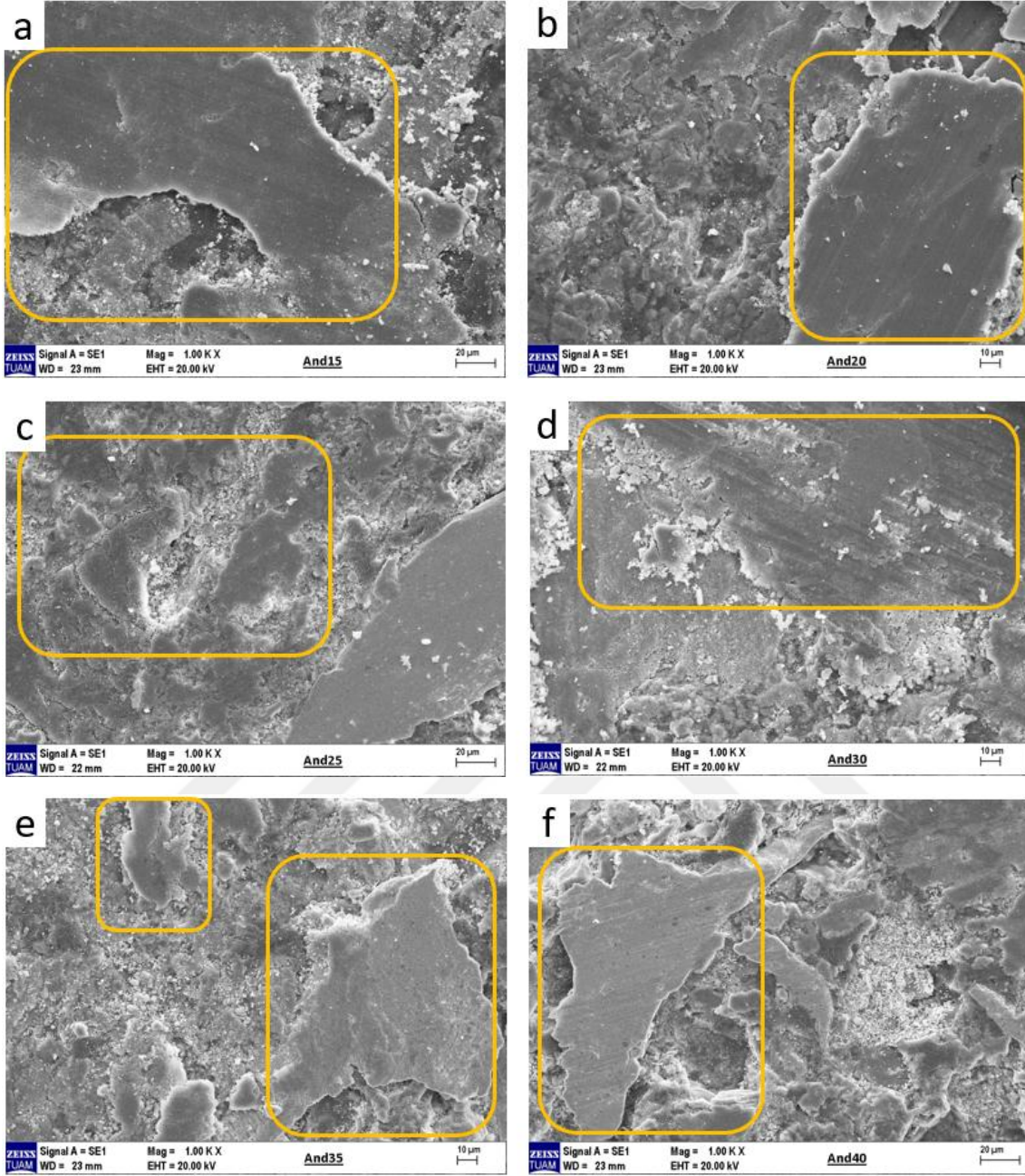
Resim 4.1 Fren balata numunesi sertlik ölçüm noktaları.



Şekil 4.10 Shore D sertlik ölçüm sonuçları.

4.6 SEM

Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan SEM analiz cihazı ile Şekil 4.11'de bulunan görüntüler elde edilmiştir. 1000x büyütme sonucunda elde edilen görüntüler incelendiğinde test sonrası oluşan sürtünme tabakaları tespit edilmiştir.



□ Sürtünme Tabakası

Şekil 4.11 a) 15 MPa, b) 20 MPa, c)25 MPa, d)30 MPa, e)35 MPa, f)40 MPa basınç altında üretilmiş balata numunelerin aşınma izlerine ait SEM görüntüleri.

40 MPa basınç altında üretilen numunelerin sürtünme yüzey alanı diğer numunelere göre azdır. Bunun nedeni, sertlik sonuç değeri diğer numunelere göre yüksek olduğu düşünülmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, toz haldeki malzemeler farklı basınç parametrelerinde balata numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. 15, 20, 25, 30, 35, 40 MPa basınç değerleri ile üretilen numunelere testler yapılmıştır. Testler sonucunda aşınma oranı, sürtünme katsayısı, yoğunluk, sertlik ve SEM değerleri incelenmiştir.

