

**OTOMOTİV FREN BALATALARINDA FARKLI BAĞLAYICI
MALZEME KULLANIMININ FRENLEME
PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜRŞAT KAHYA

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
MAYIS - 2017**

**OTOMOTİV FREN BALATALARINDA FARKLI BAĞLAYICI
MALZEME KULLANIMININ FRENLEME PERFORMANSINA
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜRŞAT KAHYA

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**


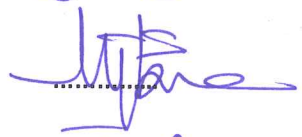

**İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ**

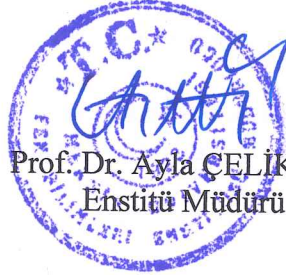
**MERSİN
MAYIS - 2017**

ONAY

Kürşat KAHYA tarafından Yrd. Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ'nün danışmanlığında hazırlanan "Otomotiv Fren Balatalarında Farklı Bağlayıcı Malzeme Kullanımının Frenleme Performansına Etkisinin Araştırılması" başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	Prof. Dr. Ali KESKİN	
Üye	Doç. Dr. Uğur EŞME	
Üye	Yrd. Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ	

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18./05./2017 tarih ve 2017/34/21 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Ayla CELİK
Enstitü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabir

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara 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 ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
 - Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
 - Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
 - Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi
- beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

02 Mayıs 2017 / 02 May 2017

Kürşat KAHYA

ÖZET

OTOMOTİV FREN BALATALARINDA FARKLI BAĞLAYICI MALZEME KULLANIMININ FRENLEME PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada; bağlayıcı malzemesi olarak karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstıkçamı ve sedir kozalağı tozu farklı kütleli miktarlarda balata kompozisyonunda kullanılmış ve karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstıkçamı ve sedir kozalağı tozu katkılı balatalar üretilmiştir. Üretilen balataların, Pin-on disk tipi test cihazında sürtünme testleri yapılmış ve elde edilen verilerle zamana bağlı sürtünme katsayısı - sıcaklık grafikleri oluşturularak performansları değerlendirilmiştir. Üretilen numunelerin sürtünen yüzeylerinin mikro yapıları taramalı elektron mikroskopu (SEM) analiziyle incelenmiştir. Sürtünme ve aşınma karakteristiklerini etkileyen faktörlerden yoğunluk ve özgül aşınma ölçülerek numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sertlik değerleri ise Brinell test cihazında belirlenmiştir. Testlerin sonuçlarına göre sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstıkçamı ve sedir kozalağı tozlarının fenolik reçineye bir alternatif olarak bağlayıcı malzemesi olarak balatalarda kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme, Aşınma, Fren Balatası, Karaçam, Kızılçam, Sarıçam, Fıstıkçamı, Sedir (8 adet)

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ, Mersin Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT TO BRAKING PERFORMANCE OF USE OF DIFFERENT BINDER MATERIALS IN AUTOMOTIVE BRAKE PADS

In this study; *pinus nigra*, *pinus brutia*, *pinus sylvestris*, *pinus nigra* and *cedrus libani* cones powder are used in different mass quantities on lining composition as a binding material and *pinus nigra*, *pinus brutia*, *pinus sylvestris*, *pinus nigra* and *cedrus libani* cones powder doped pads are manufactured. The produced pads were tested on pin-on disk test apparatus and the data obtained from time-dependent friction coefficient-temperature performance was evaluated through graphics. The microstructures of the sliding surfaces of the produced samples were analyzed by Scanning Electron Microscope (SEM) analysis. The physical and mechanical properties of the examples are determined by measuring the affecting factors of friction and wear characteristics as density and specific. The friction coefficients were obtained based on the results of the tests. Besides, hardness values were determined in the Brinell tester. It is determined that *pinus nigra*, *pinus brutia*, *pinus sylvestris*, *pinus nigra* and *cedrus libani* cones powders can be used as a binding material in pads as an affecting factors to samples friction and wear characteristics, density and specific alternative to phenolic resin.

Keywords: Friction, Wear, Brake Pads, Pinus Nigra, Pinus Brutia, Pinus Sylvestris, and Cedrus Libani (8 keywords)

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ilker SUGOZU, Department of Manufacturing Engineering, University of Mersin

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca akademik anlamda beni yönlendiren ve hiçbir konuda desteğini esirgemeyen, tez çalışmalarımın her adımında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam ve danışmanım Yrd. Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ'ye teşekkür ederim.

Numune üretmem için gerekli malzemelerin temininde bana yardımcı olan Tarsus ve Kastamonu OGM'lerine teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili ailem, babam Cevat KAHYA, annem Berrin KAHYA, ablam Bilge KAHYA'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLOLAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR ve SİMGELER	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	2
1.1.1. Otomotiv Fren Balataları ve Özellikleri	4
1.1.2. Balata Çeşitleri	4
1.1.2.1. Metalik Esaslı Fren Balataları	4
1.1.2.2. Karbon Esaslı Fren Balataları	4
1.1.2.3. Organik Polimer Esaslı Fren Balataları	4
1.1.3. Balata Oluşumunda Kullanılan Malzemeler ve Fonksiyonları	5
1.1.3.1. Elyaf lar	5
1.1.3.2. Dolgu Maddeleri	7
1.1.3.3. Sürtünme Ayarlayıcı Maddeler	7
1.1.3.4. Temizleyiciler	8
1.1.3.5. Renklendiriciler	8
1.1.3.6. Madeni Dolgu Malzemeleri	8
1.1.3.7. Bağlayıcı Maddeler	8
1.1.3.8. Bağlayıcı Madde Olarak Orman Tali Ürünleri ve Kullanımı	9
2.KAYNAK ARAŞTIRMALARI	15
3.MATERYAL ve YÖNTEM	15
3.1.Deney Düzeneginin Tanıtılması	15
3.1.1. Bilgisayar Programı	16
3.1.2. Yük Hücresi	18
3.1.3. İnvörtör	18
3.1.4. Hidrolik Ünite	19
3.1.5.Sıcaklık Ölçme Cihazı	20
3.1.6. Hassas Teraz i	20
3.1.7. Fren Disk i ve Balata Tutucu Kaliper	21
3.1.8. Sertlik Ölçüm Cihazı	21
3.1.9. Toz Karıştırma Cihazı	22
3.1.10. Elek Sallama Cihazı Ve Elekler	22
3.1.11. Yoğunluk Ölçüm Cihazı	23
3.1.12. Numune Kaplama Cihazı	23
3.1.13. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	24
3.1.14. Disk Torna Aparatı	25
3.2. Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi	25
3.2.1. Toz Karıştırma Süresi	26
3.2.2. Toz Karıştırma Devri	26
3.2.3. Soğuk Pres Basıncı	26

3.2.4. Soğuk Pres Zamanı	27
3.2.5. Sıcak Pres Basıncı	28
3.2.6. Sıcak Pres Zamanı	28
3.2.7. Sıcak Pres Sıcaklığı	28
3.3. Fren Balataları İçin Türk Standartlarında Belirlenen Deney Şartları	29
3.4. Deney Numuneleri Test Aşamaları	30
3.4.1. Deney Numunelerinin Üretilmesi	30
3.4.2. Deney Numunelerinin İçerikleri	32
3.4.3. Komprime (Soğuk Presleme)	33
3.4.4. Pişirme (Sıcak Presleme)	34
3.4.5. Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması	35
3.4.6. Aşınma ve Sürtünme Deneyleri	36
3.4.7. Sertlik Ve Yoğunluk Testleri	37
3.4.8. SEM Fotoğrafları	38
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	39
4.1 GİRİŞ	39
4.2. Karamçam Kozalağı Tozu Katkılı Fren Balataları	39
4.2.1. Sürtünme Performansı	39
4.2.2. Yüzey Karakteristiği	43
4.3. Kızılçam Kozalağı Tozu Katkılı Fren Balataları	44
4.3.1. Sürtünme Performansı	44
4.3.2. Yüzey Karakteristiği	47
4.4. Sarıçam Kozalağı Tozu Katkılı Fren Balataları	49
4.4.1. Sürtünme Performansı	49
4.4.2. Yüzey Karakteristiği	51
4.5. Fıstık Çamı Kozalağı Tozu Katkılı Fren Balataları	53
4.5.1. Sürtünme Performansı	53
4.5.2. Yüzey Karakteristiği	56
4.6. Sedir Kozalağı Tozu Katkılı Fren Balataları	57
4.6.1. Sürtünme Performansı	57
4.6.2. Yüzey Karakteristiği	60
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	62
5.1. SONUÇLAR	62
5.2. ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	69

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. DeneYlerde kullanılan ağaç türleri	9
Tablo 3.1. Ortak içerik olarak belirlenen katkı maddelerinin kütleSel oranları	31
Tablo 3.2. KarışımDa kullanılan maddelerinin kütleSel oranları (%)	31
Tablo 3.3. Numunelerin %'de oranları (kütleSel)	32
Tablo 4.1. Karaçam kozalağı tozu katkılı numunelerin tribolojik özellikleri	43
Tablo 4.2. Karaçam kozalağı tozu katkılı numunelerin fiziksel özellikleri	43
Tablo 4.3. Kızılçam kozalağı tozu kullanılan numunelerin tribolojik özellikleri	47
Tablo 4.4. Kızılçam kozalağı tozu katkılı numunelerin fiziksel özellikleri	47
Tablo 4.5. Sarıçam kozalağı tozu katkılı numunelerin tribolojik özellikleri	51
Tablo 4.6. Sarıçam kozalağı tozu katkılı numunelerin fiziksel özellikleri	51
Tablo 4.7. Fıstıkçamı kozalağı tozu katkılı numunelerin tribolojik özellikleri	55
Tablo 4.8. Fıstıkçamı kozalağı tozu katkılı numunelerin fiziksel özellikleri	55
Tablo 4.9. Sedir kozalağı tozu katkılı numunelerin tribolojik özellikleri	59
Tablo 4.10. Sedir kozalağı tozu katkılı numunelerin fiziksel özellikleri	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Fren balatası	4
Şekil 3.1. Deney düzeneği	15
Şekil 3.2. Balata Test Programı	16
Şekil 3.3. Program grafik gösterge paneli	17
Şekil.3.4. Fren balata test cihazının manuel kontrol paneli	17
Şekil 3.5. Yük hücresi	18
Şekil 3.6. İnvertör	19
Şekil 3.7. Hidrolik ünite	20
Şekil 3.8. Hassas terazi	21
Şekil 3.9. Fren diski ve kaliper	21
Şekil 3.10. Brinell sertlik ölçüm cihazı	22
Şekil 3.1.9.1. Toz Karıştırma Cihazı	22
Şekil 3.12. Elek Sallama Cihazı ve Elekler	23
Şekil 3.13. Numune kaplama cihazı	24
Şekil 3.14. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	24
Şekil 3.15. Disk torna aparatı	25
Şekil 3.16. Soğuk pres kalıbı	33
Şekil 3.17. Ön şekillendirme sonrası fren balata numunelerinin görünümü	34
Şekil 3.18. Sıcak Pres Kalıbı	34
Şekil 3.19. Sıcak pres ile imal edilen balatalar	35
Şekil 3.20. Deney numunelerinin üretim akış şeması	35
Şekil 3.21. Balata tutucu ve balata	36
Şekil 4.1. FR kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği	40
Şekil 4.2. KA-8 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği	41
Şekil 4.3. KA-12 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği	42
Şekil 4.2.2.1. KA kodlu fren balata numunelerinin SEM fotoğrafları	44
Şekil 4.5. KI-8 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği	45
Şekil 4.6. KI-12 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği	46
Şekil 4.7. KI kodlu fren balata numunelerinin SEM fotoğrafları	48
Şekil 4.8. SA-8 kodlu fren alata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği	49
Şekil 4.9. SA-12 kodlu fren alata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği	50
Şekil 4.10. SA kodlu fren balata numunelerinin SEM fotoğrafları	62
Şekil 4.11. FI-8 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği	54
Şekil 4.12. FI-12 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği	54
Şekil 4.13. FI kodlu fren balata numunelerinin SEM fotoğrafları	56
Şekil 4.14. SE-8 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği	58
Şekil 4.15. SE-12 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği	59
Şekil 4.16. SE kodlu fren balata numunelerinin SEM fotoğrafları	60
Şekil 4.17. Numunelerin karşılaştırılması	61

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
f_m	Deneydeki Ortalama Sürtünme Kuvveti (N)
V	Özgül Aşınma (g/mm^2)
m_1	Deneyden Önce Ölçülen Balata Kütlesi (g)
m_2	Deneyden Sonra Ölçülen Balata Kütlesi (g)
ρ	Balata Yoğunluğu (g/cm^3)
Rd	Disk Yarıçapı (m)
μ	Sürtünme Katsayısı
n	Toplama Devir Sayısı(devir)
F	Deney Yüğü
D	Batıcı Bilye Çapı (mm)
d	Bilye İzi Ortalama Çapı (mm)
s	Saniye
T/M	Toz Metalurjisi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopi
BS	Brinell Sertlik Değeri

1. GİRİŞ

Frenler; hareket enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek taşıtın hareketini kontrol eden, yavaşlatan veya durduran elemanlardır [1]. Bunun yanı sıra hareketsiz halde duran taşıtın bir kuvvet etkisiyle ivme kazanmasının ve eğimli yollarda istenilmeyen hızlanmaların önüne geçmek için de kullanılır [2].

Sürtünme mekanizmaları ve sürtünme malzemeleri konusunda otomobil icat edilene kadar kayda değer bir gelişme olmamıştır. İlk üretilen otomobillerde deri malzemeler balata olarak kullanılmış, 1902'de zift veya zift ve kauçuk emdirilmiş pamuktan üretilen deriden daha iyi sürtünme karakteristiğine sahip sürtünme malzemeleri üretilmeye başlanmıştır. Fakat bunlar ağır kullanım şartlarında alev alıp yanabilmekteydi. İlk defa dokunmuş asbest fren balatasını 1905'de F.C. Stanley tarafından geliştirilmiş, 1906 yılında zift yerine uygun bağlayıcılar kullanılmış ve balatalara ısı işlem uygulanması suretiyle uçucu maddelerin uzaklaştırılması sağlanmıştır [5]. Fren balataları literatürde önceden belirlenmiş minimum gürültü, çalışma ömrü, sürtünme kararlılığı ve vibrasyonu karşılamak üzere tasarlanmalıdır. Sürtünme kararlılığı; fren balatasında ıslak, kuru, sıcak ve soğuk çevre şartları etkisindeki ve farklı frenleme hızlarındaki performansını anlatır. Bundan dolayı güvenliği etkileyen faktörlerin başında gelir [3]. Fren balataları; metal veya metal dışı çok ince tozlar halindeki malzemelerin karıştırılması, soğuk pres kalıbında şekillendirilmesi, istenilen şekilde sıcak pres kalıbında pişirilmesi ve kontrollü bir atmosfer altında belirlenen süre içerisinde sinterlenmesini içeren üretim prosesinden oluşmaktadır [4]. Bu şekildeki üretimin tercih edilmesinin sebebi, farklı niteliklere sahip malzemelerin özelliklerini kaybetmemesinden dolayıdır [3]. Aracın seyir halinde bulunduğu farklı hava ve yol şartlarında su, nem ve yağ gibi olumsuz yol etkilerine maruz kalmaları sürtünme malzemelerinin kısmen özelliklerinin bozulmasına sebep olur. Uzun süreli çalışmalarda balata sürtünme yüzeyi ısının etkisi ile sertleşmekte ve parlaklaşmaktadır. Pürüzlülüğü azalmış olan sürtünen yüzeyler birbiri üzerinde daha kolay kaymasından dolayı kullanım esnasında balatalarda meydana gelebilecek olumsuz etkilerin minimuma düşürebilmek için yeni balatalar yapılırken çekme, basma, aşınma, ısı, suya ve yağa dayanıklılık gibi mekanik testlerden geçirilir. Fren balataları, birinci dereceden sürtünme davranışını belirleyen ve aşınan elemandır. Fakat fren kampana ve disk malzemeleri de fren sürtünme ve aşınmasını etkiler. Otomotiv sürtünme malzemeleri organik, metalik ve karbon esaslı olmak üzere 3 temel üzerinde sınıflandırılır. Günümüzde otomotiv frenlerinde organik balatalar kullanılmaktadır. Bunlar; asbest olmayan organik (NAO), yarı metalik ya da reçine oluşumlu metalik olmak üzere 3 alt sınıfa ayrılabilir.

NAO fren balatası formülleri hızlı olarak değişmektedir. Bu formülasyonlar genelde onların ne içermediğini belirtir. Örneğin: Asbest olmayan, metalik olmayan gibi. En yaygın

kullanılan fiberler; cam fiber, mineral yün, metal, seramik, paramid (keklar), selülözük ve diğer organik formlardır.

Bilim insanlarını, asbestin bu zararlı etkilerinden dolayı insan sağlığını tehdit etmeyen ve asbestle benzer özellikler taşıyan farklı malzemelere yöneltmiştir.

Bir balatadan istenilen sürtünme ve aşınma değerlerini sağlaması, insan sağlığına ve çevreye zararlı olmaması, aynı zamanda düşük fiyatla imal edilebilir olması ve ülke ekonomisine katkıda bulunması beklenmektedir.

1.1.Genel Bilgiler

1.1.1.Otomotiv Fren Balataları ve Özellikleri

TS 555'e göre balatalar, sürtünmeli frenlerde uygulanan fren kuvvetinin, araçların tekerlekleri ile bağlantılı disk veya kampanalara sürtünme yolu ile aktarılmasını sağlayan elemanlar olarak tanımlanır [6].

Fren sistemlerinde sürtünmeyi sağlayan temel eleman fren balatasıdır. Dönen bir diske (veya kampanaya) balata tarafından uygulanan basınç ile disk-balata ara yüzeyinde temas sağlanır. Diskin hızını yavaşlatmak veya durdurmak için kinetik enerji sürtünme işi tarafından ısıya dönüştürülmektedir. Ara yüzeyde oluşan sürtünme kuvveti sürtünme katsayısına bağlı olarak değişir. Frenlemenin en yüksek verimle yapılabilmesi için en önemli kriterlerden biri de yüksek bir sürtünme katsayısıdır. Bunun için bir fren sisteminde sürtünme katsayısını etkileyen faktörler tasarımda önemli yer tutmaktadır. Bu faktörler; kayma hızı, frenleme basıncı, sıcaklık, frenleme süresi ve sayısı, disk ve balata malzemeleridir. Ancak temel olarak bir fren sisteminde sürtünme ve performans balata yapısına bağlı olarak değişir.

Balata malzemelerinde istenilen özellikleri belirlemek için çalışma şartlarının çok iyi bilinmesi gerekir. Balata yüzeylerinde oluşan sıcaklık artışının sebebi balata yüzeyine etki eden basıncın, aracın hızı ve sürtünmeden dolayıdır. Balatadan istenen özellikler hafif-orta-ağır gibi çalışma şartlarına göre belirlenmektedir [7].

Fren sistemi elemanlarının, sürtünme ve aşınma özelliklerini fren tasarımı, malzemeye ve balataya etkileyen koşullar belirler. Fren sistemindeki disk ve balata sürekli olmayan değişik büyüklükteki sıcaklık ve basınç etkisinde çalışmasından dolayı tribolojik davranışları, karmaşıktır. Birbirine sürtünen yüzeyler 1 m/sn'de 1000oC den 1100oC ye ulaşır ve temas durumu ortadan kalktığında aktif olarak soğur. Yüksek kabiliyetli, anizotropik sürtünme malzemeler heterojen ve değişken davranış özelliği olan termoelastik özelliğinden kurtulmak için geliştirilmiştir [8].

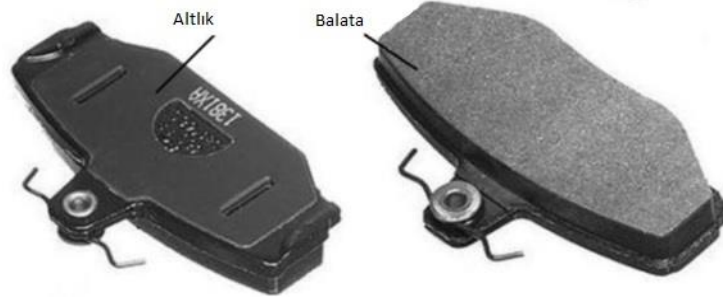
Frenleme sırasında enerji emilimi ve yüzeylerin pürüzlülüğü sonucu meydana gelen sıcaklık, sürtünme katsayısını önemli ölçüde etkiler, sıcaklığın yükselmesi durumunda fren balatasında sürtünme katsayısının olumsuz olarak etkilenmesine sebep olur ve sistem gerektiği gibi çalışamaz duruma gelebilir [9].

Tüm bu varsayımların ışığında aşınan malzeme tüm frenleme hallerinde stabil bir sürtünme katsayısı (μ) değerine sahip olmalıdır. Fakat pratikte frenleme süresi, taşıt hızı veya fren basıncı parametrelerinden herhangi biri ya da birkaçının aynı anda artmasıyla oluşacak sıcaklık yükselmesi sonucunda sürtünme katsayısı değerinde düşme olduğu görülür. Taşıtların farklı devirlerinde yapılan sürtünme işlemi esnasında aracın kullanıldığı yol ve hava şartları hiçbir zaman ve hiçbir şekilde fren kuvvetine olumsuz olarak etki etmemelidir [10].

Literatürde balatalardan istenen özellikler her çalışma şartlarında sabit sürtünme performansı, hava şartlarından etkilenmemesi, çevreye ve insan sağlığına zarar vermemesi, kolay ve ucuz üretilebilmesi, sürtünme katsayısının fren basıncı, sıcaklık ve hızdan etkilenmemesi, aşınma direncinin yüksek olması, düşük sıkıştırılabilirliğe sahip olması, yüksek ısı iletkenliği, iyi korozyon direnci, yüksek mekanik dayanım, düşük gürültü ve titreşim seviyesi, yüksek aşınma dayanımı, disk malzemesini minimum seviyede aşındırma, yüksek sıcaklık direnci ve beklenen kullanım ömrünü sağlayabilmesi şeklinde özetlenmiştir.

Tekerleğe bağlı bulunan bir fren disk, semer içine yerleştirilmiş iki balata arasında her iki tarafından sıkıştırılmak suretiyle çalışmaktadır. Disk fren sistemlerinde sürtünme malzemesini (balata), dönen fren diskine her iki yönden sıkıştırmak için bir piston kullanılmaktadır. Bu sıkıştırma etkisi ile tekerleklerin devri azalmakta, araç da tekerlekler ile yol yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı durmaktadır.

Disk ve balata yüzeyi arasında kaymalar kaçınılmazdır. Aşınma, ısınma ve yıpranmalar bu aşamada olmaktadır. Sürtünmeden ötürü açığa çıkan ısı yüzey sıcaklığını yükseltmektedir. Disk frenler bu tür etkilere karşı daha dirençlidir. Çünkü fren sistemi çevresinde hava dolaşımı daha elverişlidir. Bazı disklerin içine hava sirkülasyonlarına imkân veren kanallar açılmıştır. Yağmurlu havalarda su merkezkaç kuvvet yardımı ile diskin düşey yüzeyinden kolayca akar ve balatalar disk yüzeyine sürekli temas eder, bu durum su birikmesini ve frenlerin kaymasını etkili bir biçimde önler. Şekil 1.1.' de disk fren balatası görülmektedir.



Şekil 1.1. Fren balatası

1.1.2.Balata Çeşitleri

Balatalar genelde metalik, karbon, organik (reçine bağlı) olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır.

1.1.2.1.Metalik Esaslı Fren Balataları

Metalik balatalar; ısıl kararlılık isteyen durumlarda kullanılır, demir ve bakır matrislidir. Genellikle organik olmayan malzemeler ve seramik malzeme katkıları ile, ucuz ve kolay bir şekilde katı faz sinterlenmesiyle imal edilirler. Diğerlerine göre yüksek yoğunlukta olması verimi artırır [11].

1.1.2.2.Karbon Esaslı Fren Balataları

Karbon esaslı sürtünme malzemeleri maliyetin ikinci derece olduğu, ağırlığın önemli olduğu ve yüksek performansın istenildiği uygulamalarda tercih edilir. Hacimlerinin yaklaşık %63 karbon-karbon olarak üretilen kompozitler uçak fren sistemlerinde kullanılırlar. Bunlar amorf karbonla bağlanan, karbon elyaflardan üretilmektedir. Hafifliği, ısıl kararlılığı, uygun yüksek özgül ısı özellikleri olması nedeniyle fren malzemesi olarak mükemmel performans gösterirler [11].

1.1.2.3.Organik Polimer Esaslı Fren Balataları

Genellikle patentli olan asbest esaslı ve asbestsiz olmak üzere frenlerde ve kavramalarda en çok kullanılan sürtünme malzemeleridir. Çok farklı kombinasyonları vardır. Bağlayıcılar, dolgu maddeleri, sürtünme düzenleyiciler ve takviye ediciler olarak kategorize edilirler [11].

1.1.3. Balata Oluşumunda Kullanılan Malzemeler ve Fonksiyonları

Sürtünme malzemeleri endüstri ve otomotiv uygulamalarında organik, yarı metalik ve asbestsiz balatala olarak üç ana gruba ayrılır. Tüm bu çeşitler kompozit içerisindeki malzemelerin benzerlikleri göz önüne alınarak performans özellikleri belirlenir ve buna göre dört sınıfta kategorize edilebilir [12]. Bunlar;

1. Elyaf (takviye malzemeleri),
2. Dolgu maddeleri,
3. Bağlayıcı Maddeler,
4. Sürtünme ayarlayıcı maddelerdir.

Kompozit içerisine bağlayıcılar, sürtünme ayarlayıcı malzemeler, takviye malzemeleri ve dolgu malzemeleri katılarak istenilen özelliklerde sürtünme malzemeleri üretilir [11].

Literatürde belirlenmiş fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamak amacıyla renlendiriciler ve temizleyiciler gibi katkı maddeleri dolgu malzemeleri içerisinde düşünülebilir [13].

1.1.3.1. Elyaf (Takviye Malzemeleri)

Fren balataları için gerekli güç, sağlamlık, rijitlik sağlamak ve eğilme gerilmelerini arttırmak için boydan boya uzanan örülmüş veya üst üste bindirilmiş elyaf matris oluşturmada kullanılır. Bunların yanı sıra elyafın sürtünme malzemelerini karıştırmada, soğuk preslemede ve yüksek sıcaklıklarda ısı dengede tutmak gibi etkisi de bulunmadır [12].

Asbest; doğal bir mineraldir. Ateşe karşı dayanıklıdır ve gerilme direnci, esnekliği ve bükülebilme özelliğide yüksektir. Asbest başlıca üç özelliğinden dolayı teknolojik olarak değerlidir. Fenolik kompozitlerde ateşe dayanımı, elektrik ve ısı yalıtımı yüksekliği, lifli yapısı vasıtasıyla çelik kafeslere benzer şekilde özel bağlayıcılık özelliği gösterir. [14]. Asbest yoğunluğu 2.1-2.8 g/cm³ orana ve erime sıcaklığı 1150 ile 1550 oC dir [15].

Asbest tekstilden ilaç sanayine, kimyadan gıda sanayine, uzay teknolojilerinden otomotiv sanayine kadar kullanılmaktadır. Asbeste maruz kalmakla asbestosis, mesolheima, mide, gırtlak ve akciğer kanseri gibi hastalıklar gelişebilir [16,17]. Uzun zamandır dünyada farklı çevreci ve sağlık örgütlerinin girişimleri ile son 10 yılda ulusal ve uluslararası mahkemelerde kullanımı yasaklama kararları alınmıştır. Bu yüzden asbest yerine kullanılacak malzeme araştırmaları hızlanmıştır.

Cam elyafı; basınçlı hava ile sıkıştırılmış eritilmiş cam karışımının özel bölmelerden akıtılması suretiyle elde edilir [18]. İstenilen fiziksel özellikte elyaf elde etmek için erimiş cama

dolomit ve alümina katkılanmak suretiyle özgül ağırlığı 2.5-2.54 g/cm³ arasında değişen lifler elde edilir [19]. Asbest içermeyen sürtünme malzemelerine %10-15 oranında cam elyafı katkılanarak matrisin dayanımını arttırılmaktadır. Bunun yanı sıra cam elyafın ısı iletim katsayısının düşük olması, asbeste iyi bir alternatif olması ve esnek özelliğinden dolayı fren balatalarında kullanılabilir.

Kevlar; Du-Pont firmasının para aramid elyaflara verdiği ticari isimdir. Ticari olarak üretilmiş en dayanıklı ve kuvvet altında şeklini koruyan organik liftir. Kevlar lifleri 425 oC sıcaklığa kadar kararlılıklarını korur, hatta kısa süre içinde 530 oC dereceye kadar faydalı takviye sağlar fakat sıcaklığın artması ile bu özellikler giderek azalır. Kevların doğal tokluğu, önemli sayılabilecek kopma uzaması ve kolaylıkla eğilebilmesi gibi önemli özellikleri vardır. Bu özellikler ürünün sürtünmeden dolayı gerçekleşen aşınmasını pozitif yönde etkilemektedir [20].

Yüksek dayanımlı olduğundan balatalarda takviye elemanı olarak kullanılır. Korozyon direnci yüksektir, diski kısa sürede aşındırmamaktadır. Düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı balataların hafif olmasını sağlar. Termo mekanik stabilitesi iyi olduğundan yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Statik sürtünme özelliklerine sahip olduğundan sürtünme davranışını iyileştirir. Yüksek tokluk değeri veya kırılğan bir yapıya sahip olmadığı için balata kompozisyonunun hazırlanmasında karıştırma işlemine dirençlidir. Nem ve sıcaklık değişimlerinden boyutsal olarak etkilenmemektedir. Yukarıda bahsedilen özelliklerden dolayı kevların balata içeriğinde kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Kevlar, fiberler piyasada kevlar 29 ve kevlar 49 gibi çeşitlerde bulunabilir. Kevlar 29 orta derecede elastisite modülüne ve yüksek mukavemete sahiptir. Kevlar 49 yüksek elastisite modülü ve yüksek mukavemete sahiptir. Kevlar 49 özellikle yüksek performans gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır [21].

Çelik elyaf; uygun takviye etme özelliği, iyi ısı ve sürtünme kararlılığı, ekonomik oluşu ve karıştırma sırasında dağılmaya karşı direncinden dolayı en sık kullanılan alternatif malzemelerdendir. Yumuşak çelik elyaf korozif bir malzeme olmasına rağmen kolay işlenebilir ve ucuz olması sayesinde tercih edilmektedir [17].

Taş yünü; İzocam Ticaret ve Sanayi A.Ş. firmasında üretilmektedir. Taş yünü değişik boy elyaflardan oluşmakta, diğer malzemelerle birlikte karıştırıldığında parçalanarak balata kompozisyonuna nüfuz etmektedir [22].

Basarit (*tescilli ticari marka); Deutsche Basaltsteinwolle GmbH firması balata üretimi için üretmektedir. Kimyasal analizi: %42-48 SiO₂, %9-14 Al₂O₃, %1-3 TiO₂, %11-14 Fe₂O₃, %10-14 MgO, %10-14 CaO, %2-4 Na₂O, %1-3 K₂O olan ve asit çözeltileriyle kimyasal reaksiyona dayanımı orta, alkali çözeltilerle kimyasal reaksiyona dayanımı iyi ve çözücülerle kimyasal reaksiyona dayanımı çok iyidir [13, 23].

Fiberfrax (*tescilli ticari marka); Carborundum Resistant Materials GmbH firması tarafından üretilmektedir [24]. Saf alümine taneleri ve silika kumu karışımı 1790 °C'de bir elektrik ark ocağında ergitilmesi, ergimiş seramik karışım huzmesinin tabandan damlatılması ve basınçlı hava huzmesiyle damlacıkların elyaflara dönüştürülmesi yoluyla üretilir. Fiberfrax %100 elyaf olmayıp belli oranda parçacık da içerir. Tipik kimyasal analizi: %52,8 SiO₂, %47,0 Al₂O₃, %1,15 Na₂O, %0,04 Fe₂O₃, kalıntı elementler %0,01 dir.

Mika; mineralojik olarak yer kabuğunda farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip levhamsı, karmaşık bileşimli hidroalüminyum silikat minerallerine genellikle asidik, magmatik ve metamorfik kayalarda bulunur ve muskovit endüstriyel öneme sahiptir [25].

1.1.3.2. Dolgu Maddeleri

Dolgu maddeleri sürtünme malzemelerinde hacim doldurmak ve maliyeti düşürmek amacıyla istenen sürtünme özelliklerini bozmadan kullanılır. Sürtünmeden dolayı ortaya çıkan ısının eşit bir şekilde dağılması ve sürtünme katsayısının düzenlenmesine yardımcı, mukavemet ve korozyon direncinin artırılması ve fren balatasının renklendirilmesi dolgu maddelerinin yardımıyla sağlanmaktadır [26]. Özellikle sürtünme ayarlayıcı olarak kullanılmazlar fakat sürtünmede etkileri bulunmaktadır. Dolgu maddesi olarak genellikle düşük fiyatlı olan mineraller kullanılmaktadır. Doğal barit (BaSO₄) genellikle sürtünme katsayısına etkisiz kabul edilen yaygın bir dolgu maddesidir [13, 27]. Kullanılan bazı dolgu maddeleri Alçı, Talk, Barit, Kizelgur (Diatomit), Kil 'dir.

1.1.3.3. Sürtünme Ayarlayıcı Maddeler

Sürtünme katsayısı sürtünme ayarlayıcı malzemelerle istenilen değerlere getirilmektedir. Bunlar aşındırıcı olan ve olmayan şekildedir. Balata içeriğine sürtünme katsayısını arttırmak için zirkonyum, alümina gibi malzemeler, yağlayıcı olarak ise de grafit gibi malzemeler katılır. Bunlara tribolojik özellikleri iyileştirmek için katılan fenolik sürtünme parçacıkları, fenolik reçineler için kürleştiriciler, elastomerler ve diğer sürtünme artırıcı ve azaltıcı katkıları da dahildir. Abrasif özellikleri kontrol etmek için ise pirinç, çinko veya diğer metal tozları katılmaktadır. Metalik tozlar ısı iletimini arttırmadan dolayı frenleme performansında iyileşme görülmüştür [11, 13].

1.1.3.4. Temizleyiciler

Temizleyiciler; frenleme sırasında balataya yapışan bağlayıcı malzemenin kazınıp sökülmesi için katkılanmaktadır. Pirinç tozu, bronz tozu, çinko tozu gibi metalik katkı malzemeleri temizleyici olarak kullanılmaktadır [32].

1.1.3.5. Renklendiriciler

Sürtünme malzemelerinde, siyah demir oksit (Fe_3O_4), sarı demir oksit ($Fe_2O_3.H_2O$), kırmızı demir oksit (Fe_2O_3) ve karbon siyahı gibi malzemenin dış görünüş rengini değiştirerek estetik açıdan daha iyi görünebilmesi ve konstrüksiyonda uyum sağlaması açısından renk verici maddeler kullanılır [20,32].

1.1.3.6. Madeni Dolgu Malzemeleri

Balatalarda metal yünü olarak demir ve alüminyum yünleri, talaş için de pirinç, bakır ve alüminyum metallerinin talaşları gibi yapıyı homojenleştirmeye, ısı iletim katsayısını düzenlemeye, aşınma ve sürtünme katsayısının dağılımına etkisi olan malzemeler kullanılır. Bu malzemelerin karşı malzemeye zarar vermesini engellemek için kompozit içerisindeki oranları ve sertlikleri iyi seçilmesi gerekir [33].

1.1.3.7. Bağlayıcı Maddeler

Balata üretilirken içeriğin bir arada kalması için bir veya birden çok sayıda bağlayıcı malzeme katkılanır. Bunlar termoset reçineler, doğal veya sentetik kauçuklardır. [28]. Fenol formaldehit reçine otomotiv sektöründe bağlayıcı olarak en yaygın olarak kullanılan termoset reçinedir.

Termoset malzemelerin özelliği erime derecesi yanma derecesinin üzerinde olmasından dolayı reçinelerin en büyük avantajları sıcaklıkta sertleşmeleridir. Fenol formaldehitler sürekli kafes yapıya sahip oldukları için moleküller arasında bağlar parçalanmaz bu yüzden yüksek sıcaklıklarda kullanışlıdır. Fenol formaldehit reçine %40 fenol, %22 formaldehit, %4 kresol, %34 su, çözücü ve diğer dolgu maddeleri bulunmaktadır [19].

Reçinelerde polimerizasyonun tamamlanarak özelliklerinin geri dönülmez bir şekilde kimyasal bir reaksiyonla değişip sertleşmesine kürleşme denir [29]. Kürleşme, kürleştirici

maddelerin katılması ile sıcaklık ve basınçla veya sıcaklık ve basınç olmadan meydana gelir. Fenolik reçineler 232 °C'ye kadar sıcaklıklarda birkaç dakikadan birkaç saate kadar kürleşir. Yüksek sıcaklık dayanımının elde edilebilmesi için fenoliğin kalıpta başlayan kürleşmesinin tamamlanması gerekmektedir. Bunun için kalıplanmış parçalar belli bir süre 200 °C'nin üzerindeki fırında hacmine bağlı olarak tutularak kürleşmenin tamamlanması sağlanır [30]. Dayanım özelliklerini iyileştirmek amacıyla son kürleme işlemi yapılır ve ısı işlemi olarak da adlandırılır [13, 31].

1.1.3.8. Bağlayıcı Madde Olarak Orman Tali Ürünleri ve Kullanımı

Otomotiv fren balatalarında bağlayıcı olarak kullanılan fenolik reçine, ülke ekonomisine olan negatif etkisinden dolayı farklı bağlayıcı malzemelerin kullanılması gereğini oluşturmaktadır. Bu çalışmada; ülkemiz orman varlığının %54' ünü oluşturan karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstık çamı ve sedir ağaçlarının kozalakları gibi organik atık ürünlerin öğütülmesi sureti ile elde edilen tozun içinde bulunan reçine fren balata malzemesi içeriğine katılarak ülke ekonomisine katkı sağlayacak farklı bağlayıcı malzemeler içeren yeni bir formülasyona sahip fren balata numuneleri üretilmiştir.

Türkiye 783.562 km² alanıyla, zengin bir ekolojik çeşitliliğe sahiptir. Ekolojik çeşitlik içerisinde ormanlar kapladıkları alan ve tür olarak önemli bir yer tutmaktadır. 2015 yılı yapılan tetkiklere göre, ülke alanının %28,6'sını ormanlık alanlar kaplamakta olup bu da 22,3 milyon hektar alana tekâmül etmektedir.

Tablo 1.1. Deneylerde kullanılan ağaç türlerinin % (alansal)

Ağaç türü	Normal kapalı(ha)	Boşluklu kapalı (ha)	Toplam (ha)	%
Kızılçam	3.451.269	2.158.946	5.610.215	25,11
Karaçam	2.727.524	1.517.397	4.244.921	19,00
Sarıçam	882.231	636.698	1.518.929	6,80
Sedir	247.162	235.229	482.391	2,16
Fıstıkçamı	128.721	33.250	161.971	0,72

Ormanlık alanın %53'ünü karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstıkçamı ve sedir ormanları kaplamaktadır. Orman Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu çalışma Tablo 1.1.'de gösterilmektedir.

Ormanlardan elde edilen ana ürünlerin başlıcaları tomruk, maden direği, kağıtlık odun, lif ve yongadır. Ormanların yukarıda belirtilen endüstriye olan katkıları dışında, erozyonu önlemesi don, sıcaklık, fırtına, rüzgâr, kuraklık gibi iklim elemanlarının olumsuz etkilerin azaltılması gibi ekolojik faydaları da vardır. Turizm ve rekreasyon alanı gibi hizmet sektöründe temiz hava sağlamaları, doğal görünüşleri ve dinlendirici özellikleri ile ülke ekonomisine katkı sağlar [35].

Türkiye 10.500 bitki türü çeşitliliği, yaban hayatı ve 3.400 endemik tür bakımından zengin kaynaklara sahiptir. Orman alanları ve açık alanlarda yetişen, insanların ve diğer canlıların yaşamsal veya gelir sağlamak için yararlandıkları her türlü bitkisel veya hayvansal ürünler odun dışı orman ürünleri (ODOÜ) olarak tanımlanmaktadır [36].

Bitki örtüsü bakımından bu karmaşık özelliğin bulunması, coğrafi konumla beraber, ülkemizin farklı flora bölgelerinin bir bileşim yerinde bulunmasından, ayrıca topografik yapının ve iklim özelliklerinin çok farklı oluşundan kaynaklanmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre, dünyada çeşitli amaçlarla kullanılan bitki sayısı 20.000 civarındadır. Bunlardan 4.000'i bitkisel ilaç olarak yaygın bir şekilde kullanılırken, yaklaşık %10'unun ticareti yapılmaktadır.

Türkiye'de tıbbi olarak kullanılan bitkilerin sayısının 500 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Ancak, yapılan bir araştırmada, doğadan toplanarak ticareti yapılan bitki türlerinin sayısının 346 olduğu ve bunların 98'inin ihraç edildiği, 24'ünün endemik olduğu ve endemik türlerin 7'sinin de halen ihraç edildiği belirtilmektedir. Örneğin adaçayı, kekik, çöven ve salba'nın bazı türleri endemik olup ihraç edilen türlerdir. Yine; doğadan toplanan ve aktarlar, semt pazarları ve marketler aracılığıyla ticareti yapılan türlerin sayısının da 179 olduğu tespit edilmiştir [87].

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Literatürde hakkında geniş bilgiye yer verilen bağlayıcı malzemeler son derece önemlidir. Fakat çok bileşenli malzemelerin tribolojik özelliklerinin karmaşık olmasından dolayı bağlayıcı malzemelerin çeşitliliği konusunda çok az kaynak vardır. Genellikle balata bir kompozit malzeme olarak ele alınır fakat üretilmiş balata numunelerinde sıklıkla elyaf matris bileşimleri incelenir. Bir balatanın içeriği ile ilgili yapılan çalışmaların sonuçları ticari önem taşır ve yayınlanmak yerine patent alma yoluna gidilmiştir.

Düz fenolik reçine, silikonlu fenolik reçine veya boron fosforlu (B-P) fenolik reçineli fren sürtünme malzemelerinin aşınması araştırılmıştır. Sürtünme malzemesi numuneleri üretmek için basit bir formülasyon kullanılmış ve Krauss tipi sürtünme testi kullanarak aşınma testleri yapılmıştır. Üç sürtünme malzemesindeki sürtünme stabilitesi ve aşınma oranı, 400°C'nin üstündeki sıcaklık fonksiyonları olarak karşılaştırılmış ve mekanizmaları farklı sıcaklık değerlerinde aşınma yöntemleri ile birleştirilerek analiz edilmiştir. Sonuç olarak, reçinedeki termal çürüme sonucu oluşan ayrılmış alt yüzeyler ile yükseltilmiş sıcaklıklardaki aşınma oranı tespit edilmiş, en iyi çalışma direncini ve sürtünme stabilitesini, B-P uygulanmış reçine içeren sürtünme malzemesinin verdiği görülmüştür [37].

Washabaugh, Engelhard firmasının ürettiği Emcor 66 (tescilli ticari marka ismi) çok kısa elyafları diğer uzun elyaflarla birlikte kullanarak sürtünme malzemelerinin üretim ve sürtünme-aşınma özelliklerine olan etkilerini incelemiştir. Emcor 66'nın en önemli kısmını magnezyum silikat olan (Mg₅Si₈O₂₆H_{10.4}H₂O) attapulgit oluşturmaktadır. Bunun sağlığa zararlı olduğu tespit edilmemiştir. Fenolik reçine ile birlikte cam elyaf, aramid elyaf, Emcor 66 karışımı kompozitler üretilmiştir. Bütün bu kompozitlerin tribolojik değerlendirilmesi soğuk ve sıcak sürtünme katsayılarının 0,35-0,45 arasında olduğu denenen bu elyafların üretim kolaylığı ve yüksek sıcaklıklarda sürtünme kararlılığı sağladığı görülmüştür. [37]

Loken, içeriğinde wollastonit, BaSO₄, cashew tozu, toz fenolik reçine bulunan sabit bileşimine farklı tanecik boyut ve biçimlerde kevlar ile katkılayarak kompozit numuneler üretmiştir. Lif şekli ve üretim parametreleri sadece mekanik özellikleri etkilemiş olup tribolojik özelliklerini önemli ölçüde etkilememiştir. Yapılan çalışmalar kevların asbeste bir alternatif olduğunu göstermiştir [38].

Rhee, fenolik reçineye grafit ve demir tozu katkılayarak tribolojik özelliklerinin yük, hız ve sıcaklık gibi değişkenlere olan bağımlılığını araştırmıştır ve fren zayıflaması, yük zayıflaması, hız zayıflaması ve sıcaklık zayıflaması gibi üç mekanizmaya bağlı olduğunu görmüştür. Kayma hızı sabit tutulup balata basıncı artırıldığı durumda sürtünme kuvvetinde paralel bir artış olmadığı, balata basıncı sabit tutulduğunda ise kayma hızı artırıldığında sürtünme kuvvetinin azaldığı belirlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda sürtünme katsayısının ara yüzey sıcaklığına ve

kayma hızına bağlı olarak değiştiği anlaşılmıştır. Sıcaklığın ve kayma hızının sabit olduğu hallerde basınç arttırıldığında sürtünme katsayısının azaldığı, basınç sabit tutulup hız arttırıldığında da azaldığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı sıcaklık ve sürtünme katsayısı ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir [39].

Sürtünme kompozitlerinin gelişimi için potasyum titanat, fenolik reçine, aramidpulp, grafit, alümina, bakır tozu ve cam yünü gibi maddelere Illinois Eyaleti'nde bulunan bir termik santralden temin edilen uçucu kül katkılanarak balata formülasyonu oluşturulmuştur. Üretilmiş olan balatanın sürtünme katsayısı 0,35-0,4 aralığında bir kararlılıkta olup %12'den daha düşük aşınma oranları sergilemiştir [40].

Dinamometre tipi deney cihazında, bağlayıcı olarak fenol formaldehit ve dolgu malzemesi olarak da barit ($BaSO_4$) kullanılan fren balata numunelerinin sürtünme, aşınma, zayıflama dayanımını ve yeniden düzelleme karakteristikleri farklı hız, basınç ve sıcaklıkta incelemiştir. Balata formülasyonunda değişken olarak sadece takviye elyafının tipi ve yapısı alınmıştır. Bileşimi ağırlıkça farklı oranlarda cam elyaf/reçine/dolgu ve sürtünme ayarlayıcılardan oluşan altı ayrı kompozit alınmıştır [41].

Washabaugh, Engelhard firmasının ürettiği Emcor 66 (tescilli ticari marka ismi) çok kısa elyafları diğer uzun elyaflarla birlikte kullanarak sürtünme malzemelerinin üretim ve sürtünme-aşınma özelliklerine olan etkilerini incelemiştir. Emcor 66'nın en önemli kısmını magnezyum silikat olan ($Mg_5Si_8O_{26}H_{10}.4H_2O$) attapulgit oluşturmaktadır. Bunun sağlığa zararlı olduğu tespit edilmemiştir. Fenolik reçine ile birlikte cam elyaf, aramid elyaf, Emcor 66 karışımı kompozitler üretilmiştir. Bütün bu kompozitlerin tribolojik değerlendirilmesi soğuk ve sıcak sürtünme katsayılarının 0,35-0,45 arasında olduğu denenen bu elyafların üretim kolaylığı ve yüksek sıcaklıklarda sürtünme kararlılığı sağladığı görülmüştür [42].