Yapılan testler sonucunda;

- Numune içeriğini oluşturan malzemelerden biri olan andezit tozu, endüstriyel atık olarak temin edilmiştir ve numune üretiminde kullanılmıştır. Bu sayede geri dönüşüme ve malzeme maliyetine olumlu katkı sağlamıştır.
- Test sonrası yoğunluk değerleri incelendiğinde basınç ve yoğunluk değerleri doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Yoğunluk değeri en yüksek 40 MPa, en düşük 15 MPa basınç altında üretilmiş balata numunelerine aittir.
- Sertlik değerleri sonuçlarına göre ortalama Shore D değeri 96,07 olarak tespit edilmiştir. Numunelere göre sertlik değeri, basınç artış oranı ve yoğunluk ile doğru orantılı olarak artış göstermiştir.
- 20, 25 ve 30 MPa basınçlar altında üretilmiş numunelerin sürtünme katsayısı grafiklerinde stabil bir sürtünme katsayısı görülmüştür. Sürtünme katsayısı kararlılığı tüm numunelerde oldukça yüksek çıkmıştır.
- 6 numuneden alınan ortalama sürtünme katsayısı 0,34 μ 'dur ve TS555 (2019) standardının belirttiği uygun sürtünme katsayısı aralığı olan 0,25-0,70 μ değer aralığındadır. Bu nedenle, sürtünme katsayısı sonuçları standarda uygun olduğu gözlemlenmiştir.

- Sürtünme testi sonucu alınan aşınma oranları incelendiğinde aşınma oranı değer farkları numuneler arasında oldukça düşüktür.
- Yoğunluk, sertlik ve sürtünme katsayısı değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değer 40 MPa basınçta üretilen balata numunesine aittir. Sonuç olarak, yoğunluk, sertlik ve sürtünme katsayısı doğru orantılıdır.

5.2 Öneriler

- Endüstriyel atık olarak kullanılabilen andezit malzemesini sadece balata ürünlerinde değil, sürtünmeye veya dayanıma maruz kalan farklı çalışmalarda kullanılabilir.
- Balata üretiminde ilk kez kullanılan andezit malzemesi farklı oranlarda karışımlar oluşturularak numune üretimi ve tribolojik incelemeleri yapılabilir.
- Aynı alanda farklı denemeler yapılmadan önce sonlu elemanlar yazılım programları üzerinden ön hazırlık yapılabilir. Bu sayede, hangi değerler için deney yapılmasına daha hızlı karar verilebilir.
- Deney sonuçları standartlara göre uygun bulunan balata numuneleri ticari balataların geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akdoğan K, 2020, Asbestsiz Bağlayıcı ile Üretilen Fren Balatalarında Demir Cürufu Kullanımının Frenleme Performansına Etkisi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Karabük.
- Akincioğlu G, Akincioğlu S, Öktem H, Uygur İ, 2020, Wear Response of Non-asbestos Brake Pad Composites Reinforced With Walnut Shell Dust, Journal of the Australian Ceramic Society, 56, 1061-1072.
- Albayrak B, 2009, Bronz Balatalarında Üretim ve Performans Testleri, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Sakarya.
- Aras S, 2019, Organik Malzeme Esaslı Hibrit Sürtünme Kompozitlerinin Balata Üretiminde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 106s, Konya.
- Başar G, Buldum B. B, Sugözü İ, 2018, Kolemanit ve Boraks Takviyeli Fren Balatalarının Sürtünme Performansı, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 635-644.
- Boz M, 2003, Seramik Takviyeli Bronz Eseslı Toz Metal Fren Balata Üretimi ve Sürtünme-Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Doktora Tezi, 130s, Ankara.
- Choosri S, Sombatsompop N, Wimolmala E, Thongsang S, 2018, Potential use of fly ash and bagasse ash as secondary abrasives in phenolic composites for eco-friendly brake pads applications, Institution of Mechanical Engineers, 10.1177/0954407018772240.
- D2240, Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness, ASTM, West Conshohocken.
- Erdem M, Altıparmak D, 2014, Fren Disk Sıcaklığının Frenleme Performansına Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi, 29, 425-432.