Sürtünme malzemesinin tribolojik özellikleri bakımından en iyi üretim parametrelerini tespit etmek için içeriğinde 15 farklı malzeme bulunan ve 16 farklı parametre düzenlemesiyle imal edilen fren balatlarının fiziksel ve tribolojik özellikleri belirlemek amacıyla çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda fren balatasının sürtünme performansı ile fiziksel özellikleri arasında hiçbir ilgi olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca ağır araçlarda kullanılan dört farklı ticari otomotiv fren balatasının fiziksel ve kimyasal özellikleri de incelenmiştir. Matris olarak fenol formaldehit reçine içeren dört farklı sürtünme malzemesi standart test metodu kullanılarak fiziksel özellikleri, yoğunluk, su emme, kabarma gibi özellikleri belirlenmiştir [43].

Zn-40Al-2Cu-2Si alaşımli balata ısıl işlem ile üretilmiş. Isıl işlemin, balata numunesinin direncini ve sertliğini arttırdığını gözlemlenmiştir. Bununla beraber, sürtünme katsayısının, küçük bir azalma gösterdikten sonra kayma hızının artmasıyla arttığını ve aşınma numunesinin sıcaklığının basınç ve kayma hızının her ikisiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Aşınma kaybının, basınçla birlikte üssel olarak ve kayma hızıyla lineer bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir [44].

Yeni geliştirilen dört farklı ticari olmayan sürtünmeli fren balatası malzemelerinin kuru ve ıslak olarak sürekli kayma performansları değerlendirilmiş ve seçilen diğer iki ticari fren balata malzemesi ile küçük ölçekli bir disk-balata sürtünme test cihazı kullanarak karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, sürekli kuru frenleme altında, CMB içeren tüm ticari olmayan fren yastık malzemeleri için sürtünme katsayılarının fren yastık malzemelerinden etkilenmediğini görülmüştür. Ayrıca, bütün fren yastık malzemelerinin, basınç veya hız artışı ile sürtünme katsayılarında hafif bir artış gösterdiği ifade edilmiştir. Bu arada, aşınma oranlarının, fren balata malzemesi ve basıncın tipi veya bileşenine bağlı olduğu gözlenmiştir [45].

Disk üzerinde yastık tipi sürtünme testi kullanarak, fenolik reçine, potasyum titan ve aldehit ile iyileştirilmiş CNSL'nin tribolojik özellikleri araştırılmıştır. Geleneksel fren balatalarında kullanılan tipik bileşenler ve bunların sürtünme özellikleri, asbestsiz organik bir formülasyon kullanarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kayma esnasında yüksek gürültü meydana gelirken fenolik reçinenin sürtünme katsayısını arttırdığı gözlenmiştir. Aynı zamanda, gürültü oluşumunun, sürtünme malzemesi içindeki CNSL'nin artırılmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Sürtünme malzemesinin aşınma direnci, ilave fenolik reçine ile arttırılmıştır. Potasyum titan ve CNSL'nin, aşınma direncini kötüleştirdiği görülmüştür. Gürültü oluşumunu azaltmak için fren balatalarının düşük sertlik, yüksek gözeneklilikte olması önerilmiştir [46].

C/C-SiC kompozit fren diski üzerinde sinterlenmiş metalik fren balatalarının sürtünmesi ve aşınması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma, C/C-SiC fren diski ile iyi birleştirilmiş gibi görünen sinterlenmiş metalik fren balatalarının aşınma ve sürtünme özelliklerini açıklamaktadır. Fren kaliperleri ve disk ölçüleri farklı olan iki farklı ticari motosikletin fren sistemindeki dinamometreleri ile sürtünme karakteristikleri incelenmiştir. EDX analizi donanımlı taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak sürtünme tabakasının oluşumunda metalik matris içindeki abrasivler ve grafit gibi bileşenlerin etkisi araştırılmıştır. Sürtünme tabakasının, diskin kayma yüzeyi üzerinde daha çok demir ve bakır oksitlerden oluşan oksidasyon aşınması olduğu doğrulanmıştır. Sinterlenmiş metalik disklerin sürtünme özellikleri incelenmiş ve fren balatalarının yapısı ve kompozisyonuyla bağlantılı olduğu görülmüştür [47].

Tanecik boyutunun fren balata malzemesinin sürtünme karakteristiklerine etkisini araştırmak için 1, 6, 75 ve 150 μm gibi 4 değişik boyutta zirkon partikülleri kullanılmıştır. Gri dökme demir disk sürtünme testi yapılarak balataların aşınma direnci, sürtünme kuvveti salınımları ve sürtünme katsayısı araştırılmıştır. Sonuç olarak, tanecik boyutunun sürtünme performansında önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Daha büyük zirkon tanecik yapısına sahip olan balata malzemelerinin tribolojik özelliklerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, zirkon partikülleri ile aşırı balata aşınması ve az sürtünme stabilitesine neden olan geçici sürtünme filmleri üretilmiştir [48].

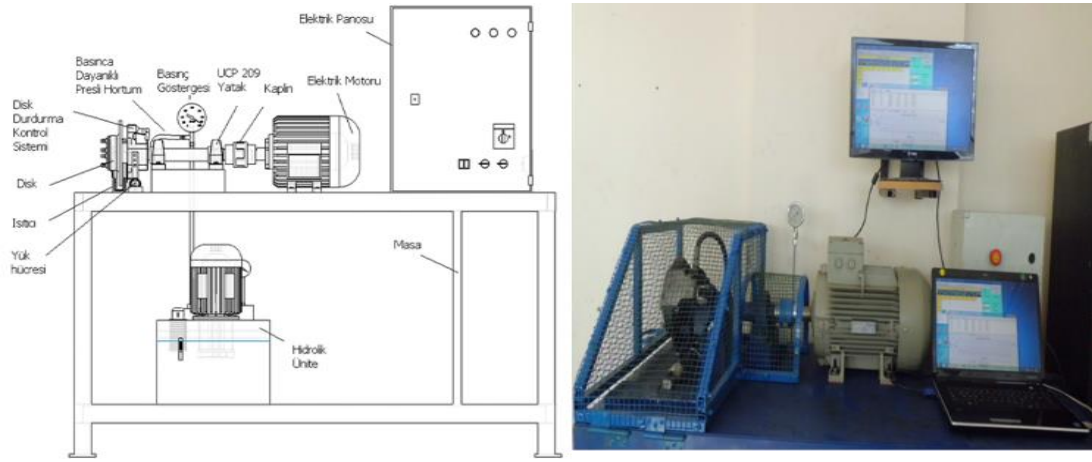
Farklı hacimde grafit oranları ve antimontrisülfat (Sb₂S₃) içeren NAO (non-abestos organic) fren balatasının tribolojik davranışını incelemek için, deneysel bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada sürtünme testleri için bir skala dinamometre kullanılmış ve iki katı yağlayıcının bağıl miktarlarına göre sürtünme katsayısında sıcaklık, kayma hızı ve uygulanan basıncın etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, her iki katı yağlayıcılı fren balatalarının, bir tek katı yağlayıcı içeren sürtünme malzemelerine göre daha az hız hassasiyeti ve daha iyi sürtünme kararlılığı olduğu görülmüştür. Özellikle daha yüksek grafit yoğunluğu içeren fren balatasının yüksek sıcaklık sürtünme testi boyunca, diğerlerinden daha iyi frenleme direnci gösterdiği belirlenmiştir [49].



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deney Düzenəğinin Tanıtılması

Deneylerde kullanılan sürtünme ve aşınma test cihazı Şekil 3.1.'de görülmektedir. Bu çalışma, farklı bağlayıcı malzeme kullanımının frenleme performansına etkisinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. TS 555 ve TS 9076'da belirtilen şartlara uygun karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstıkçamı ve sedir kozalağı tozu katkılı üretimi yapılmış balata numunelerinin tribolojik özelliklerini belirlemek amacıyla bir deney düzenəğı üretilmiştir. Deneysel çalışmaya uygun olarak tasarlanmış deney düzenəğinde motor devri ve basıncı kontrol edilebilmektedir.



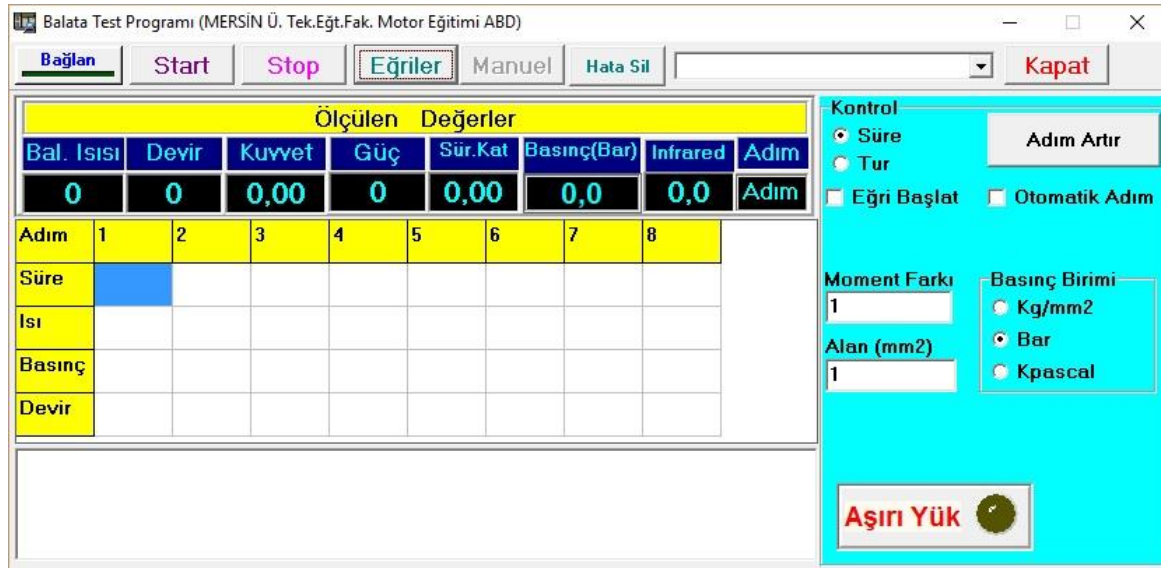
Şekil 3.1. Deney düzenəğı

GG-20 gri dökme demirden üretilmiş fren diski kullanılmıştır. Numune balatalar diske bastırılırken disk dairesel olarak dönecek ve balata tutucu ile teması sağlanacak olan yük hücrelerinden, fren kuvveti alınacaktır. Alınan bu değerler saniyede belirli sayıda bilgi kütüğüne aktarılacaktır. Sürtünme ve aşınma test cihazından elde edilen veriler kullanılarak sürtünme katsayısı belirlenecek ve aşınma hızı hesaplanacaktır. Daha sonra sürtünme katsayısı-sıcaklık-yük-zaman grafikleri oluşturulacaktır. Aşınma hızını ve sürtünme katsayısını etkileyen temel parametreler istatistiki olarak belirlenecektir. Tepki yüzeyi metodolojisi kullanılarak sürtünme katsayısı ve aşınma hızı için tahmin modelleri geliştirilecektir.

Üretilen fren balatalarında malzeme karakterizasyonu için SEM analizleri ve sertlik ölçümleri yapılacaktır. Elde edilen sonuçlar malzeme içeriği ile ilişkilendirilecektir.

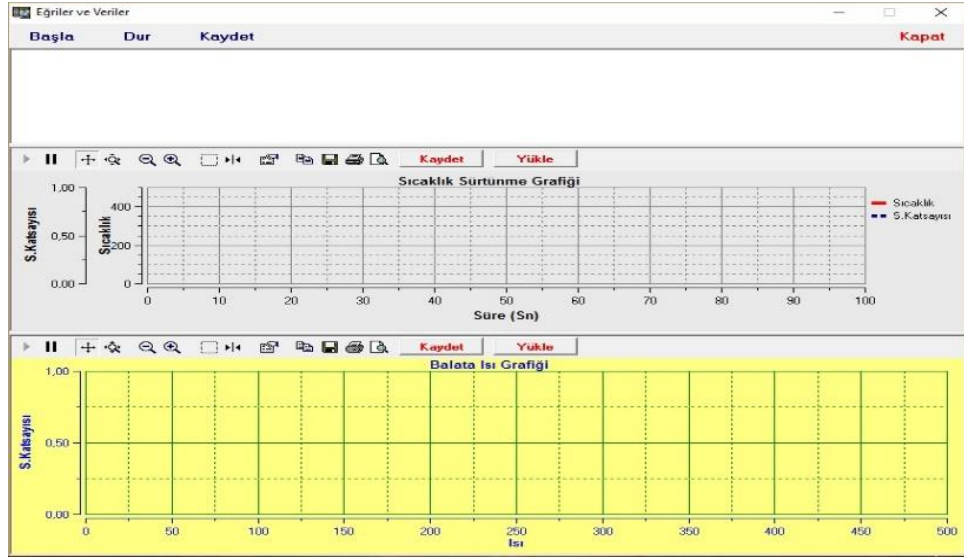
3.1.1. Bilgisayar Programı

Sistemi çalıştırmak için cihaz kontrol paneli üzerindeki süre, kuvvet, moment farkı, devir ve alan kutucuklarına istenilen değerler girilir ve "START" düğmesine basılır. Süre değeri dakika olarak girilmesi gerekmektedir. Cihazın otomatik olarak kapanması için cihazın süre kısmına istenilen değer yazılmalıdır. Şekil 3.2.'de görülen fren balata test cihazının bilgisayar kontrol panelinin devir göstergesi kısmına devir değeri girerek istenilen devirlerde deneyler yapılabilmektedir.



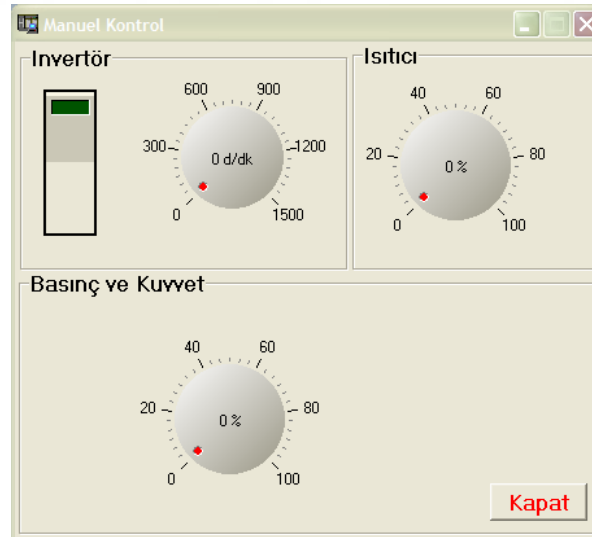
Şekil 3.2. Balata Test Programı

Deney sırasında bilgisayar ortamına aktarılan verilerin grafikleri otomatik olarak çizilmesi için cihaz üzerinde bulunan eğri başlat kutucuğu işaretlenir. İstenildiğinde kontrol paneli üzerinde bulunan eğriler kısmından otomatik olarak çizilmiş olan grafiklere ulaşabilmek mümkündür. Aynı zamanda bilgisayar ortamına aktarılan veriler notepad olarak kaydedilmektedir. Eğer grafik çizilmesi istenmiyorsa eğriler kutucuğu işaretlenmemelidir. Grafikler tekrar görüntülenmek istendiğinde kontrol panelinin eğriler kısmında bulunan yükle kutucuğuna tıklanılarak çizilebilmekte ve istenildiği takdirde grafik üzerinde değişiklikler de yapılabilmektedir. Şekil 3.3.'de program grafik göstergesi görülmektedir.



Şekil 3.3. Program grafik gösterge paneli

Deney seti yazılımını otomatik olarak istenilen işlemlerin hepsini yapmaktadır. Ayrıca programın manuel kontrol paneline girilerek invertör butonunu açık konuma getirilip klavye veya mouse yardımıyla basınç ve devir ayarlanıp deneyler gerçekleştirilebilir. Şekil 3.4.'te fren balatası test cihazı manuel kontrol paneli görülmektedir.



Şekil.3.4. Fren balata test cihazının manuel kontrol paneli

3.1.2.Yük Hücresi

Sürtünme kuvveti (F_s) yük hücresi (loadcell) kullanılarak belirlenir [50]. Yük hücresi üzerine gelen yükü, milivolt cinsinden algılayarak test düzeneğinde bulunana ekrana yansıtmaktadırlar. Fren balata test cihazı Zemic marka BM11-C3 modeli olup 50 kg kapasiteli olan yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresinin bir ucu belirli bir noktaya sabitlenmiştir. Diğer ucuna bir noktadan kuvvet uygulandığında oluşan gerilim wheatstone köprüsü üzerinden 0-20 milivolt arasında algılanır ve değer ekrana yansıtılır.



Şekil 3.5. Yük hücresi

3.1.3.İnvertör

Girişindeki bir doğru gerilimi çıkışında istenen genlik ve frekansta simetrik bir alternatif gerilime dönüştürmeye yaran cihazlara invertör denir. Çıkışta elde edilen gerilim ve frekans değerleri sabit veya değişken olabilir. Girişteki DC gerilim değiştirilmek ve invertör kazancı sabit tutulmak suretiyle, değişken bir çıkış gerilimi elde edilebilir. Diğer taraftan giriş geriliminin sabit olması halinde, invertör kazancı değiştirilmek suretiyle değişken bir çıkış gerilimi elde edilebilir. Fren balata test cihazında kullanılan invertör Delta C2000 marka olup 5.5 Kw 0-1400 dev/dak aralıklarında çalışmaktadır. Sistem çalıştırılmak istenildiğinde ise motora elektrik vermek için elektrik panosunda bulunan pako şartel 1 numaralı konuma getirilmesi gerekir.



Şekil 3.6.İnvertör

3.1.4.Hidrolik Ünite

Hidrolik ünite, hareketini elektrik motorundan sağlar ve depo içerisindeki yağı emerek hidrolik açma/kapama valfine gönderir. Açma/kapama valfi sistemin basınç kontrolü için elektro hidrolik oransal valfe (basınç kontrol valfi) gönderir. Kontrol panosundaki elektronik kartlarla açma/kapama valfi ve oransal valfe kumanda edilmektedir. Elektronik kartlara gönderilen sinyaller balata aşınma test cihazı üzerinde bulunan bilgisayarda kurulmuş olan program aracılığıyla gönderilmektedir.



Şekil 3.7.Hidrolik ünite

3.1.5.Sıcaklık Ölçme Cihazı

Deney esnasında frenlemenin etkisiyle disk sürtünme yüzeyi sıcaklığı artmaktadır. Bu artışın frenleme performansına olan etkisini incelemek amacıyla fren disk yüzeyinden 2 cm uzaklığa yerleştirilmiş olan sıcaklık ölçme cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Sıcaklık ölçümlerini USB bağlantısı aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarmak için 0 °C - +700 °C aralıklarında çalışan, her saniye veri alabilen ve her saniye disk üzerindeki sıcaklığı bilgisayar ortamına aktaran İnfrared termometre kullanılmıştır.

3.1.6.Hassas Terazi

Fren balata numunelerinin aşınma deneylerini yapmak için DESİS NHB 300 marka Max 300g ve 0,001g hassasiyetinde terazi kullanılmıştır. Hava akımlarından etkilenebilen yüksek hassasiyete sahip terazinin kefesini ölçüm yapılırken kapatılmıştır. Numunelerin aşınma tespiti, deney öncesi ve deney sonrası kütlelerinin farkı yöntemiyle yapılmıştır. Bu ölçümler terazinin her ölçümden önce kalibre edilmesi suretiyle yapılmıştır.



Şekil 3.8.Hassas terazi

3.1.7.Fren Diski ve Balata Tutucu Kaliper Pistonu

Fren diskinde sürtünmeden dolayı oluşan ısının kolay bir şekilde üzerinden atılması için ısıl genleşme katsayısının büyük olması ve deformasyonlara karşı dayanıklı olması istedir. Genellikle içerisinde %3.4 karbon ihtiva eden perlitik yapıli dökme demir kullanılır

Gri dökme demir yapılarında oluşturulan grafit yaprakçıklarıyla iyi bir kayma özelliği gösterir. Gri Dökme demirin kolay işlenmesi, ısıl iletkenliğinin yüksek oluşu, titreşimi soğurma ve aşınma direnci en önemli özellikleridir. Gri Dökme demirin sürtünme katsayısı yükseltmek için içeriğine eklenen fosfor miktarı %0,118-%2,01 (ağırlıkça) arasında bir değere yükseltilir. İlave edilen fosfor miktarı ile sürtünme katsayısının kararlılığı ve aşınma dirençleri de düzelir. Gri dökme demir için en iyi fosfor bileşimi %1,4-%2 miktarları arasındadır [8].

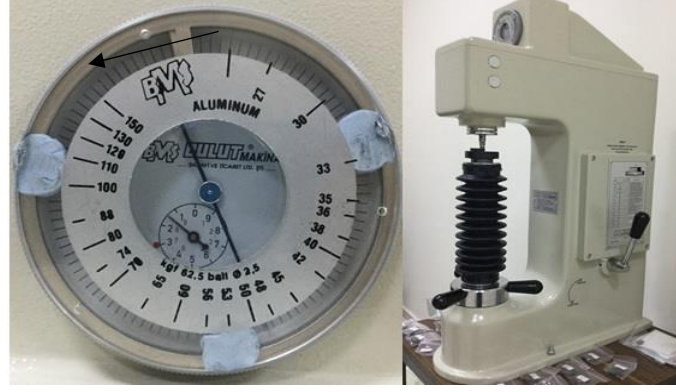
Farklı içeriklerde üretilmiş olan fren balataları Şekil 3.1.7.1.'de görülen fren test cihazındaki özel olarak yapılmış kaliper pistonuna yerleştirilerek deneyleri yapılmıştır.



Şekil 3.9.Disk ve kaliper

3.1.8.Sertlik Ölçüm Cihazı

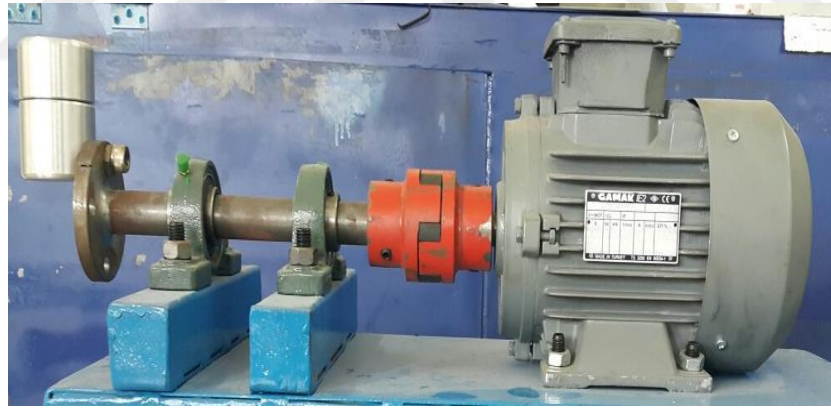
Deneylerde Şekil 3.10'da görülmekte olan "BMS 200 RB" marka brinell sertlik ölçme cihazı kullanılarak fren diski ve üretilmiş olan fren balatalarının sertliği ölçülmüştür. Çapı 2.5 mm olan çelik bilye uç ile 62,5 kgf (612,9 N) yük altında 8 s uygulama, 15 s sabit yükleme süresince sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik değerleri numunelerin yüzey boyutları Ø25.4 mm olduğu için aşınan balata yüzeyinin kenarlardan ve merkezinden alınmıştır. Deneylerde kullanılan diskin yüzeyinin üç farklı noktasından sertlik ölçümleri yapılmıştır. Diskin karşılıklı bölgelerinden ölçüm değerlerinin ortalaması alınmış ve diskin sertlik değeri 116 HB - 41.86 HRA olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.10. Brinell sertlik ölçüm cihazı

3.1.9. Toz Karıştırma Cihazı

Balata içeriğini oluşturan malzemelerin yoğunluklarının farklı olmasından dolayı toz karıştırma cihazı ile homojen bir karışım sağlanmaktadır. Cihaz Şekil 3.11.' da gösterilen I şeklinde bir karıştırma haznesine sahiptir. Cihaz üzerinde bulunan invertör balata içeriğinin farklı devirlerde karıştırılmasına imkan vermektedir.