- Ertan R, Yavuz N, 2010, Balata Malzemelerinde Kullanılan Yapısalın Balatanın Tribolojik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 15, 169-177.
- Güney B. ve Mutlu İ, 2015, Taşıtlarda AB ve ABD’nde Uygulanan Fren Test Standartlarının İncelenmesi, 2014, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 7-16.
- Keskin E, 2019, Zeytin Çekirdeği Tozlarının Taşıt Fren Balatalarında Kullanımı ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 47s, Konya.
- Kurt A, Boz M, 2004, Wear behaviour of organic asbestos based and bronze based powder metal brake linings, Materials and Design, 26, 717–721.
- Lee J, Lim J.W, Kim M, 2020, Effect of thermoplastic resin transfer molding process and flame surface treatment on mechanical properties of carbon fiber reinforced polyamide 6 composite, Polymer Composites 41-4, 1-13.
- Malak A, Mutlu, İ, Aysal F, Bayrakçeken H, Özgören Y, Yavuz İ, 2015, The Effect of Carbon Fiber Additive in Automotive Friction Materials, International Sysposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 3-6 June 2015, 998-1005.
- Mavi A, 2014, Taşıt Frenlerinde Sıcaklık Etkisine Bağlı Olarak Fren Kuvveti Değişiminin Deneysel Olarak İncelemesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, Afyonkarahisar.
- Öktem H, Akıncıoğlu S, Uygur İ, Akıncıoğlu G, 2021, A novel study of hybrid brake pad composites: new formulation, tribological behaviour and characterisation of microstructure, Plastics, Rubber and Composites, 50-5, 1-13
- Pujari S, Srikan S, 2019, Experimental investigations on wear properties of Palm kernel reinforced composites for brake pad applications, Defence Technology, 15-3, 295-299.
- Rajaei H, Griso M, Menapace C, Dorigato A, Perricone G, Gialanella S, 2020, Investigation On The Recyclability Potential of Vehicular Brake Pads, Results in Materials, 8, 1-10.

- Saindane U. V, Soni S, Menghani J. V, 2021, Studies on mechanical properties of brake friction materials derived from carbon fibres reinforced polymer composite, *Materials Today*, 17, 5760-5765.
- Sarışık A, Ersoy B, Görkem Ö, Ergün H, Ak C. G, Sırışık G, Ergün M, 2009, Doğaltaş(Andezit) üzerine seramik sır uygulamaları, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3, 209-216.
- Sugözü B, 2015, Otomotiv Fren Balata Malzemelerinde Maun Cevizi Tozunun Sürtünme Performansına Etkisi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8-2, 166-177.
- Sugözü B, 2016, Nano Silika, Nano Alümina ve Nano Zirkon Aşındırıcı Parçacık Katkısının Fren Balata Özelliklerine Etkisi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 105, Konya.
- Sugözü B, Buldum B, Sugözü İ, 2018, Üleksit ve Boraks İçeren Fren Sürtünme Malzemelerinin Tribolojik Özellikleri, *Bor Dergisi*, 3, 126-131.
- Surojo E, Jamasri V, Ilman M, Ilman M.N, 2014, Effect of Phenolic Resin And Fly Ash On Coefficient of Friction of Brake Shoe Composite, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9, 2234-2240.
- Timur H, Kuşçu H, 2014, Heat transfer of brake pad used in the autos after friction and examination of thermal tension analysis, *Mechanika*, 20, 17-23.
- Timur M, Kılıç H, 2013, Mermer Atıkları Kullanılarak Üretilen Otomotiv Fren Balatalarının Sürtünme Katsayısının Farklı Fren Balataları ile Karşılaştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 10-14.
- TS555, 2019, Karayolu Taşıtları–Fren Sistemleri–Sürtülmeli Frenler İçin Balatalar, TSE, Ankara.
- Ünaldı M, Kuş R, 2018, The determination of the effect of mixture proportions and production parameters on density and porosity features of Miscanthus reinforced brake pads by Taguchi method, *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 7, 48-57.

- Wang Z, Hou G, Yang Z, Jiang Q, Zhang F, Xie M, Yao Z, 2016, Influence of slag weight fraction on mechanical, thermal and tribological properties of polymer based friction materials, *Materials and Design*, 90, 76-83.
- Xiao X, Yin Y, Jiusheng B, Lu L, Feng X, 2016, Review on the friction and wear of brake materials, 8, 1-10.
- Yavuz H, Bayrakçeken H, 2022, Investigation of Friction and Wear Behavior of Composite Brake Pads Produced with Huntite Mineral, *International Journal Of Automotive Science And Technology*, 6, 9-16
- Yawas D. S, Aku S. Y, Amaren S. G, 2013, Morphology and Properties of periwinkle shell asbestos-free brake pad, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 28, 103-109.
- Yılmaz A.C, 2022, Effects of fly ash introduction on friction and wear characteristics of brake pads, *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 111, 96-103.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/08/diskli-fren-sistemi-parcalari-ve-calismasi.html>, 18.11.2022
- 2- <https://www.tech-worm.com/diskli-fren-sistemi-nedir-nasil-calisir/>, 18.11.2022
- 3- <https://www.makinaegitimi.com/kampanali-hidrolik-fren-ve-calisma-sistemi/>, 15.12.2022
- 4- <https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/08/kampanali-fren-sistemi-parcalari-calismasi.html>, 29.11.2022
- 5- <https://www.arabam.com/otomobil-terimleri-sozlugu/fren-balatasi>, 19.06.2023
- 6- <http://www.digiwork.ca/product.html?title=TIME%20TR220%20Surface%20Roughness%20Tester&list=products/data143>, 31.12.2022
- 7- <https://tuam.aku.edu.tr/2016/02/19/sem/> 31.12.2022
- 8- <https://corepany.com/cukurova/urun-gruplarimiz/balata-recineleri.html/>, 14.06.2023
- 9- <https://www.bilgiler.gen.tr/fenolik-recine.html#top>, 14.06.2023



ÖZGEÇMİŞ