Şekil 3.11. Toz Karıştırma Cihazı

3.1.10. Elek Sallama Cihazı Ve Elekler

Deneylerde kullanılan kozalaklar “Bosch MKM6000” marka öğütücüyle öğütülmüş ve toz haline getirilmiştir. Malzemelerin tanecik boyutu Şekil 3.12.'de görülen Jeotest JG-035/2 marka elek sarsma cihazı belirlenmiştir. Elek sarsma cihazı dairesel ve düşey olarak hareket etmektedir. Cihazın üzerinde 60 dakikaya kadar ayarlanabilir zaman sayacı bulunmaktadır. Cihaz ile 200 ve 300 mm çapında elekler kullanılabilir ve ıslak eleme yapılabilir.



Şekil 3.12. Elek Sallama Cihazı ve Elekler

3.1.11. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Üretilen numunelerin yoğunlukları, Arşimet terazisi ile belirlenmiştir. Terazinin kefesini saf suya daldırabilmek için yapılmış olan küçük bir eklentiyle ve bu eklentinin darası alınmak suretiyle ölçme işlemi yapılır. Cismin havadaki ve su içerisindeki ağırlıkları ölçülür ve aşağıdaki formül kullanılarak cismin yoğunluğu hesaplanır

$$\rho = \frac{mh - ms}{mh} \quad (1)$$

Burada;

ρ = Numune yoğunluğu (g/cm³)

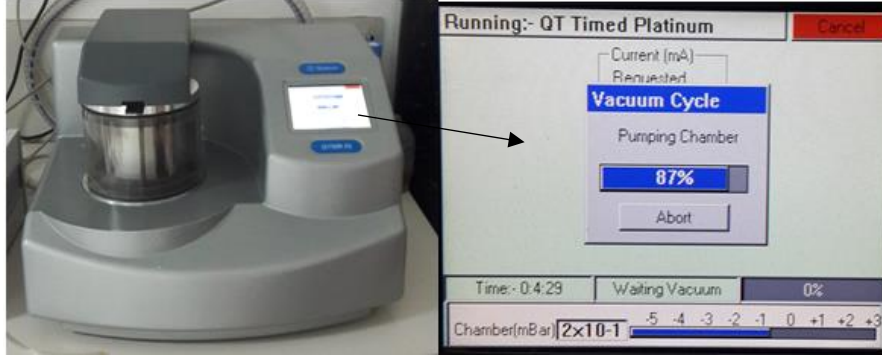
mh = Numunenin havadaki kütlesi (g)

ms = Numunenin sudaki kütlesi (g)

3.1.12. Numune Kaplama Cihazı

Numuneler yalıtkan veya yeterli iletkenliğe sahip olmadıklarından SEM cihazı ile mikro yapı resimlerinin alınamamaktadır. Bundan dolayı numunelere iletkenlik kazandırmak için

'QUORUM Q150R ES" marka dokunmatik ekrana sahip vakumlama ve kaplama cihazı ile platin kaplanmak suretiyle iletkenlik kazandırılmıştır.



Şekil 3.13. Numune kaplama cihazı

3.1.13. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Tribolojik özellikleri belirlemek amacıyla yapılan deneyler sonrasında numune balatalarının mikro yapısını incelemek amacıyla ZEISS SUPRA 55 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. ZEISS SUPRA 55 model FE SEM cihazı W (Tungsten) filament ile çalışmaktadır. Cihaz üzerinde ikincil elektron (SE), in-lens SE, geri yansıyan elektron (BSE) ve katodoluminans (CL) dedektörleri ile yüksek çözünürlükte görüntü elde edilebilmektedir.



Şekil 3.14. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

3.1.14. Disk Torna Aparatı

Fren balata test cihazında deneyleri yapılan balata numunelerinin aynı aşındırma yüzeyine sahip fren diski ile aşındırılmasını sağlamak amacıyla şekil 3.15.'de görülen disk tornalama aparatı imal edilmiş ve pin-on disk tipi fren balata test cihazına monte edilmiştir. İmal edilmiş olan yüzey tornalama aparatı kater ve kalemlikten oluşan iki kısımdan meydana gelmektedir. Çift eksenli hareket yeteneğine sahiptir.



Şekil 3.15. Disk torna aparatı

3.2. Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi

Üretimde kullanılan çam kozalaklarından sedir kozalağı, karaçam kozalağı ve kızılçam kozalağı Tarsus Orman İşletme Müdürlüğünden, sarıçam kozalağı Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğünden ve fıstık çamı kozalağı Tarsus Karabucak Ormanından temin edilmiştir. Temin edilen kozalaklar Bosch marka MKM6000 model kahve öğütücü kullanılarak öğütülmüştür. Öğütülen kozalaklar Jeotest JG-035/2 marka Elek Sallama Cihazı ve 45, 75, 125, 150, 180 ve 300 mesh tanecik boyutuna sahip elekler kullanılarak eleme işlemi yapılmıştır. 75 mesh boyutunda olan kozalak tozları komponente katkılanmak amacı ile kozalak türüne göre farklı kaplarda toplanmıştır. Komponentte kullanılacak olan diğer malzemeler de elek sallama makinesi ve elekler kullanılarak aynı tanecik boyutuna getirmek amacı ile aynı işlem uygulanmıştır. Komponenti oluşturacak malzemelere uygulanan bu fiziksel işlemden sonra üretim parametrelerini belirleme aşamasına geçilmiştir.

3.2.1. Toz Karıştırma Süresi

Matris içerisindeki içeriğin homojen dağılımını sağlamak ve takviye malzemesi ile matris ara yüzey bağı arttırmak, kompozit üretiminde karşılaşılan en büyük problemdir [51]. Malzemelerin matris içerisindeki dağılımını, tozların boyutunu karıştırma şekli ve süresi etkili olmaktadır [52]. Karıştırma işlemi sırasında oluşabilecek segregasyonu önlemek için balata içeriğine yağlayıcı malzeme katılır [53]. Karıştırma işleminin balata içeriğine katılan malzemelerin farklı fiziksel özelliklere sahip olmasından dolayı zor olabilmektedir. Bu yüzden karıştırma tipi içeriğe göre farklılıklar göstermektedir [54].

Çalışmanın bu aşamasında balata üretimi sırasında diğer tüm parametreler sabit kalmak şartıyla toz karıştırma süresinin sürtünme ve aşınmaya etkisi araştırılmıştır. Bu amaç çerçevesinde yapılan çalışmada 5, 10 ve 15 dk. gibi farklı karıştırma süresi uygulanarak numuneler üretilmiş ve üretilen numunelerin sürtünme katsayısı-zaman, sıcaklık-zaman ve aşınma değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak asbest içermeyen fren balata malzemelerinin üretiminde 10 dakikalık karıştırma süresi en iyi sonucu vermiştir.

3.2.2. Toz Karıştırma Devri

Karışımın homojenlik kesici bıçaklar ve karıştırıcı kolların birlikte çalışması ile sağlanabilir [55]. Bu aşamada balata üretim parametrelerinden toz karıştırma hızının balatanın sürtünme performansı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla aynı içerik ve aynı orandaki tozlar 100, 300 ve 500 dev/dk gibi üç farklı hızda 10 dakika boyunca karıştırılarak karışımın homojenliği gözlemlenmiştir. 300 dev/dk hızında karıştırılan en homojen karışımdan balata numunesi üretilerek aşınma ve sürtünme karakteristikleri olumlu sonuç vermiştir [57].

3.2.3. Soğuk Pres Basıncı

Soğuk presleme işlemi, önceden homojen olarak karıştırılmış olan balata içeriğinin soğuk presleme kalıplarına dökülmesi suretiyle preste sıkıştırılarak ön şeklinin verilmesi sürecidir. Porozite oranını düşürmek için uygulanan soğuk presleme basıncı da artırılır [58].

Porozite ve sıkıştırma oranı değerleri Young modülü ve malzemenin sönümlenme özelliği ile doğrudan ilgilidir. Bu yüzden soğuk presleme parametreleri fren balata malzemesinin özelliklerini doğrudan etkilediği için oldukça önemlidir. Üretim parametrelerinin fren balatasının tribolojik ve fiziksel özelliklere etkisi yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür. Farklı üretim parametreleri ile üretilen aynı içerikli balatalar farklı özellikler sergileyebilmektedir. Bundan

dolayı bir sürtünme malzemesi tasarlanırken malzeme bileşenleri, üretim parametreleri ile birlikte bir bütün olarak düşünülmelidir. Bu aşamada; balata üretim parametrelerinden olan soğuk presleme basıncının balata üzerindeki etkisini incelemek için aynı içerikli üç farklı soğuk presleme basıncında balatalar üretilmiş, balataların aşınma ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Soğuk presleme basıncı olarak 60, 80 ve 100 bar basınçları seçilmiştir. Üretilen numunelerin sürtünme performansı, sertlik, yoğunluk ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak 80 bar soğuk pres basıncı uygulamanın yapılacak çalışmalarda uygun bir değer olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda ön şekillendirme basıncı 80 bar alınmıştır.

3.2.4. Soğuk Pres Zamanı

Metal matris kompozitler (MMK) yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve yüksek aşınma direncinden dolayı havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi başta olmak üzere birçok alanda önemli kullanım alanına sahiptir [59-60-61]. Bundan dolayı, bu kompozitlerin mekanik özelliklerini ve mikro yapılarını daha da geliştirmek için devamlı bir araştırma ve deney süreci mevcuttur. MMK'ler; matris ve takviye malzemelerinin kimyasal özellikleri, takviye elemanının formu (tipi) ve malzemeden beklenen özelliklere bağlı olarak çok farklı metodlarla üretilirler [62]. Toz metalurjisi (T/M) bazı kompozit üretim yöntemleri arasındadır. T/M yöntemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, düşük işlem sıcaklığından dolayı matris ve takviye malzemeleri arasında istenmeyen ara yüzey reaksiyon ürünlerinin minimize edilmesi gibi birçok avantaja sahiptir [63,64]. Toz metalurjisinin çoğu uygulamalarında nihai ürün açısından yüksek yoğunluk öncelikli bir kavramdır. Soğuk izostatik presleme numunenin oda sıcaklığında bir sıvı içerisinde üç ekseninde, numunenin her noktasına eş basınç uygulanmasıyla gerçekleşen yüksek yoğunluk yöntemlerinden biridir [65]. İzostatik preslemede, tek eksenli preslerin aksine kalıp duvarı ile pres arasında sürtünmeden doğan kalıcı gerilmeler oluşmamaktadır [66]. İzostatik presleme, kalıp yüzeyi sürtünmesi olmadığı için kalıpta sıkıştırma yöntemine göre daha fazla yoğunluk verir. Bu aşamada; balata üretim parametrelerinden soğuk presleme zamanının balata üzerindeki etkisini incelemek amacıyla aynı içeriğe sahip üç numune 1, 2 ve 3 dakika gibi üç farklı soğuk presleme zamanında ön şekillendirilmesi yapılmıştır ve üretilen numunelerin sürtünme performansı, sertlik, yoğunluk ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak 2 dakika soğuk presleme zamanı en uygun değer olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda ön şekillendirme zamanı 2 dakika alınmıştır.

3.2.5. Sıcak Pres Basıncı

Gelişen teknolojiyle mühendislik malzemelerinin üretiminde toz metalurjisi (T/M) imalat tekniğinin kullanımı artmaktadır. T/M üretim tekniğinin temel avantajlarından birisi, diğer üretim yöntemleri ile üretilmesi zor olan malzemelerin üretilebilmesidir. Farklı presleme teknikleri ile ekonomik olarak yüksek üretim hızında, yüksek kalitede, yüksek hassasiyette karmaşık yapıları parçaların üretimine imkân vermektedir. [67-70]. T/M yöntemi, farklı biçimlerde metal matrisli kompozitin (MMK) üretildiği büyük bir endüstridir [71-73]

Genellikle T/M yönteminde üretim soğuk preslemeyle yapılmaktadır fakat son zamanlarda sıcak presleme ile de malzeme üretimi artmıştır [74].

Bu aşamada; sıcak presleme basıncının balata üzerindeki etkisini incelemek amacıyla aynı içerikli üç numune üç farklı presleme basıncı uygulanarak (100, 125 ve 150 bar) üretilmiş ve üretilen numunelerin tribolojik özellikleri incelenmiştir. Yapılan aşındırma deneyleri sonucunda 100 bar pişirme basıncının en uygun değer olduğu tespit edilmiştir. Numune üretiminde bu sonuç kullanılmıştır.

3.2.6. Sıcak Pres Zamanı

Bu aşamada; balata üretim parametrelerinden sıcak presleme zamanının balata tribolojik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla aynı içerikli üç numune 80 bar ön şekillendirme, 2 dakika soğuk presleme zamanı, 10 dakika toz karıştırma süresi ve üç farklı sıcak presleme zamanı uygulanarak (5, 10 ve 15 dk) üretilmiştir. Üretilen numunelerin tribolojik özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak yapılan deneylerde sıcak presleme zamanı 10 dk olarak tespit edilmiştir.

3.2.7. Sıcak Pres Sıcaklığı

Bu aşamada; balata üretim parametrelerinden sıcak presleme sıcaklığının balata sürtünme ve aşınma özelliklerine etkisini incelemek amacıyla aynı içerikli üç numune 80 bar ön şekillendirme, 2 dk soğuk presleme zamanı, 10 dk toz karıştırma süresi ve üç farklı sıcak presleme sıcaklığı uygulanarak (125, 150 ve 175 oC) üretilmiştir. Üretilen numunelerin tribolojik özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak 175 oC sıcak presleme (pişirme) sıcaklığı en yüksek sürtünme katsayısına sahip göstermesine rağmen sürtünme kararlılığının iyi olmadığından dolayı 150 oC uygulamanın yapılacak çalışmalarda daha uygun bir değer olduğu düşünülmüştür.

3.3. Fren Balataları İçin Türk Standartlarında Belirlenen Deney Şartları

Sürtünme katsayısı, Mart 1992 tarihli Türk Standartları (TS) 555'te "Disk veya kampana ile disk fren veya kampana fren arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranıdır" şeklinde ifade edilmiştir [76]. Fren balataları için sürtünme katsayısının belirlenmesinde uygulanacak deney şartları ise Nisan 1991 tarihli TS 9076'da açıklanmıştır. Bunlar; Sıcaklık Grubu A: 350 °C'ye kadar sınırlanmış sıcaklıkta ve 1050 kPa basınçta yapılan aşınma deneyi, Sıcaklık Grubu B: 400 °C'ye kadar sınırlanmış sıcaklıkta ve 3000 kPa basınçta yapılan aşınma deneyi, deney programları belirtilmiştir. Fren balata malzemesinin yüzeyinin alıştırılması aşamasında 700 kPa basınç altında, gerektiğinde soğutma yapılarak 200 °C'de yüzey teması en az %95 oluncaya kadar sürekli olarak yapılmalıdır. Aralıklı olarak 100 °C'de 10 saniye yüklü, 20 saniye yüksüz olmak üzere 1050 kPa basınç altında yapılmalıdır veya 700 kPa basınç altında 100 °C sıcaklıkta sürtünme katsayısı sabitleşinceye ve yüzey teması en az %95 oluncaya kadar 310 dev/dk döndürülür [77]. Aşındırma deneyleri sonrasında disk yüzeyi üzerinde kalmış olan tozlar taşlama, kaba ve ince zımparalama işlemlerinden sonra kompresör vasıtasıyla basınçlı hava püskürtülerek yüzey temizlenir.

Soğuk sürtünme katsayısı; A şartlarında aşınma deneyi sırasında 100 °C, 150 °C ve 200 °C sıcaklıklarda ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak bulunur.

Sıcak sürtünme katsayısı; A şartlarında 300–350 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyi esnasında, sıcaklık grubu B şartlarında 350–400 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyi esnasında ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamasıdır [77].

Asbest içermeyen kompozit malzemeli demir yolu taşıtları fren pabucuna yönelik olarak düzenlenmiş olan Nisan 1998 tarihli TS 12464'te kompozit malzemeli fren pabucu özellikleri olarak; 'Pabuçların kullanımı esnasında çıkan tozlar, aşınma parçacıkları veya gazlar sağlık açısından olumsuz etki yaptığından, pabuçlar asbest, kurşun, çinko gibi sağlığa zararlı maddeler ihtiva etmemelidir" ifadesi yer almaktadır [78].

TS 555'te belirtilen balata sertlik deneylerinin şartları TS 139'da bulunan açıklamaya göre yapılmıştır. TS139'da belirtilen brinell sertlik ölçüm yöntemidir. Bu yöntemde literatürde açıklanmış olan metal bilyenin balata yüzeyine kuvvet uygulanmasıyla bir iz oluşturur. Yükleme kuvveti oluşan izin alanına bölünmesiyle orantılı bir değerdir. Yükleme derecesi; deney yükü kuvveti ile bilye çapının karesi arasındaki oranın 0,102 sabiti ile çarpımıdır, şeklinde ifade açıklanmaktadır [79].

$$BS=0,102x\frac{2F}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})} \quad (2)$$

BS= Balata sertliği

F = Deney yükü (N)

D = Batıcı bilye çapı (mm)

d = Bilye izi ortalama çapı (mm) olarak alınmıştır.

Ayrıca ölçümlerin sağlıklı olabilmesi için "d" iz çapı 0,2 D ile 0,7 D arasında bulunmalıdır. Genellikle çelik ve dökme demirler için x = 30, bakır ve alüminyum alaşımları için x = 10 veya 5, çok yumuşak metaller için 2,5 veya 1,25 alınır daha büyük veya küçük izler ve yükleme derecesi kullanılması halinde yanlış yâda karşılaştırılabilir olmayan sertlik değerleri elde edilir [80].

Sertliği ölçülecek malzeme çelik ise, bilyeyi basan kuvvetin değeri bilye çapı karesinin 30 katı, eğer malzeme Al, Mg, Cu veya bu metallerin alaşımları ise o zaman bilye çapı karesinin 10 katı, malzeme daha yumuşak olursa 5 katı ve en yumuşak malzemeler için bu katsayı 2,5 katı olarak alınır [81,82]. Sürtünme malzemesi sert ise iz küçük yumuşak ise iz büyük olur [83].

Özgül aşınma değerleri TS 555 açıklanmış olan kütle yöntemi kullanılmış ve aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$V = \frac{1}{2\pi R d} \times \frac{(m_1 - m_2)}{n f m \rho} \quad (3)$$

V = Özgül aşınma

m1 = Deneyden önce ölçülen balata kütlesi (g)

m2 = Deneyden sonra ölçülen balata kütlesi (g)

ρ = Balata yoğunluğu (g/cm³)

Rd = Disk yarıçapı (m)

fm = Deneydeki ortalama sürtünme kuvveti (N)

n = Toplam devir sayısı (devir)

3.4. Deney Numuneleri Test Aşamaları

3.4.1. Deney Numunelerinin Üretilmesi

Fren balataları farklı üretim parametrelerinde sırasıyla toz karıştırma zamanı, toz karıştırma devri, soğuk pres zamanı, soğuk pres basıncı, sıcak pres basıncı, sıcak pres zamanı, sıcak pres sıcaklığı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme zamanı gibi kompozit malzeme üretim metotlarıyla fren balata malzemesi numuneleri üretilmiş ve pin-on disk tipi fren balata test cihazında sürtünme katsayısı-sıcaklık testleri yapılmıştır. Sürtünme performansı, aşınma,

yoğunluk ve sertlik gibi testler sonucunda en uygun bulunan üretim parametresi seçilmiş ve bu doğrultuda Tablo 3.1.'de verilmiş deneylerde kullanılacak olan farklı içeriklerde bağlayıcı olarak karaçam, kızılçam, sedir, fıstık çamı ve sedir kozalakları katkılı fren balata numuneleri üretilmiştir.

Tablo 3.1. Ortak içerik olarak belirlenen katkı maddelerinin kütleli oranları

Malzeme Cinsi	% Oranları
Cashew	10
Çelik yünü	15
Al ₂ O ₃	5
Pirinç Talaşı	5
Gafit	7
Barit	30
Bakır	8
TOPLAM	80

Ortak içerikler ifadesinden tüm balatalarda kütleli oran esas alınarak ve kütleli olarak %80'lik kısmı seramik katkı olarak alümina (Al₂O₃), metalik katkı olarak bakır ve pirinç talaşı, katı yağlayıcı olarak grafit, dolgu maddesi olarak barit, sürtünme ayarlayıcı malzeme olarak cashew, parçalanmaya karşı direnci artırmak için çelik yünü oluşturmaktadır.

Geriye kalan %20'lik bölüm ise Farklı Bağlayıcı Maddeler (FBM) sedir, karaçam, fıstıkçamı, sarıçam, kızılçam kozalağı ve fenolik reçineden (F) oluşan malzemeler kullanılmaktadır.

Tablo 3.2. Karışımda kullanılan maddelerin kütleli oranları (%)

Numuneler	% Oranlar		
FBM	0	8	12
F	20	12	8
Ortak İçerik	80	80	80
TOPLAM	100	100	100

Deneyli çalışmaların ilk aşamasında, temin edilen karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstıkçamı ve sedir kozalağı gibi orman tali ürünleri ve fenolik reçine, bakır, pirinç talaşı, çelik yünü, cashew, Al₂O₃ vs. gibi toz malzemelerin en iyi karışım oranları ve karıştırma sürelerini belirlemek için literatür çalışmaları sonucunda piyasada kullanılan balata oranlarının yaklaşık olarak ortalamaları tespit edilerek ön deneyler yapıldı. Karışım miktarları belirlenen tozların homojenliğini sağlamak için numune içeriği Şekil 3.1.8.1.'de gösterilen özel olarak yapılmış karıştırıcıda 10 dakika süre ile 300 dev/d hızda karıştırılmıştır. Karışımlar, balatanın üretimi tamamlanmış hacmi dikkate alınarak soğuk presleme kalıbına uygun miktarda doldurulmuştur.

Soğuk presleme işleminin ardından pişirilme işlemine geçilmiştir. Sıcak preslenmiş bu malzemeler aşınma deneyleri için hazır duruma gelmiştir.

3.4.2. Deney Numunelerinin İçerikleri

Numune balatalar beş farklı grupta üretilmiştir. Birinci grupta karaçam kozalaklarının kullanıldığı numuneler, ikinci grupta kızılçam kozalaklarının kullanıldığı numuneler, üçüncü grupta sarıçam kullanılan numuneleri dördüncü grupta fıstıkçanı kullanıla numuneler ve beşinci grup ise sedir kozalaklarının kullanıldığı numunelerdir. Bu malzemelerin optimum oranlarını belirlenmesi için üç farklı oran kullanılmıştır. Bu yüzden beş grupta farklı içeriklere sahip 15 adet numune üretilmiştir. Fenolik reçinenin maliyete yüksek etkisi ve yurtdışına bağımlılık getirdiği dikkate alındığında alternatif olarak karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstık çanı ve sedir kozalaklarının önemi artmaktadır.

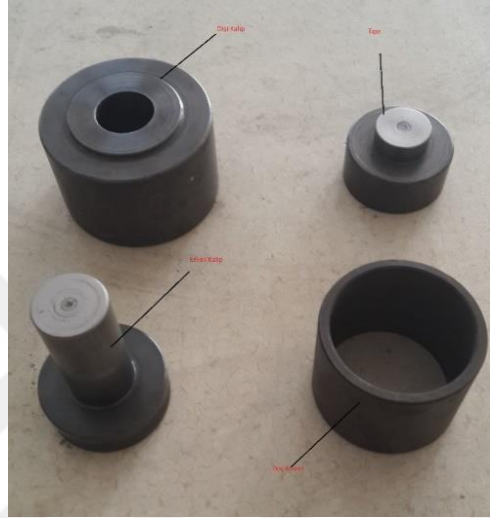
Yapılan çalışmada balata formülasyonu değiştirilerek üretilen balataların tribolojik özellikleri belirlenmiştir. Aşağıdaki Tablo 3.3.'de fren balata numuneleri üretiminde kullanılan malzemelerin kütleli yüzde oranları verilmiştir. KA ile gösterilenler karaçam kozalağı tozu, KI ile gösterilenler kızılçam kozalağı tozu, SA ile gösterilenler sarıçam kozalağı tozu, FI ile gösterilenler fıstıkçanı kozalağı tozu, SE ile gösterilenler sedir kozalağı tozu ve FR ile gösterilen ise içinde bağlayıcı olarak sadece fenolik reçine bulunan numunedir.

Tablo 3.3. Numunelerin %'de oranları (kütleli)

NUMUNELER	İÇERİK									TOPLAM
	Cashew	Çelik Yünü	Al ₂ O ₃	Pirinç Talaşı	Grafit	Barit	Bakır	Kozalak Tozu	Fenolik Reçine	
FR	10	15	5	5	7	30	8	0	20	100
KA-8	10	15	5	5	7	30	8	8	12	100
KA-12	10	15	5	5	7	30	8	12	8	100
KI-8	10	15	5	5	7	30	8	8	12	100
KI-12	10	15	5	5	7	30	8	12	8	100
SA-8	10	15	5	5	7	30	8	8	12	100
SA-12	10	15	5	5	7	30	8	12	8	100
FI-8	10	15	5	5	7	30	8	8	12	100
FI-12	10	15	5	5	7	30	8	12	8	100
SE-8	10	15	5	5	7	30	8	8	12	100
SE-12	10	15	5	5	7	30	8	12	8	100

3.4.3.Komprime (Soğuk Presleme)

Balata numuneleri belirlenen miktarlarda 0,001 hassasiyetteki tartıda tartılarak Şekil 3.16.'de gösterilen soğuk presleme kalıbına 100 bar basınç altında ön şekillendirme yapılmak için doldurulmuştur. Soğuk presleme kalıplarının kalıp derinliği 8~10 cm civarındadır. Soğuk presleme işlemi yapılırken en alta tıpa sonra dişi kalıp ve en üste erkek kalıp gelecek şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.16. Soğuk pres kalıbı

Soğuk presleme sonrası kalıplardaki ön şekillendirilme işlemi yapılmış malzemelerin çıkarılabilmesi için tıpa üste gelecek şekilde 180° döndürülerek üstüne boş kovan konur kalıbın üzerine düşük yük uygulanarak erkek kalıbın numune ve tıpayı itmesi suretiyle balata malzemesi kalıp içeresinden çıkarılmış olur.

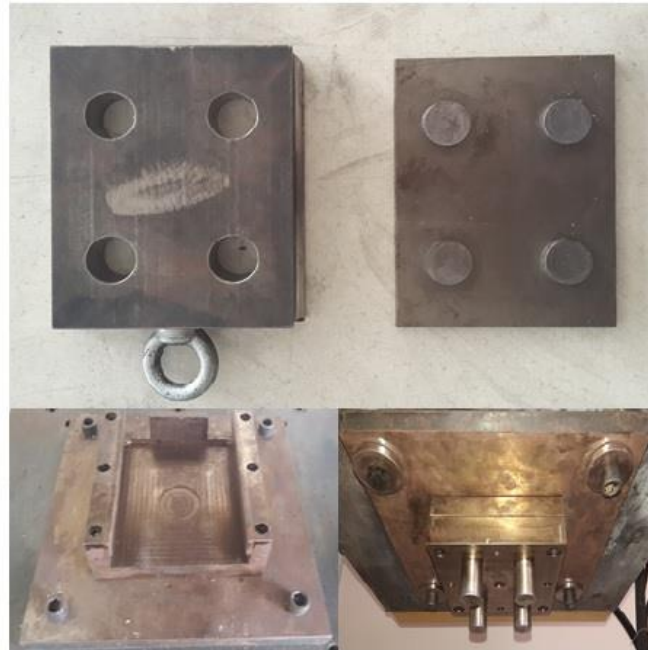
Kalıp içeresinden çıkan balata malzemesi Şekil 3.17.'de görüldüğü gibi 25,4 mm çapında bir silindirik tablet haldedir. Bu malzeme soğuk presten çıkarılırken, taşınırken ve pişirme için sıcak pres kalıplarına konulması esnasında şekil 3.17.'de görüldüğü gibi oldukça çabuk dağılma gösterir.



Şekil 3.17.Ön şekillendirme sonrası fren balata numunelerinin görünümü

3.4.4. Pişirme (Sıcak Presleme)

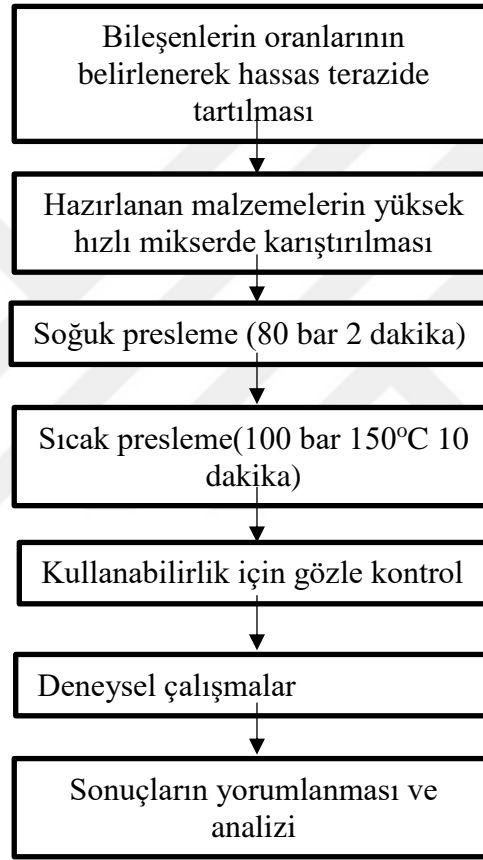
Pişirme işlemi yapmak için ön şekillendirmesi yapılmış fren balata numuneleri sıcak pres kalıplarına yerleştirilmiştir. Sıcak presleme sırasında numunelere 100 bar basınç uygulanmıştır. Prese monte edilmiş kalıpların ısıtılma işlemi presin alt ve üst tablalarında bulunan elektrikli ısıtıcı yardımıyla yapılmıştır. Sıcak presleme işleminin yapıldığı pres ± 5 °C toleransla çalışan 300 °C'ye kadar ısıtma kapasitesine sahip olup sıcaklık kontrolü termostat ile yapılmaktadır. Deney numunelerinin her bir mm kalınlık için 150°C'de 1 dakika pişirilmek suretiyle toplam 10 dakika preslenmiştir. Pişirilme işlemi yapılmış fren balata numunelerini kalıptan çıkarılma sırasında kırılma ve çatlama gibi deformasyonlar oluşmaması ve yapışmayı engellemesi amacı ile pişirme kalıbının erkek ve dişi kısımlarına granül sabun sürülmüştür. Şekil 3.19.'de pişirilme sonrası balataya yapışan sabun görülmektedir.



Şekil 3.18.Sıcak Pres Kalıbı



Şekil 3.19.Sıcak pres ile imal edilen balatalar



Şekil 3.20.Deney numunelerinin üretim akış şeması

3.4.5. Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması

Üretilen numuneler sıcak pres kalıbından çıkarıldıktan sonra deneylere tabi tutulmuştur. Bu numunelerde bağlayıcı olarak kullanılan fenolik reçine ve karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstık çamı ve sedir kozalağı tozu üretim süresi içerisinde ısı ve basınç etkisiyle toz tanecikleri içerisine yayılarak balata bütünlüğünü oluşturmuştur. Bu numunelerde reçinenin kürleşme süresi üretim süresi ile sınırlı kalmıştır. Bahsedilen sıcaklık ve sürede normal atmosfer şartları altında

gerçekleştirilmiştir. Sıcak presleme yöntemiyle üretilen tüm numuneler deney düzeneğindeki numune balata için açılmış olan balata yuvası ölçülerine getirilirken kesme ve taşlama yöntemleri kullanılmıştır. TS 9076'da deney numunelerinin boyutlarının çapı 25.4 mm, kalınlık 5-8 mm eşit kalınlıkta olacak şekilde hazırlanır ve sürtünen yüzeylerde hiçbir işaret bulunmamalıdır ifadesi bulunmaktadır [75]. Numunelerin kalınlığı ise 2 mm'si numune yuvasına gireceği ve 4 mm'si dışarıda kalacağı dikkate alınarak toplam 6 mm olarak hazırlanmıştır. Test cihazında balatanın takılabilmesi için 1" (25.4 mm)'lik yüzey alanı 2 mm derinlikte boşaltılmış olan balata tutucu sac kullanılmaktadır.



Şekil 3.21.Balata tutucu ve balata

Balatalar, balata tutucu saca takılabilmesi için 1" (25.4mm) boyutlarında üretilmişlerdir. Şekil 3.21.'de balata tutucu sac ve balatanın balata tutucu saca takılmış hali görülmektedir. Fren balata numuneleri balata tutucuya sıkı geçme yöntemiyle tutturulmuştur.

3.4.6. Aşınma ve Sürtünme Deneyleri

Deneylerde karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstık çamı ve sedir olmak üzere toplam onbeş adet numune kullanılmıştır. TS 555'te belirtildiği üzere deneylerde aynı içeriğe sahip beşer adet fren balata numunesi kullanılarak aritmetik ortalama değerler alınmıştır. Toplam 15 adet farklı içerik ve aynı üretim işlemine tabii tutulmuş numunenin frenleme karakteristiği ve tribolojik özellikleri belirlenmesi için aşağıda anlatıldığı gibi deneyler yapılmıştır.

Tüm deneylerde deney başlangıç sıcaklığı 45 °C olarak alınmıştır.

Deney numunelerinin hepsi balata yüzeyinin %95'i fren diskine temas edinceye kadar 7 bar basınç altında sürekli frenleme etkisine maruz bırakılarak alıştırma işlemi yapılmıştır. Zımparalama, temizleme ve soğutma işlemleri TS 9076'da belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir [77].

Zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi 10,5 bar basınç altında ve 45 oC'den 400 oC sıcaklığa kadar 1800 saniye süresince her saniyedeki değerler notepad'e kaydedilerek tespit edilmiştir.

TS 555'te balataların aşınma dirençlerini belirlemek amacıyla özgül aşınma ifadesi balatada meydana gelen hacimsel azalma olarak ifade edilmiştir. TS 555'te özgül aşınma için aksi belirtilmedikçe bu özellik aranmaz ifadesi yer almaktadır. Bu çalışmada üretimi yapılan test cihazının ölçüleri arasında farklılık bulunmaktadır. Bu sebeple literatür çalışmaları dikkate alınarak bu çalışmaya özgü yapılan aşınma deneyinde kütleli fark metodu seçilerek elde edilen değerler TS 555'te belirtilen hesaplama yolu ile hesaplanmıştır. Sonuçlar 4. Bölümde verilmiştir.

Bu çalışmada üretilen numune balataların aşınma direncini ölçmede deney öncesi ağırlıktan deney sonrası ağırlığın çıkartılması yolu seçilmiştir. Balataların 10.5 bar basınç altında 616 dev/dk hızda 1800 saniye süre ile 10800 m yol alması sağlanarak aşınma miktarı ve aşınma dirençlerinin belirlenmiştir. Bu deney sonunda her bir numune balata hassas terazide tartılarak kütle kaybı bulunmuştur. Özgül aşınma değerleri 3 numaralı formül ile hesaplanarak elde edilen sonuçlar Bölüm 4'de verilmiştir.

3.4.7.Sertlik Ve Yoğunluk Testleri

Numune balataların sertliklerinin belirlenmesinde TS 139'da belirtilen işlemler uygulanmıştır. Bu aşamada yapılan çalışmalarda statik sertlik ölçme yöntemlerinden olan Brinell sertlik ölçme yönteminin söz konusu balataların sertliğini belirlemede uygun yöntem olduğu belirlenmiştir. Sertlik ölçme işlemlerinde "Bulut Makine BMS 200 RB" marka rockwell-brinell sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Yukarıda verilen bilgiler dikkate alınarak batıcı uç olarak çapı 2,5 mm olan çelik bilye uç kullanılmıştır. Uygulanan yük 62,5 kgf (612,9 N) olarak alınmıştır. Yükleme sırasında 8 saniye uygulama, 15 saniye sabit yükleme süresi olarak uygulanmıştır. Bu şekilde Brinell sertlik değeri hesaplanmıştır. Bu değerler çalışmış yüzeye sahip üçer numune üzerinden alınmıştır. Bu numunelerin yüzey boyutları R25.4 mm sahip olduğu için numunenin kenarlarından ve merkez noktalarından değerler alınmıştır. Deney sırasında kullanılan disk'te numune balataların sürtüdüğü yüzeyden ve numune balataların sürtünmediği yüzeyden beşer farklı noktadan sertlik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerler Bölüm 4'te verilmiştir. Ayrıca yukarıda bahsedilen ölçme yöntemi kullanılarak, deneysel çalışmalarda kullanılan diskin sertliği belirlenmiştir. 5 mm çapında bilye kullanılarak 1471 N (150 kg) yük uygulanmıştır. Bu değerler demir döküm malzemeler için ilgili kaynaklarda öngörülen değerlerdir.

Numunelerin yoğunluğu, aynı içerikli üç adet numune "Desis nhb 300" marka 0,001 hassasiyetli terazi ile Arşimet terazisi yöntemi ile belirlenmiştir. Bu numunelerin ilk önce havadaki ağırlığı ölçülerek kaydedilmiştir, akabinde ise hassas terazinin kefi su içine

daldırılarak numunelerin saf su içerisindeki ağırlığı ölçülerek kaydedilmiştir. Saf suyun hacmindeki değişim numunenin hacmini verdiğiinden dereceli silindirdeki fark miktar belirlenmiş ve cismin kütlesi cismin hacim farkına bölünmüş, üç numuneden çıkan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak cismin yoğunluğu belirlenmiştir. Bu deneylerden elde edilen değerler Bölüm 4’de verilmiştir.

3.4.8. SEM Fotoğrafları

Sürtünme ve aşınma deneyleri sonrasında numune balataların mikro yapısını incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışması yapılmıştır. SEM mikro yapı resimlerinin alınabilmesi için numunelerin yüzeyinin kaplanarak iletkenliğin sağlanması gerekmektedir. Numuneler " Quorum Q150R se "marka kaplama cihazında vakumlanarak, 15 saniye sürede platin ile 1-2 nm kalınlıkta plazma tekniği ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında " ZEISS Supra 55" marka taramalı elektron mikroskobunda $5,00 \times 10^{-5}$ mbar basınçta vakumlanmıştır. Vakumlama sırasında malzeme içyapısı gözenekli olduğundan gözeneklerde bulunan hava, cihazın vakumlama (dissarj) süresini olması gerekenden daha uzun sürdürmüştür. Cihaz iç basıncı $5,00 \times 10^{-5}$ mbar'a düşünce mikro yapı resimlerinin çekilebilmesi için cihaz aktif hale geçmiştir. Malzeme içyapı resimleri literatür çalışmaları dikkate alınarak 250 kat büyütülerek çekilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1.Giriş

Bu çalışmada; bağlayıcı malzeme olan fenolik reçineye alternatif olarak düşünülen orman tali ürünlerinden karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstıkçanı ve sedir kozalağı tozu ile üretilmiş fren balata numunelerinin otomotiv fren balatalarında farklı bağlayıcı malzeme kullanımının frenleme performansına etkisi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Üretilen numunelerin tribolojik özelliklerinin tespiti PIN-ON DISK tipi fren balata test cihazı ile belirlenmiştir. SEM ile mikro yapı çalışmaları ve Arşimet terazisi yöntemi ile de yoğunluk ölçümleri yapılmıştır.

Numunelerin zamana bağlı sıcaklık-sürtünme katsayısı değişimini belirlemek için 10.5 bar basınçta deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler 30 dakika sürede, disk hızı 616 dev/dk'da tutulmuş sıcaklık 45 °C'den başlatılarak 1 saniye aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Tüm balatalarda kütle oran esas alınmıştır. Bağlayıcı olarak; fenolik reçine, karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstıkçanı ve sedir kozalağı tozu, metalik katkı olarak bakır ve pirinç talaşı seramik katkı olarak alümina (Al₂O₃) katı yağlayıcı olarak grafit, dolgu maddesi olarak barit, parçalanmaya karşı direnci artırmak için çelik yünü sürtünme ayarlayıcı madde olarak cashewden oluşan malzemeler kullanılmıştır.

Deneyleri yapılmış olan numunelerden FR kodlu numunenin içeriği tablo 3.3' te görülmekte olup tüm karaçam kozalağı tozu, kızılçam kozalağı tozu, sarıçam kozalağı tozu, fıstık çanı kozalağı tozu ve sedir kozalağı tozu katkılı numunelerin yorumlanması esnasında bu numune referans olarak kabul edilmiştir.

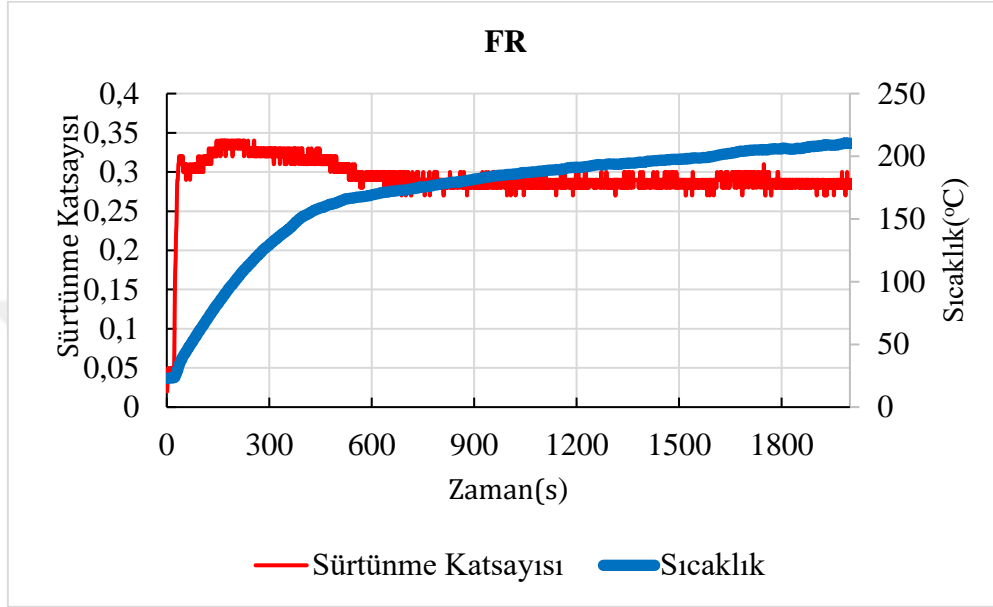
4.2.Karaçam Kozalağı Tozu Katkılı Fren Balataları

4.2.1. Sürtünme Performansı

Deneysel çalışma sonuçlarına dayanılarak bulunan sürtünme katsayıları ve sıcaklık ile ilgili grafikler Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3'de görülmektedir.

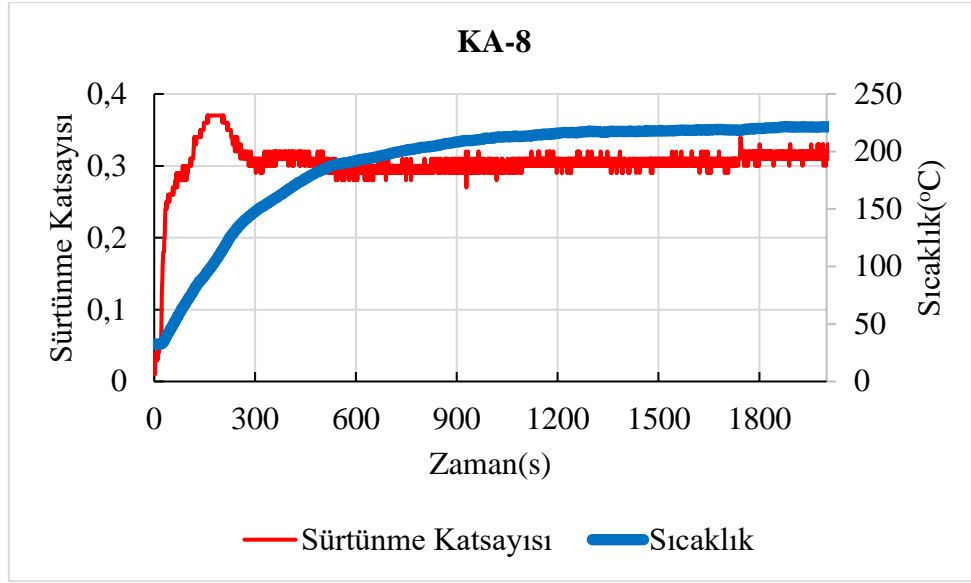
Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 bağlayıcı malzeme olarak fenolik reçine ve karaçam kozalağı kullanılan fren balata numunelerine ait sürtünme katsayısı-zaman ve sıcaklık-zaman grafiğini göstermektedir. Şekiller incelendiğinde zamana bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim, FR kodlu numunede 600. saniyeden sonra, KA-8 ve KA-12 kodlu numunelerde ise 500. saniyeden sonra istikrarlı olarak ilerlediği görülmektedir. En yüksek sürtünme katsayısını 0,30 ile KA-8 kodlu numune sergilemiştir. Şekil 4.1 ve 4.2 incelendiğinde karaçam kozalağı tozu katkılanması sürtünme katsayısında bir artışa neden olmaktadır, fakat karaçam kozalağı kütlece miktarı artıp fenolik reçine miktarı azaldıkça balata numunelerinde sürtünmeden dolayı olan aşınma da artmaktadır. Sürtünme katsayısı yüksek olan numunenin sıcaklık değeri de yüksek çıkmaktadır.

Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 sürtünme katsayısında meydana gelen sıcaklık değişimlerin zamana bağlı olarak değişimini göstermektedir. Şekiller incelendiğinde en yüksek sıcaklık, sürtünme katsayısı en yüksek olan KA-8 kodlu numunede meydana gelmiştir. Anderson [33] sürtünme kuvveti değişiminin, disk kalınlık değişimi, diskin sıcaklığı ve sürtünme yüzeyinde meydana gelen bileşenlerden güçlü bir şekilde etkilendiğini belirtmiştir.



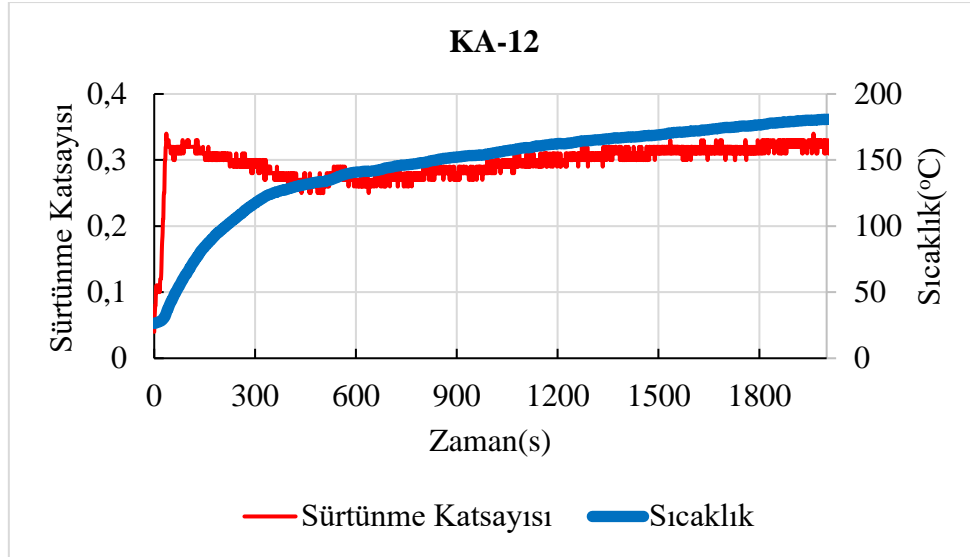
Şekil 4.1.FR kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği

Karaçam kozalağı tozu katkılı tüm örneklerde sürtünme tabakası gelişimi sürecinden sonra sürtünme tabakasını oluşturan içeriklerin özelliğine göre sürtünme karakteristiği şekillenmiştir (Şekil 4.2-4.3). Sürtünme katsayısı değişimi için bu grafikler incelendiğinde KA-8 kodlu numunede, FR ve KA-12 kodlu numunelere göre daha az dalgalanma görülmüştür. KA-8 ve KA-12 kodlu numunelerin iç ısısının sıcaklığının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı yavaş yavaş yükselme eğilimi göstermiştir (Şekil 4.2-4.3). Sürtünme katsayısındaki bu yükselme, sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin sürtünme çiftinin karşı yüzeyini oluşturan disk'e tutunma özelliği sıcaklık arttıkça iyileştiğini, yani komponenti oluşturan malzemelerin birbirleri ile iyi uyum sağladığından dolayı sürtünme yüzeyine karşı bir direnç oluşturabildiğini şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.2.KA-8 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği

FR kodlu numunenin 600. saniyeye kadar sürtünme katsayısında düşme meydana gelirken 600. saniyeden sonra sürtünme katsayısı sıcaklığın artışıyla birlikte istikrarlı hale gelmiştir (Şekil 4.1). FR kodlu numune sıcaklık artışıyla birlikte düşük ama kararlı bir sürtünme sergilemiştir. KA-8 kodlu numune 500. saniyeden sonra sıcaklık 200 oC üstüne çıkmaya başladığını andan itibaren sürtünme katsayısında yavaş yavaş yükselme meydana gelmiştir. Aynı durum KA-12 kodlu numunede de geçerlidir, burada karaçam kozalağı katkılı fren balataları kompozisyon içeriğinde bulunan karaçam kozalağı tozunun sıcaklık arttıkça kürleşmesi ve bağlayıcılık özelliğinde gelişme olduğu düşünülmektedir. Fren balatalarından istenen en önemli özelliklerden birisi, frenleme sırasında sürtünmeden dolayı açığa çıkan sıcaklık artışına bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişimin minimum seviyede olmasıdır [84,85].



Şekil 4.3.KA-12 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği

FR kodlu numunenin şekli (Şekil 4.1) incelendiğinde sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısında bir düşüş gözlenmiş, Şekil 4.2-Şekil 4.3'te görülen numuneler incelendiğinde ise sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısında bir yükselme görülmektedir. Genellikle sürtünme katsayısı (μ) 0,1 ile 0,7 arasında, sürtünme kuvveti ve disk balata ara yüzey sıcaklığına bağlı olarak değiştiği literatürde vurgulanmaktadır [86]. Şekil 4.1 içinde karaçam bulunmayan, Şekil 4.2 ve 4.3 ise kütlece farklı karaçam kozalağı tozu-fenolik reçine içeriklerine sahip numunelerden elde edilen sürtünme katsayılarını göstermektedir. Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ile karşılaştırıldığında karaçam kozalağı katkılanmış numunelerin sürtünme katsayısında çok az miktarda bir artış meydana getirdiği görülmektedir. Şekiller karşılaştırıldığında karaçam kozalağı katkılanmış numunelerin sürtünme katsayılarında sıcaklık arttıkça yükselen bir grafik elde edildiği görülmektedir. Karaçam katkılanan ve katkılanmayan FR, KA-8 ve KA-12 kodlu numunelerin sürtünme katsayısı değişimi incelendiğinde (Şekil 4.2-4.3) ilk 50 saniyede sürtünme yüzey tabakası oluşumunda yukarıda bahsedildiği gibi benzer karakteristik göstermiştir. İçeriğinde karaçam kozalağı olmayan numunede ise sıcaklığın artışıyla birlikte 50. saniyeden 500. saniyeye kadar kısmi bir düşüş ve sonrasında tekrar toparlanma mevcuttur. Fakat karaçam katkılı numunelerde 500. saniyeden sonra sıcaklığın artmasıyla beraber sürtünme katsayısında az miktarda bir yükselme gözlemlenmiştir. En düşük sürtünme katsayısına sahip FR ve KA-12 kodlu numuneler Şekil 4.1 ve 4.3'te görüldüğü gibi düşük sıcaklık sergilemişlerdir. En yüksek sürtünme katsayısı sergileyen KA-8 kodlu numunenin sıcaklık eğrisi en yüksektir.

Tablo 4.1. Karaçam kozalağı tozu katkılı numunelerin tribolojik özellikleri

Numune Kodu	Ortalama Sürtünme Katsayısı (μ_{ort})	Özgül aşınma oranı (cm^3/Nm)
FR	0,2918	$0,691 \times 10^{-6}$
KA-8	0,3033	$0,525 \times 10^{-6}$
KA-12	0,2951	$0,737 \times 10^{-6}$

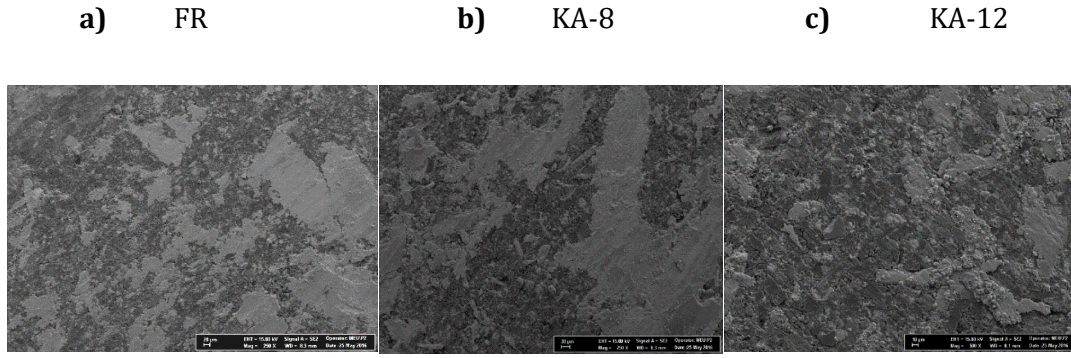
Tablo 4.2. Karaçam kozalağı tozu katkılı numunelerin fiziksel özellikleri

Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm^3)	Sertlik (HB)
FR	2,225	28
KA-8	2,305	30
KA-12	2,253	29

Numunelerin sertlik, yoğunluk ve aşınma değerleri tablo 4.1 ve tablo 4.2'de görülmektedir. Tablolar incelendiğinde KA kodlu numunelerin sürtünme katsayısı ortalaması 0,30, aşınma miktarı ortalamaları 0,64 olmuştur. Balata numunelerinde, sertliği yüksek olan balatanın aşınma direnci de yüksek olmalı sonucuna gidilemez. Komponenti oluşturan malzemeler sert yapıya sahip olabilir, bunun sonucu sertlik değeri yüksek çıkabilir. Ancak komponenti oluşturan malzemeleri tutan reçinenin bağlayıcılığı ve genel olarak içerik oryantasyonu uygun değilse, komponenti oluşturan parçacıkların sürtünme sırasında küçük zorlamalarda ana yapıdan çabucak ayrılması aşınma oranını beklenenden yüksek çıkarabilir.

4.2.2. Yüzey Karakteristiği

Karaçam kozalağı tozu katkılı fren balatalarının sürtünme performansının belirlendiği deneylerden sonra oluşan sürtünme yüzeyinin karakteristiğini belirlemek amacıyla çekilen SEM fotoğrafları Şekil 4.1'te görülmektedir. Söz konusu fotoğraflara genel olarak bakıldığında, sürtünme yüzeylerinin resimlerinden mikro çatlaklar, mikro boşluklar ve adhezif aşınmayı gösteren üzeri kaplanmış sürtünme tabakalarının ile abrazif aşınmayı gösteren çizikli sürtünme izleri olduğu görülmektedir. Ayrıca oluşan sürtünme yüzeylerinde komponenti oluşturan malzemelerin sürtünmeye aktif olarak katıldıkları da anlaşılmaktadır.



Şekil 4.4. KA kodlu fren balata numunelerinin SEM fotoğrafları

İçinde bağlayıcı olarak kütlece %20 oranında fenolik reçine bulunan FR kodlu numunenin SEM fotoğrafı Şekil (a)'da görülmektedir. Bu numune 0,29 sürtünme katsayısı ortalaması sergilemiştir. Bünyeden kopan parçacıkların oluşturduğu mikro boşluklar resimde görülmektedir. Sürtünme yüzeyindeki kısa çizikler ve renk farklılıkları adhezif ve abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir.

KA-8 kodlu numunenin SEM fotoğrafı Şekil (b)'de görülmektedir. Bu numune bağlayıcı olarak, kütlece % 12 fenolik reçine ve % 8 karaçam kozalağı tozu içermektedir. Söz konusu numune 0,30 sürtünme katsayısı ortalaması ile en yüksek sürtünme katsayısına sahiptir. Sürtünme yüzeyinde çok belirgin adhezif aşınma ve abrazif aşınmanın gerçekleştiğini gösteren çizikler ve buna bağlı olarak mikro boşlukların oluştuğu görülmektedir. Disk yüzeyinde tutunma sağlayacak sert ve büyük parçacıkların sürtünme tabakasında fazla bulunmadığı görülmüştür.

Şekil (c)'de görülen KA-12 kodlu numunenin SEM fotoğrafında sürtünme yüzeyinde abrazif aşınmaların olduğunu görülmektedir. Bu numunedeki, FR kodlu numune gibi 0,29 sürtünme katsayısı ortalamasına sahiptir. İçerikteki baritten kaynaklanan topaklanmalar görülmektedir. Bu parçacıkların yüzeyinde koyu ve açık gri renkli olarak görülen bölümlerde ise diğer sürtünme bölgelerinden koptuktan sonra bu parçacıkların üzerine sıvayan malzemelerin adhezif aşınmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Sürtünme yüzeylerinde oluşan çiziklerin sürtünme yüzeyindeki malzemelerin karşı yüzey ile tutunmaya çalıştığı anlaşılmaktadır.

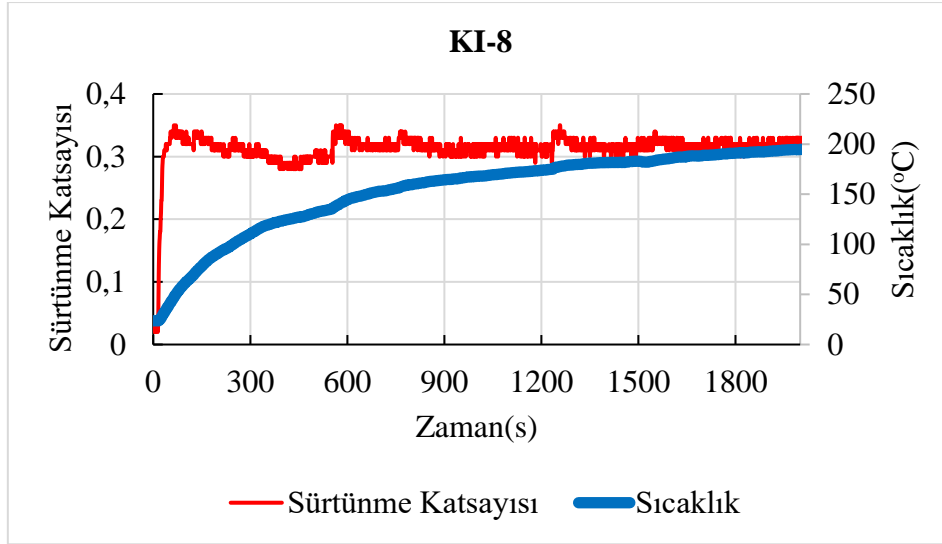
4.3.Kızılçam Kozalağı Tozu Katkılı Fren Balataları

4.3.1. Sürtünme Performansı

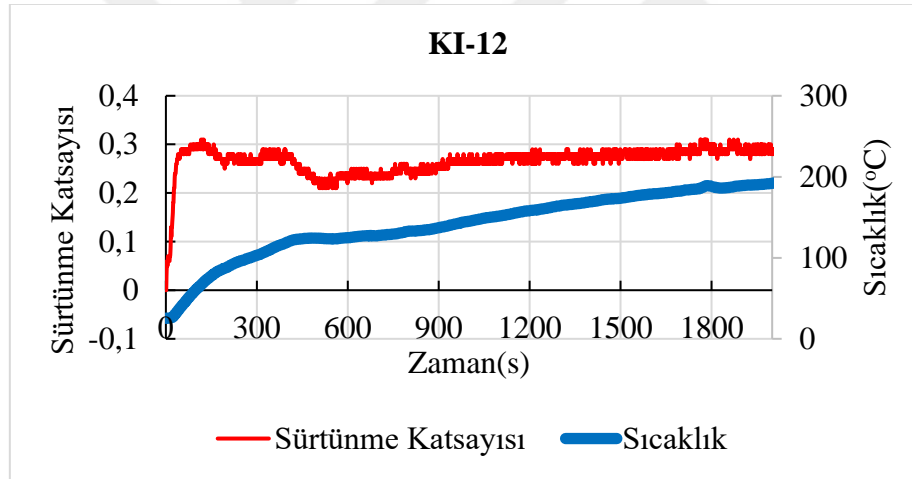
DeneySEL çalışma sonuçlarına dayanılarak bulunan sürtünme katsayıları ve sıcaklık ile ilgili grafikler Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'de görülmektedir.

Şekil 4.1, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 bağlayıcı malzeme olarak fenolik reçine ve kızılçam kozalağı tozu kullanılan fren balata numunelerine ait zamana bağlı sürtünme katsayısı-sıcaklık grafiklerini göstermektedir. En yüksek sürtünme katsayısı 0,31 ile KI-8 kodlu numunede görülmektedir. Şekil 4.5'de kızılçam kozalağı tozu kütlece %8 oranında katkılanmasıyla birlikte sürtünme katsayısında da bir artış olduğu görülmektedir fakat kızılçam kozalağı kütlece miktarı artıp fenolik reçine miktarı azaldıkça balata numunelerinde sürtünmeden dolayı olan aşınmada artmış olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.1, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'de sürtünmenin etkisiyle zamana bağlı olarak meydana gelen sıcaklık değişimleri gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde en yüksek sıcaklık FR'da, en yüksek sürtünme katsayısı ise KI-8 kodlu numunede meydana gelmiştir.

Kızılçam kozalağı katkılı tüm örneklerde sürtünme tabakası gelişimi sürecinden sonra sürtünme tabakasını oluşturan içeriklerin özelliğine göre sürtünme karakteristiği şekillenmiştir (Şekil 4.1-4.6). Sürtünme katsayısı değişimini gösteren bu grafikler incelendiğinde FR kodlu numune, KI-8 ve KI-12 kodlu numunelere göre daha az dalgalanma göstermiştir. KI-8 ve KI-12 kodlu numunelerin iç ısısının sıcaklığının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısında yükselme eğilimi görülmüştür. Sürtünme katsayısındaki bu yükselme, sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin sürtünme çiftinin karşı yüzeyini oluşturan disk'e tutunma özelliği sıcaklık arttıkça iyileştiğini, yani komponenti oluşturan malzemelerin birbirleri ile iyi uyum sağladığından dolayı sürtünme yüzeyine karşı bir direnç oluşturabildiğini şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.5. KI-8 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği



Şekil 4.6. KI-12 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği

FR kodlu numunenin 600. saniyeye kadar sürtünme katsayısında düşme meydana gelirken 600. saniyeden sonra sürtünme katsayısında sıcaklığın artışıyla birlikte istikrarlı hale gelmiştir (Şekil 4.1). FR kodlu numune sıcaklık artışıyla birlikte düşük ama kararlı bir sürtünme sergilemiştir. KI-8 kodlu numune 400. saniyeden sonra sıcaklık 130 °C üstüne çıkmaya başladığı andan itibaren sürtünme katsayısında yavaş yavaş yükselme meydana gelmiştir. Aynı durum KI-12 kodlu numunede 500. Saniyeden sonra geçerlidir. Burada kızılçam kozalağı tozu katkılı fren balata numunelerinin sıcaklığı arttıkça kürleşme ve bağlayıcılık özelliğinde geliştiği düşünülmektedir, bu durumda numunelerin sürtünme katsayısının artmasına neden olmuştur.

FR kodlu numunenin grafiği (Şekil 4.1) incelendiğinde sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısında bir düşüş gözlenmiştir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'de görülen grafikler incelendiğinde ise sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısında bir yükselme görülmektedir. Genellikle sürtünme katsayısı (μ) 0,1 ile 0,7 arasında, sürtünme kuvveti ve disk balata ara yüzey sıcaklığına bağlı olarak değiştiği literatürde vurgulanmaktadır [86]. Şekil 4.1 ile Şekil 4.5 karşılaştırıldığında kızılçam kozalağı tozu katkılanan numunenin sürtünme katsayısını çok az miktarda bir artış meydana getirdiğini göstermektedir. Şekil 4.1 ile 4.6 karşılaştırıldığında ise kızılçam kozalağı tozu katkılı fren balata numunesinin sürtünme performansında kötüleşme görülmektedir. Şekiller karşılaştırıldığında kızılçam kozalağı katkılanmış numunelerin sürtünme katsayılarında sıcaklık arttıkça yükselen bir grafik elde edildiği görülmektedir. Kızılçam katkılanmayan ve katkılanan FR, KI-8 ve KI-12 kodlu numunelerin sürtünme katsayısı değişimi incelendiğinde ilk 50 saniyede sürtünme yüzey tabakası oluşumunda yukarıda bahsedildiği gibi benzer karakteristik göstermiştir. İçeriğinde kızılçam kozalağı tozu olmayan numunede sıcaklığın artışıyla birlikte 50. saniyeden 500. saniyeye kadar kısmi bir düşüş ve sonrasında tekrar toparlanma mevcuttur. Fakat kızılçam katkılı numunelerden KI-8'de 400. saniyeden sonra, KI-12 kodlu numunede ise 500. saniyeden sonra sıcaklığın artmasıyla birlikte az miktarda bir yükselme gözlemlenmiştir. En düşük sürtünme katsayısına sahip KI-12 kodlu numune Şekil 4.6'de görüldüğü gibi düşük sıcaklık sergilemiştir. En yüksek sürtünme katsayısı KI-8 kodlu numune olmuştur. Kızılçam katkılı numunelerde sıcaklık yükselmesi kızılçam katkılanmayan numuneye göre daha azdır.

Tablo 4.3. Kızılçam kozalağı tozu katkılı numunelerin tribolojik özellikleri

Numune Kodu	Ortalama Sürtünme Katsayısı (μ_{ort})	Özgül aşınma oranı (cm^3/Nm)
FR	0,2918	$0,691 \times 10^{-6}$
KI-8	0,3125	$0,997 \times 10^{-6}$
KI-12	0,2667	$0,902 \times 10^{-6}$

Tablo 4.4. Kızılçam kozalağı tozu katkılı numunelerin fiziksel özellikleri

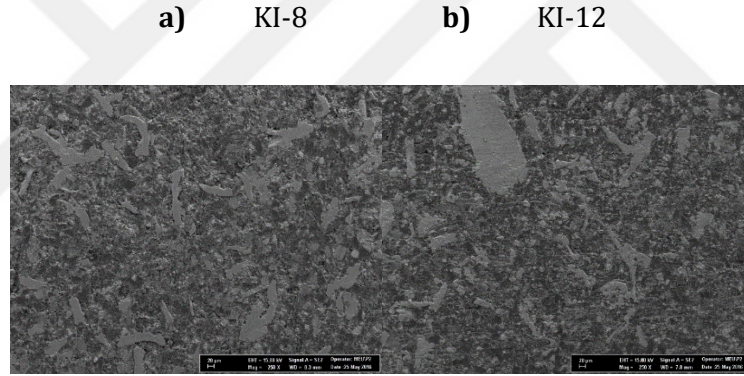
Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm^3)	Sertlik (HB)
FR	2,225	28
KI-8	2300	29
KI-12	2,356	26

Numunelerin sertlik, yoğunluk ve aşınma değerleri Tablo 4.3. ve Tablo 4.4.'ee görülmektedir. Tablolar incelendiğinde KI kodlu numunelerin sürtünme katsayısı ortalaması 0,28, aşınma miktarı ortalamaları 0,86 olmuştur. Balatalarda, sertliği yüksek olan balatanın aşınma direnci de yüksek olmalı sonucuna gidilebilir. Komponenti oluşturan malzemeler sert yapıya sahip olabilir, bunun sonucu sertlik değeri yüksek çıkabilir. Ancak komponenti oluşturan malzemeleri tutan reçinenin bağlayıcılığı ve genel olarak içerik oryantasyonu uygun değilse,

komponenti oluşturan parçacıkların sürtünme sırasında küçük zorlamalarda ana yapıdan çabucak ayrılması aşınma oranını beklenenden yüksek çıkarabilir.

4.3.2. Yüzey Karakteristiği

Kızılçam kozalağı tozu katkılı fren balatalarının tribolojik özelliklerinin belirlendiği deneylerden sonra oluşan sürtünme yüzeyinin karakteristiğini belirlemek amacıyla çekilen SEM fotoğrafları Şekil 4.7.'de görülmektedir. Söz konusu fotoğraflara genel olarak bakıldığında, sürtünme yüzeylerinin fotoğraflarından mikro çatlaklar, mikro boşluklar ve adhezif aşınmayı gösteren üzeri kaplanmış sürtünme tabakalarının ile abrazif aşınmayı gösteren çizikli sürtünme izleri olduğu görülmektedir. Ayrıca oluşan sürtünme yüzeylerinde komponenti oluşturan malzemelerin sürtünmeye aktif olarak katıldıkları da anlaşılmaktadır.



Şekil 4.7. KI kodlu fren balata numunelerinin SEM fotoğrafları

İçeriğinde bağlayıcı olarak kütlece %20 oranında fenolik reçine bulunan FR kodlu numunenin Sem fotoğrafı Şekil 4.2.2.1 (a)'da görülmektedir. Bu numune 0,29 sürtünme katsayısı ortalaması sergilemiştir. Bünyeden kopan parçacıkların oluşturduğu mikro boşluklar resimde görülmektedir. Sürtünme yüzeyindeki kısa çizikler ve renk farklılıkları adhezif ve abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir.

KI-8 kodlu numunenin içeriğinde bağlayıcı olarak kütlece %12 oranında fenolik reçine ve %8 oranında kızılçam kozalağı tozu bulunmakta olup SEM fotoğrafında komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı görülmektedir (a) ve 0,31 sürtünme katsayısı ortalaması sergilemiştir. Şekilde kısa boyutlu sürtünme yüzeyleri abrazif aşınmaların olduğunu göstermektedir. Görülen küçük topaklanmalar içerikteki baritten kaynaklanmaktadır ve bir araya gelen malzemelerin sınır bölgeleri görülmektedir. Bu parçacıkların yüzeyinde koyu ve açık gri

renkli olarak görülen bölümlerde ise diğer sürtünme bölgelerinden koptuktan sonra bu parçacıkların üzerine sıvı malzemelerin adhezif aşınmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Beyaz parlak renkli bölgeler, sürtünmeye aktif olarak katılmış metal parçacıklardır.

İçeriğinde bağlayıcı olarak kütlece %8 fenolik reçine ve %12 kızılçam bulunan KI-12 kodlu numunenin sürtünme yüzeyinin karakteristiğini belirlemek amacıyla çekilen SEM fotoğrafı Şekil (c)'de görülmektedir. Söz konusu resimde genel olarak, sürtünme yüzeylerinde abrazyon aşınmalar sonucu oluşan kısa çizikler, mikro ve makro boşluklar ve adhezif aşınmalar sonucu oluşan üzeri kaplanmış sürtünme tabakaları ile termomekanik gerilmelere bağlı olarak mikro çatlakların olduğu görülmektedir. Ayrıca oluşan sürtünme yüzeylerinde komponenti oluşturan malzemelerin sürtünmeye aktif olarak katıldıkları da anlaşılmaktadır. KI-12 kodlu numune 0,26 sürtünme katsayısı ortalaması sergilemiştir.

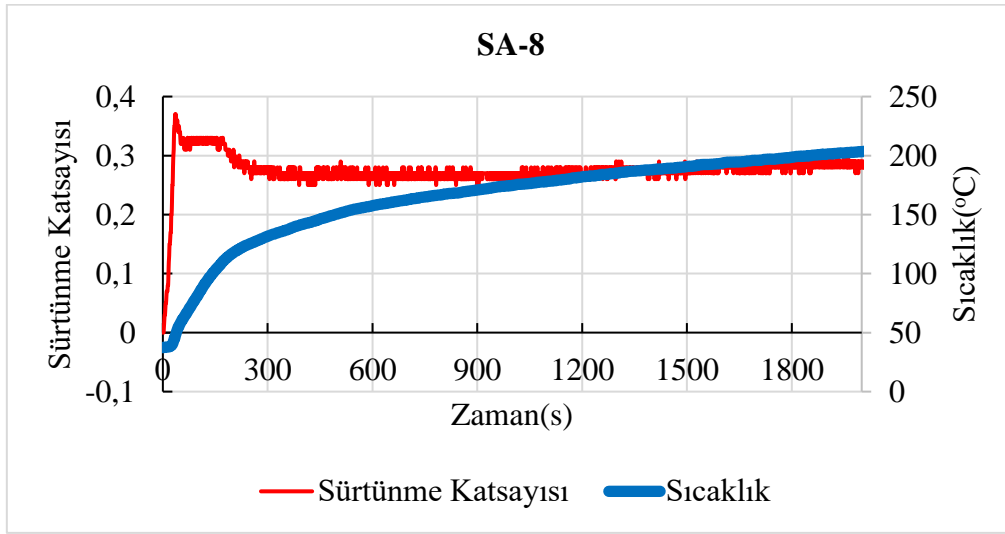
4.4.Sarıçam Kozalağı Tozu Katkılı Fren Balataları

4.4.1. Sürtünme Performansı

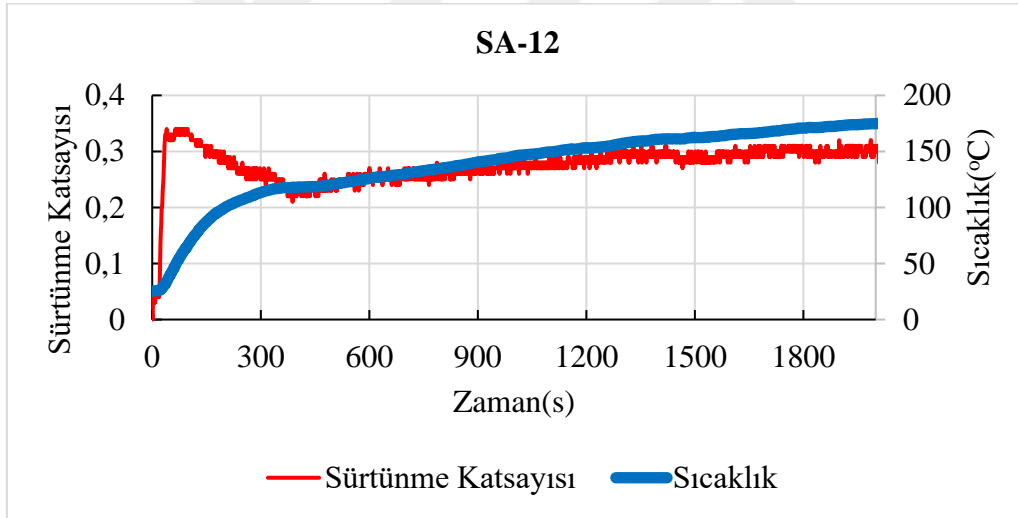
DeneySEL çalışma sonuçlarına dayanılarak bulunan sürtünme katsayıları ve sıcaklık ile ilgili grafikler Şekil 4.1, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'de görülmektedir.

Şekil 4.1, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 bağlayıcı malzeme olarak fenolik reçine ve sarıçam kozalağı tozu kullanılan fren balata numunesine ait zamana bağlı sürtünme katsayısı-zaman grafiklerini göstermektedir. En yüksek sürtünme 0,29 ile FR kodlu içinde sarıçam kozalağı tozu bulunmayan numunede görülmektedir. SA-8 ve SA-12 kodlu numunelerde sarıçam kozalağı tozu kütlece farklı oranlarda balata kompozisyonuna katılmıştır. Şekil 4.8 ve 4.9'de görüldüğü gibi her iki numunenin sürtünme katsayıları yakın değerler sergilemiştir. Şekil 4.1, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 sürtünme katsayısında meydana gelen sıcaklık değişimlerinin zamana bağlı olarak değişimini göstermektedir. Şekiller incelendiğinde en yüksek sıcaklık ve en yüksek sürtünme katsayısı FR kodlu numunede meydana gelmiştir.

Sarıçam kozalağı tozu katkılı tüm örneklerde sürtünme tabakası gelişimi sürecinden sonra sürtünme tabakasını oluşturan içeriklerin özelliğine göre sürtünme karakteristiği şekillenmiştir (Şekil 4.8,4.9). Sürtünme katsayısı değişimi için bu grafikler incelendiğinde, FR kodlu numunede SA-8 ve SA-12 kodlu numunelere göre daha az dalgalanma göstermiştir. SA-8 ve SA-12 kodlu numunelerin iç ısısının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı yavaş yavaş yükselme eğilimi göstermiştir (Şekil 4.8, Şekil 4.9). Sarıçam kozalağı tozu katkılı numunelerde olan sürtünme katsayısındaki bu yükselme, sarıçam kozalağı tozunun sürtünmeden dolayı ısısı arttıkça bağlayıcı özelliğinde iyileştiği düşünülmektedir.



Şekil 4.8. SA-8 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği



Şekil 4.9. SA-12 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği

FR kodlu numunenin 600. saniyeye kadar sürtünme katsayısında düşme meydana gelirken 600. saniyeden sonra sürtünme katsayısında sıcaklığın artışıyla birlikte istikrarlı hale gelmiştir (Şekil 4.1) FR kodlu numune sıcaklık artışıyla birlikte düşük ama kararlı bir sürtünme sergilemiştir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 incelendiğinde SA-8 kodlu numune 300. saniyeden sonra sıcaklık 130 oC üstüne çıkmaya başladığını andan itibaren sürtünme katsayısında toparlanma meydana gelmiştir. SA-12 kodlu numunede ise 350. saniyeden sonra sıcaklık 115 oC üstüne çıktığında sürtünme katsayısında yükselme görülmektedir. Burada komponent içerisinde

bulunan sarıçam kozalağı tozunun sıcaklığı arttıkça kürleşme ve bağlayıcılık özelliğinde gelişme olduğu düşünülmektedir, bu durum numunelerin sürtünme katsayısının yükselmesine neden olmuştur. FR kodlu numunenin şekli (Şekil 4.1) incelendiğinde sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısında bir düşüş gözlenmiş, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'te görülen numuneler incelendiğinde ise sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısında bir yükselme görülmektedir. Genellikle sürtünme katsayısı (μ) 0,1 ile 0,7 arasında, sürtünme kuvveti ve disk balata ara yüzey sıcaklığına bağlı olarak değiştiği literatürde vurgulanmaktadır [86]. Şekil 4.8 ile Şekil 4.9 karşılaştırıldığında kütlece %12 oranında sarıçam kozalağı tozu katkılanan numunenin sürtünme katsayısını çok az miktarda bir artış meydana getirdiği görülmektedir. Şekil 4.1 ile 4.9 karşılaştırıldığında ise sarıçam kozalağı tozu katkılı fren balata numunesinin sürtünme performansında kötüleşme görülmektedir. Şekiller karşılaştırıldığında sarıçam kozalağı katkılanmış numunelerin sürtünme katsayılarında sıcaklık arttıkça yükselen bir grafik elde edildiği görülmektedir. Sarıçam katkılanan ve katkılanmayan FR, SA-8 ve SA-12 kodlu numunelerin zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi incelendiğinde (Şekil 4.1-4.9) ilk 50 saniyede sürtünme yüzey tabakası oluşumunda yukarıda bahsedildiği gibi benzer karakteristik göstermiştir. İçeriğinde sarıçam kozalağı tozu olmayan numunede sıcaklığın artışıyla birlikte 50. saniyeden 500. saniyeye kadar kısmi bir düşüş ve sonrasında tekrar toparlanma mevcuttur. Fakat sarıçam katkılı numunelerde 350. saniyeden sonra sıcaklığın artmasıyla beraber az miktarda bir yükselme gözlemlenmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı sergileyen FR kodlu numune olmuştur. Sarıçam katkılı numunelerde sıcaklık yükselmesi sarıçam katkılanmayan numuneye göre daha azdır.

Tablo 4.5. Sarıçam kozalağı tozu katkılı Numunelerin tribolojik özellikleri

Numune Kodu	Ortalama Sürtünme Katsayısı (μ_{ort})	Özgül aşınma oranı (cm^3/Nm)
FR	0,2918	$0,691 \times 10^{-6}$
SA -8	0,2754	$0,701 \times 10^{-6}$
SA -12	0,2757	$0,604 \times 10^{-6}$

Tablo 4.6. Sarıçam kozalağı tozu katkılı numunelerin fiziksel özellikleri

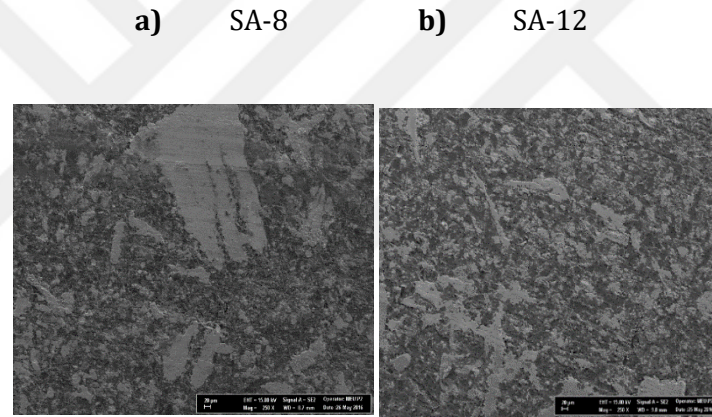
Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm^3)	Sertlik (HB)
SA -0	2,225	28
SA -8	2,256	27
SA -12	2,275	27

Numunelerin sertlik, yoğunluk ve aşınma değerleri Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'de görülmektedir. Tablolar incelendiğinde SA kodlu numunelerin sürtünme katsayısı ortalaması 0,28, aşınma miktarı ortalamaları 0,66 olmuştur. Balatalarda, sertliği yüksek olan balatanın aşınma direnci de yüksek olmalı sonucuna gidilebilir. Komponenti oluşturan malzemeler sert yapıya sahip olabilir, bunun sonucu sertlik değeri yüksek çıkabilir. Ancak komponenti oluşturan

malzemeleri tutan reçinenin bağlayıcılığı ve genel olarak içerik oryantasyonu uygun değilse, komponenti oluşturan parçacıkların sürtünme sırasında küçük zorlamalarda ana yapıdan çabucak ayrılması aşınma oranını beklenenden yüksek çıkarabilir.

4.4.2. Yüzey Karakteristiği

Sarıçam kozalağı tozu katkılı fren balatalarının sürtünme performansının belirlendiği deneylerden sonra oluşan sürtünme yüzeyinin karakteristiğini belirlemek amacıyla çekilen SEM fotoğrafları Şekil 4.10'de görülmektedir. Söz konusu resimlere genel olarak bakıldığında, sürtünme yüzeylerinin resimlerinden mikro çatlaklar, mikro boşluklar ve adhezif aşınmayı gösteren üzeri kaplanmış sürtünme tabakaları ile abrazif aşınmayı gösteren çizikli sürtünme izleri olduğu görülmektedir. Ayrıca oluşan sürtünme yüzeylerinde komponenti oluşturan malzemelerin sürtünmeye aktif olarak katıldıkları da anlaşılmaktadır.



Şekil 4.10. SA kodlu fren balata numunelerinin SEM fotoğrafları

İçeriğinde bağlayıcı olarak %20 oranında fenolik reçine bulunan FR kodlu numunenin SEM fotoğrafı Şekil 4.2.2.1 (a)'da görülmektedir. Bu numune 0,29 sürtünme katsayısı ortalaması sergilemiştir. Bünyeden kopan parçacıkların oluşturduğu mikro boşluklar resimde görülmektedir. Sürtünme yüzeyindeki kısa çizikler ve renk farklılıkları adhezif ve abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir.

Kütlece %12 fenolik reçine ve %8 sarıçam kozalağı içeren ve 0,27 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen SA-8 kodlu numunenin SEM fotoğrafı Şekil (a)'de görülmektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi abrazif aşınmaya maruz kalmış bir sürtünme yüzeyi mevcuttur. Genel olarak numune içeriğini oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı görülmektedir. Diğer numunelerde görülen sürtünmeye bağlı mikro boşluklar bu numunede de

vardır. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği bölgeler görülmektedir.

Kütlece %8 fenolik reçine ve %12 sarıçam kozalağı içeren ve 0,27 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen SA-12 kodlu numunenin SEM fotoğrafı Şekil (b)'de görülmektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi abrazif aşınmaya maruz kalmış bir sürtünme yüzeyi mevcuttur. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Diğer numunelerde görülen sürtünmeye bağlı mikro boşluklar bu numunede de vardır. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye katıldığı bölgeler görülmektedir.

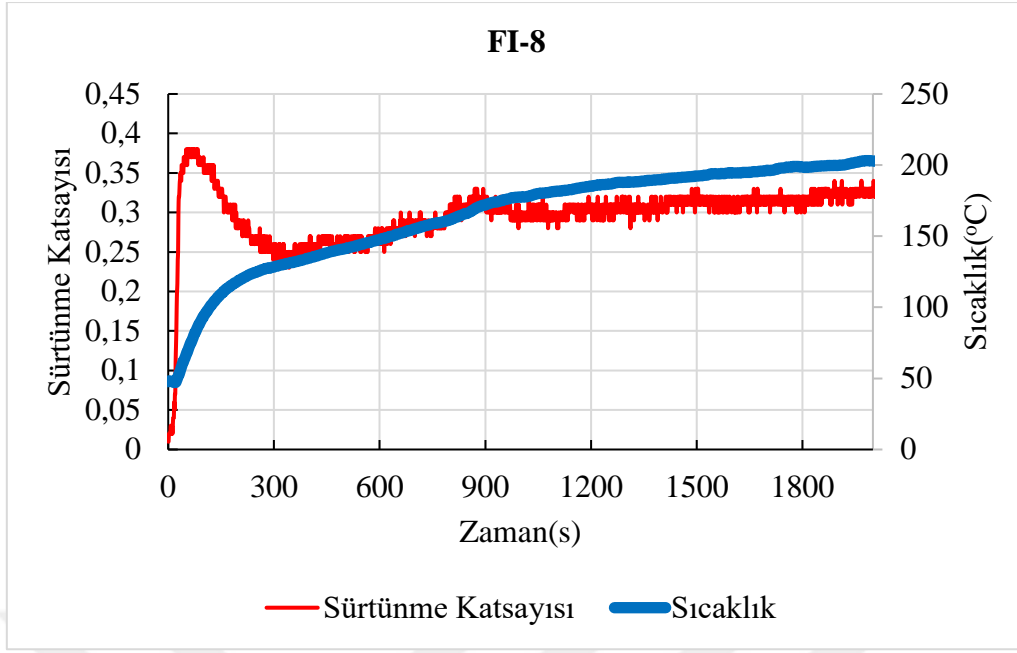
4.5.Fıstık Çamı Kozalağı Tozu Katkılı Fren Balataları

4.5.1. Sürtünme Performansı

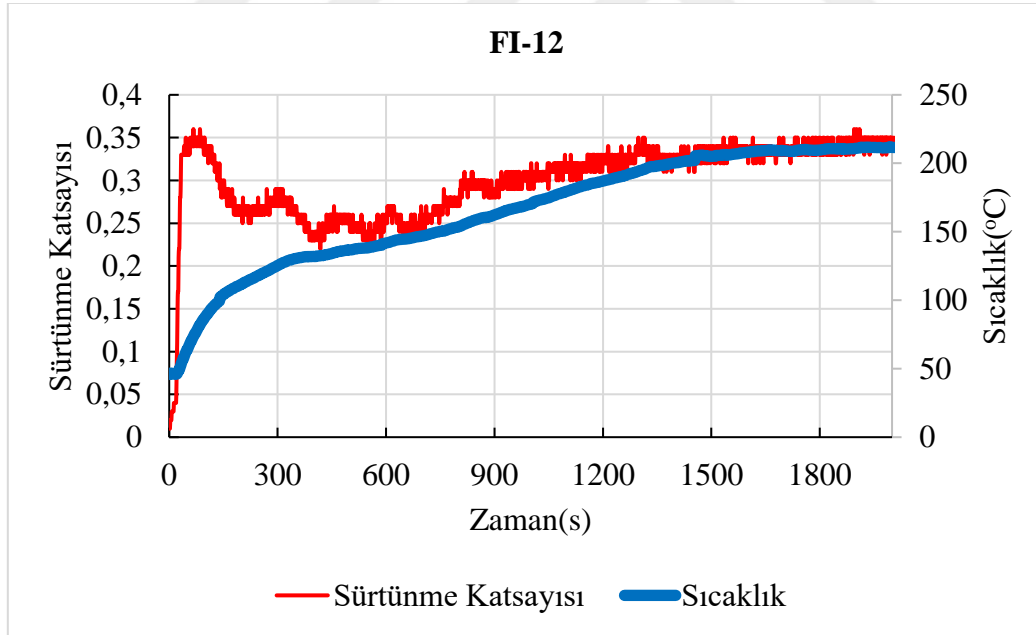
DeneySEL çalışma sonuçlarına dayanılarak bulunan sürtünme katsayıları ve sıcaklık ile ilgili grafikler Şekil 4.2.1.1, Şekil 4.11, Şekil 4.12'de görülmektedir.

Şekil 4.2.1.1, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 bağlayıcı malzeme olarak fenolik reçine ve fıstıkçamı kozalağı kullanılan fren balata numunelerine ait sürtünme katsayısı-zaman grafikleri görülmektedir. En yüksek sürtünme katsayısını 0,29 ile FI-12 kodlu numune sergilemiştir. Şekillerde fıstıkçamı kozalağı tozunun kütlece oranının arttırılmasıyla birlikte sürtünme katsayısında da bir artış olduğu görülmektedir fakat fıstıkçamı kozalağı kütlece miktarı artıp fenolik reçine miktarı azaldıkça balata numunelerinde sürtünmeden dolayı olan aşınma da artmaktadır. Şekil 4.1, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 sürtünme katsayısında meydana gelen sıcaklık değişimlerinin zamana bağlı olarak değişimini göstermektedir. Şekil incelendiğinde en yüksek sıcaklık ve en yüksek sürtünme katsayısı FI-12 kodlu numunede olduğu gözlemlenmektedir.

Fıstıkçamı kozalağı katkılı tüm örneklerde sürtünme tabakası gelişimi sürecinden sonra sürtünme tabakasını oluşturan içeriklerin özelliğine göre sürtünme karakteristiği şekillenmiştir. Sürtünme katsayısı değişimi için bu grafikler incelendiğinde FR kodlu numune, FI-8 ve FI-12 kodlu numunelere göre daha az dalgalanma göstermiştir. FI-8 ve FI-12 kodlu numunelerin iç ısısının sıcaklığının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı yavaş yavaş yükselme eğilimi göstermiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.11, Şekil 4.12). Sürtünme katsayısındaki bu yükselme sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin sürtünme çiftinin karşı yüzeyini oluşturan disk'e tutunma özelliği sıcaklık arttıkça iyileştiğini, yani komponenti oluşturan malzemelerin birbirleri ile iyi uyum sağladığından dolayı sürtünme yüzeyine karşı bir direnç oluşturabildiğini şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.11. FI-8 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği



Şekil 4.12. FI-12 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği

FR kodlu numunenin 600. saniyeye kadar sürtünme katsayısında düşme meydana gelirken 600. saniyeden sonra sürtünmeden dolayı sıcaklığın artmasıyla istikrarlı hale gelmiştir (Şekil 4.1). FR kodlu numune sıcaklık artışıyla birlikte düşük ama kararlı bir sürtünme

sergilemiştir. FI-8 kodlu numune 320. saniyeden sonra sıcaklık 140 oC üstüne çıkmaya başladığını andan itibaren sürtünme katsayısında yavaş yavaş yükselme meydana gelmiştir. Aynı durum FI-12 kodlu numune için 400. saniyeden sonra 145 °C'de geçerlidir, burada fıstıkçami kozalağı katkılı fren balataları kompozisyon içeriğinde bulunan fıstıkçami kozalağı tozunun sıcaklık arttıkça kürleşmesi ve bağlayıcılık özelliğinde gelişme olduğu düşünülmektedir, bu durumda numunelerin sürtünme katsayısının artmasına neden olmuştur. FR kodlu numunenin şekli (4.1) incelendiğinde sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısında bir düşüş gözlenmiş, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de görülen numuneler incelendiğinde ise sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısında bir yükselme görülmektedir. Genellikle sürtünme katsayısı (μ) 0,1 ile 0,7 arasında, sürtünme kuvveti ve disk balata ara yüzey sıcaklığına bağlı olarak değiştiği literatürde vurgulanmaktadır [86]. Şekil 4.1'te içinde kızılçam bulunmayan, Şekil 4.11 ve 4.12'te ise kütlece değişik oranlarda fıstıkçami-reçine içeriklerine sahip numunelerden elde edilen sürtünme katsayısını grafikleri görülmektedir. Şekiller (4.1-4.12) karşılaştırıldığında numune içerisinde bulunan fıstıkçami kozalağı tozu oranı arttıkça numunenin sürtünme katsayısında çok az miktarda bir artış meydana getirdiği görülmektedir. Şekiller karşılaştırıldığında fıstıkçami kozalağı tozu katkılanmış numunelerin sürtünme katsayılarında sıcaklık arttıkça yükselen bir grafik elde edildiği görülmektedir. Fıstıkçami kozalağı tozu katkılanan ve katkılanmayan FR, FI-8 ve FI-12 kodlu numunelerin sürtünme katsayısı değişimi incelendiğinde (Şekil 4.1-4.12) ilk 50 saniyede sürtünme yüzey tabakası oluşumunda yukarıda bahsedildiği gibi benzer karakteristik göstermiştir. İçeriğinde kızılçam kozalağı olmayan numunede sıcaklığın artışıyla birlikte 50. saniyeden 500. saniyeye kadar kısmi bir düşüş ve sonrasında tekrar toparlanma mevcuttur. Fakat fıstıkçami kozalağı tozu katkılı numunelerde 500. saniyeden sonra sıcaklığın artmasıyla beraber az miktarda bir yükselme gözlemlenmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı ve sıcaklığı sergileyen FI-12 kodlu numune olmuştur.

Tablo 4.7. Fıstık çami kozalağı tozu katkılı numunelerin tribolojik özellikleri

Numune Kodu	Ortalama Sürtünme Katsayısı (μ_{ort})	Özgül aşınma oranı (cm^3/Nm)
FR	0,2918	$0,691 \times 10^{-6}$
FI -8	0,2965	$0,642 \times 10^{-6}$
FI -12	0,2993	$0,906 \times 10^{-6}$

Tablo 4.8. Fıstık çami kozalağı tozu katkılı numunelerin fiziksel özellikleri

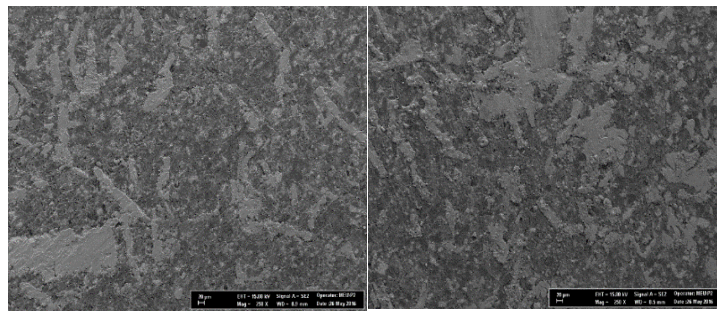
Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm^3)	Sertlik (HB)
FR	2,225	28
FI -8	2,312	29
FI -12	2,326	29

Numunelerin sertlik, yoğunluk ve aşınma değerleri Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de görülmektedir. Tablolar incelendiğinde FI kodlu numunelerin sürtünme katsayısı ortalaması 0,29 aşınma miktarı ortalamaları 0,74 olmuştur. Balatalarda, sertliği yüksek olan balatanın aşınma direnci de yüksek olmalı sonucuna gidilebilir. Komponenti oluşturan malzemeler sert yapıya sahip olabilir, bunun sonucu sertlik değeri yüksek çıkabilir. Ancak komponenti oluşturan malzemeleri tutan reçinenin bağlayıcılığı ve genel olarak içerik oryantasyonu uygun değilse, komponenti oluşturan parçacıkların sürtünme sırasında küçük zorlamalarda ana yapıdan çabucak ayrılması aşınma oranını beklenenden yüksek çıkarabilir.

4.5.2 Yüzey Karakteristiği

Fıstıkçami kozalağı tozu katkılı fren balatalarının sürtünme performansının belirlendiği deneylerden sonra oluşan sürtünme yüzeyinin karakteristiğini belirlemek amacıyla çekilen SEM fotoğrafları Şekil 4.13'de görülmektedir. Söz konusu fotoğraflara genel olarak bakıldığında, sürtünme yüzeylerinin fotoğraflarında mikro çatlaklar, mikro boşluklar ve adhezif aşınmayı gösteren üzeri kaplanmış sürtünme tabakalarının ile abrazif aşınmayı gösteren çizikli sürtünme izleri olduğu görülmektedir. Ayrıca oluşan sürtünme yüzeylerinde komponenti oluşturan malzemelerin sürtünmeye aktif olarak katıldıkları da anlaşılmaktadır.

a) FI-8 b) FI-12



Şekil 4.13. FI kodlu fren balata numunelerinin SEM fotoğrafları

İçeriğinde bağlayıcı olarak kütlece %20 oranında fenolik reçine bulunan FR kodlu numunenin SEM fotoğrafı Şekil 4.2.2.1 (a)'da görülmektedir. Bu numune 0,29 sürtünme katsayısı ortalaması sergilemiştir. Bünyeden kopan parçacıkların oluşturduğu mikro boşluklar resimde

görülmektedir. Sürtünme yüzeyindeki kısa çizikler ve renk farklılıkları adhezif ve abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir.

Şekil (a)'de FI-8 kodlu kütlece %12 fenolik reçine ve %8 fıstık çamı katkılı numunenin SEM fotoğrafı görülmektedir. Sürtünme yüzeylerinde oluşan çiziklerin abrazif aşınmadan kaynaklandığı ve balata bünyesinden kopan bazı parçacıkların mikro boşluklar oluşturduğu görülmektedir. Sürtünme yüzeyindeki malzemelerin sürtünmeye aktif olarak katıldığı ve homojen dağıldığı anlaşılmaktadır. 0,29 sürtünme katsayısı ortalaması sergilemiştir.

Kütlece %8 fenolik reçine ve % 12 fıstıkçamı içeren ve 0,29 sürtünme katsayısı ortalaması sergileyen FI-12 kodlu numune, FR ve FI-8 kodlu numuneler ile aynı sürtünme katsayısı ortalaması sergilemiştir. Şekil (b)'de anlaşıldığı gibi adhezif ve abrazif aşınmaya maruz kalmış sürtünme yüzeyleri mevcuttur. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Yine diğer numunelerde görülen sürtünmeye bağlı mikro boşluklar ve topaklanmalar vardır.

4.6.Sedir Kozalağı Tozu Katkılı Fren Balataları

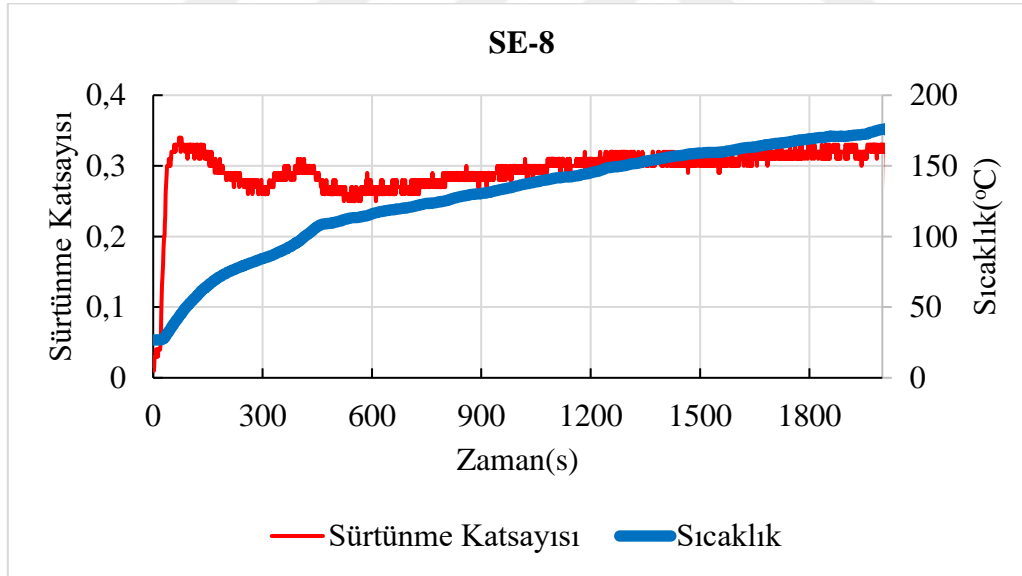
4.6.1. Sürtünme Performansı

DeneySEL çalışma sonuçlarına dayanılarak bulunan sürtünme katsayıları ve sıcaklık ile ilgili grafikler Şekil 4.1, Şekil 4.14, Şekil 4.15'de görülmektedir.

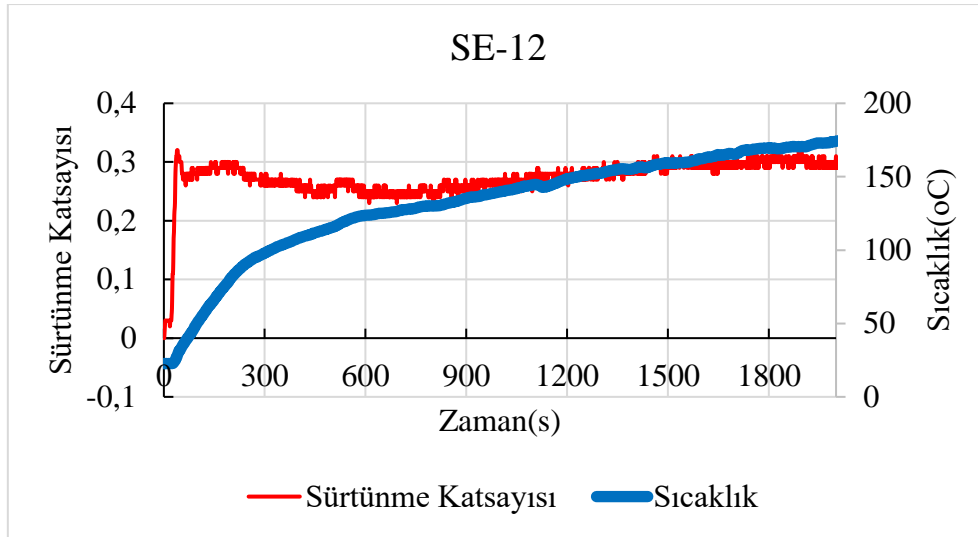
Şekil 4.1, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 bağlayıcı malzeme olarak fenolik reçine ve sedir kozalağı tozu kullanılan fren balata numunelerine ait zamana bağlı sürtünme katsayısı-zaman grafiklerini göstermektedir. En yüksek sürtünme katsayısı 0,29 ile SE-8 kodlu numunede görülmektedir. Şekil 4.1'de görülen numuneye kütlece %8 oranında sedir kozalağı katılanması sürtünme katsayısında bir artışa neden olmuştur fakat sedir kozalağı kütlece miktarı artıp fenolik reçine miktarı azaldıkça balata numunelerinde sürtünmeden dolayı olan aşınma da artmaktadır. Şekil 4.1, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 sürtünme etkisiyle meydana gelen sıcaklığın zamana bağlı olarak değişimini göstermektedir. Şekiller incelendiğinde en yüksek sıcaklık FR'da en yüksek sürtünme katsayısı ise SE-8 kodlu numunede meydana gelmiştir. Sedir kozalağı tozu katkılı tüm örneklerde sürtünme tabakası gelişimi sürecinden sonra sürtünme tabakasını oluşturan içeriklerin özelliğine göre sürtünme karakteristiği şekillenmiştir (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15). Sürtünme katsayısı değişimi için bu grafikler incelendiğinde, FR kodlu numunede SE-8 ve SE-12 kodlu numunelere göre daha az dalgalanma göstermiştir. SE-8 ve SE-12 kodlu numunelerin iç ısısının sıcaklığının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı yavaş yavaş yükselme eğilimi göstermiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.14, Şekil 4.15). Sürtünme katsayısındaki bu yükselme, sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin sürtünme çiftinin karşı yüzeyini oluşturan disk'e tutunma özelliği sıcaklık arttıkça iyileştiğini,

yani komponenti oluşturan malzemelerin birbirleri ile iyi uyum sağladığından dolayı sürtünme yüzeyine karşı bir direnç oluşturabildiğini şeklinde düşünülebilir. FR kodlu numunenin 600. saniyeye kadar sürtünme katsayısında düşme meydana gelirken 600. saniyeden sonra sürtünme katsayısında sıcaklığın artışıyla istikrarlı hale gelmiştir (Şekil 4.1). FR kodlu numune sıcaklık artışıyla birlikte düşük ama kararlı bir sürtünme sergilemiştir.

SE-8 kodlu numune 400. saniyeden sonra sıcaklık 110 oC üstüne çıkmaya başladığını andan itibaren sürtünme katsayısında yavaş yavaş yükselme meydana gelmiştir. SE-12 kodlu numunede ise 600. saniyeden sıcaklık 130 °C sonra sürtünme katsayısında yükselmenin başladığını görmekteyiz. Burada sedir kozalağı katkılı fren balataları kompozisyon içeriğinde bulunan sedir kozalağı tozunun, frenlemenin etkisiyle sıcaklık arttıkça kürleşmesi ve bağlayıcılık özelliğinde gelişme olduğu düşünülmektedir, bu durumda numunelerin sürtünme katsayısının artmasına neden olmuştur. Numunenin şekli (Şekil 4.1) incelendiğinde sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısında bir düşüş gözlenmiş, Şekil 4.14-Şekil 4.15’de görülen numuneler incelendiğinde ise sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısında bir yükselme görülmektedir. Genellikle sürtünme katsayısı (μ) 0,1 ile 0,7 arasında, sürtünme kuvveti ve disk balata ara yüzey sıcaklığına bağlı olarak değiştiği literatürde vurgulanmaktadır [86].



Şekil 4.14. SE-8 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği



Şekil 4.15. SE-12 kodlu fren balata numunesinin zamana bağlı sürtünme-sıcaklık grafiği

Şekil 4.1 ile Şekil 4.14 karşılaştırıldığında sedir kozalağı tozu katkılanması ile numunenin sürtünme katsayısında az miktarda artış meydana getirdiği görülmektedir. Şekil 4.1 ile 4.15 karşılaştırıldığında ise sedir kozalağı tozu katkılanması sürtünme performansını negatif yönde etkilediği görülmüştür. Şekil 4.14 ile 4.15 karşılaştırıldığında ise kütlece sedir kozalağı tozu oranı artırılması frenleme performansını olumsuz yönde etkilediği anlaşılmaktadır. Şekiller karşılaştırıldığında sedir kozalağı tozu katkılanmış numunelerin sürtünme katsayılarında sıcaklık arttıkça yükselen bir grafik elde edildiği görülmektedir. Sedir katkılanan ve katkılanmayan FR, SE-8 ve SE-12 kodlu numunelerin zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi incelendiğinde ilk 50 saniyede sürtünme yüzey tabakası oluşumunda yukarıda bahsedildiği gibi benzer karakteristik gözlemlenmiştir. İçeriğinde sedir kozalağı olmayan numunede sıcaklığın artışıyla birlikte 50. saniyeden 500. saniyeye kadar kısmi bir düşüş ve sonrasında tekrar toparlanma mevcuttur. Fakat sedir katkılı numunelerde 500. saniyeden sonra sıcaklığın artmasıyla beraber az miktarda bir yükselme gözlemlenmiştir. En düşük sürtünme katsayısına sahip SE-12 kodlu numuneler Şekil 4.15'da görüldüğü gibi düşük sıcaklık sergilemiştir. En yüksek sürtünme katsayısı sergileyen SE-8 kodlu numune olmuştur. Sedir katkılı numunelerde sıcaklık yükselmesi sedir katkılanmayan numuneye göre daha azdır.

Tablo 4.9. Sedir kozalağı tozu katkılı numunelerin tribolojik özellikleri

Numune Kodu	Ortalama Sürtünme Katsayısı (μ_{ort})	Özgül aşınma oranı (cm^3/Nm)
FR	0,2918	$0,691 \times 10^{-6}$
SE -8	0,2936	$0,713 \times 10^{-6}$
SE -12	0,2728	$0,810 \times 10^{-6}$

Tablo 4.10. Sedir kozalağı tozu katkılı numunelerin fiziksel özellikleri

Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm ³)	Sertlik (HB)
SE -0	2,225	28
SE -8	2,315	29
SE -12	2,335	27

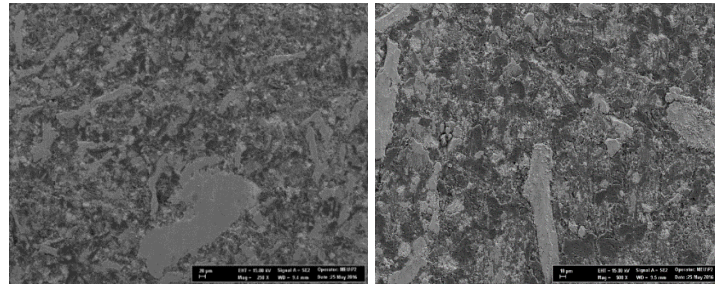
Numunelerin sertlik, yoğunluk ve aşınma değerleri Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'de görülmektedir. Tablolar incelendiğinde SE kodlu numunelerin sürtünme katsayısı ortalaması 0,28, aşınma miktarı ortalamaları 0,73 olmuştur. Balatalarda, sertliği yüksek olan balatanın aşınma direnci de yüksek olmalı sonucuna gidilebilir.

4.6.2. Yüzey Karakteristiği

Sedir kozalağı tozu katkılı fren balatalarının sürtünme performansının belirlendiği deneylerden sonra oluşan sürtünme yüzeyinin karakteristiğini belirlemek amacıyla çekilen SEM fotoğrafları Şekil 4.16'de görülmektedir. Söz konusu fotoğraflara genel olarak bakıldığında, sürtünme yüzeylerinin resimlerinden mikro çatlaklar, mikro boşluklar ve adhezif aşınmayı gösteren üzeri kaplanmış sürtünme tabakalarının ile abrazif aşınmayı gösteren çizikli sürtünme izleri olduğu görülmektedir. Ayrıca oluşan sürtünme yüzeylerinde komponenti oluşturan malzemelerin sürtünmeye aktif olarak katıldıkları da anlaşılmaktadır.

a) SE-8

b) SE-12

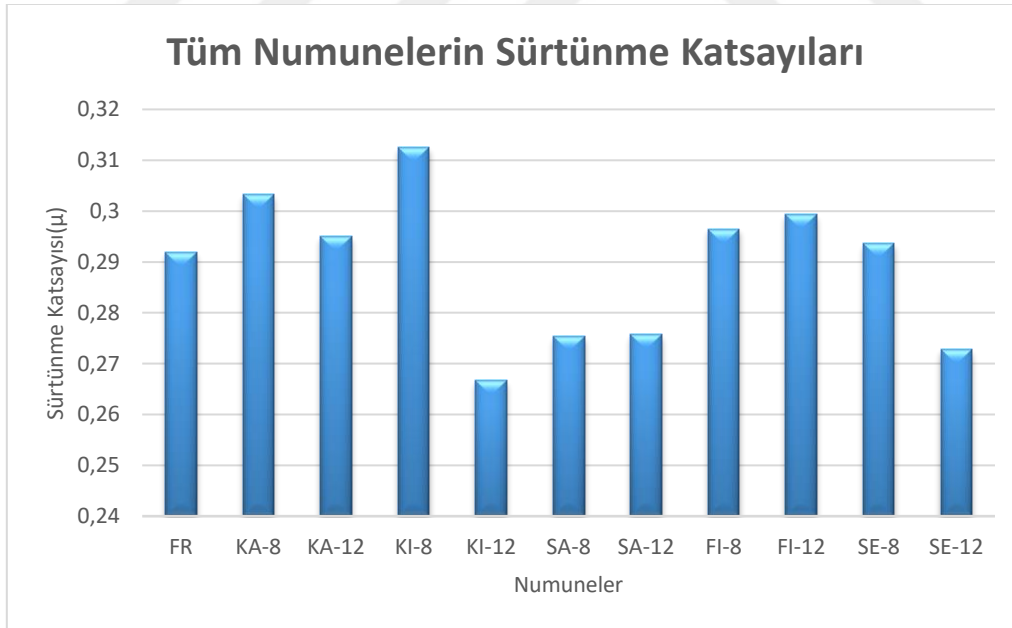
**Şekil 4.16.** SE kodlu fren balata numunelerinin SEM fotoğrafları

İçeriğinde bağlayıcı olarak kütlece %20 oranında fenolik reçine bulunan FR kodlu numunenin SEM fotoğrafı Şekil 4.2.2.1 (a)'da görülmektedir. Bu numune 0,29 sürtünme katsayısı ortalaması sergilemiştir. Bünyeden kopan parçacıkların oluşturduğu mikro boşluklar resimde görülmektedir. Sürtünme yüzeyindeki kısa çizikler ve renk farklılıkları adhezif ve abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir.

Şekil (a)'de kütlece %12 fenolik reçine ve %8 sedir katkı SE-8 kodlu numunenin SEM fotoğrafı görülmektedir. Sürtünme yüzeylerinde oluşan çiziklerin abrazif aşınmadan kaynaklandığı ve balata bünyesinden kopan bazı parçacıkların mikro boşluklar oluşturduğu görülmektedir. Sürtünme yüzeyindeki malzemelerin sürtünmeye aktif olarak katıldığı ve homojen dağıldığı anlaşılmaktadır. 0,29 sürtünme katsayısı ortalaması sergilemiştir.

Şekil (b)'de SE-12 kodlu numunenin SEM fotoğrafı görülmektedir. Kütlece % 12 sedir ve % 8 fenolik reçine içeren ve 0,27 sürtünme katsayısı ortalaması sergilemiştir. Bu numunenin sürtünme yüzeyinde mikro boşlukların çok olmasından dolayı sürtünme katsayısında düşme olduğu düşünülmektedir. Komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Oluşan abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler görülmektedir.

Sonuç olarak yukarıda yorumları yapılmış olan fren balata numunelerinin sürtünme karakteristiğini daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıda görülen grafik oluşturulmuştur. Şekil 4.17'de görülen grafiğe göre en yüksek frenleme performansı 0,31 sürtünme katsayısı ile KI-8 kodlu numunede en düşük frenleme performansı ise 0,26 sürtünme katsayısı ile KI-12 kodlu numunede olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.17. Numunelerin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, orman tali ürünlerinden karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstık çamı ve sedir kozalakları tozlarından oluşan malzemeler kullanılarak fenolik reçineye alternatif olarak balatalar üretilmiştir. Bu 15 farklı formüle sahip numunelerin frenleme karakteristiğini belirlemek için yapılan deneylerde, sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafikleri oluşturulmuş ve aşınma direnci, sertlik, yoğunluk özelliklerini belirlemek amacıyla bir dizi testler yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir.

KA kodlu tüm numuneler içerisinde en düşük sürtünme katsayısı, içinde hiç karaçam kozalağı bulunmayan FR kodlu numunede $\mu=0,291$ olarak ve en yüksek sürtünme katsayısı ise %8 karaçam ve %12 fenolik reçine içeren KA-8 kodlu numunede $\mu=0,303$ olarak tespit edilmiştir. İçinde % 8 fenolik reçine ve %12 karaçam bulunan KA-12 kodlu numune ise ikisinin arasında bir frenleme performansı sergilemiştir.

KI kodlu tüm numuneler içerisinde en düşük sürtünme katsayısı, içinde %12 kızılçam ve % 8 fenolik reçine bulunan KI-12 kodlu numunede $\mu=0,266$ olarak ve en yüksek sürtünme katsayısı ise %8 kızılçam ve %12 fenolik reçine içeren KI-8 kodlu numunede $\mu=0,312$ olarak tespit edilmiştir.

SA kodlu numunelerde içinde hiç sarıçam bulunmayan FR kodlu numune 0.291 sürtünme katsayısıyla en yüksek performansı sergilemiştir. Balata komponentine sarıçam kozalağı tozu katılmak sürtünme performansını etkilemediği anlaşılmaktadır.

FI kodlu tüm numuneler içerisinde en düşük sürtünme katsayısı içinde hiç fıstıkçamı kozalağı tozu bulunmayan FR kodlu numunede $\mu=0,291$ olarak ve en yüksek sürtünme katsayısı ise %12 karaçam ve %8 fenolik reçine içeren FI-12 kodlu numunede $\mu=0,299$ olarak tespit edilmiştir.

SE kodlu numunelerde ise en yüksek sürtünme katsayısı SE-8 kodlu numunede görülmektedir. Kütlece sedir kozalağı tozu oranı arttıkça aşınmanın arttığı sürtünme katsayısının düştüğü tespit edilmiştir.

Balata komponentine ilave edilen karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstıkçamı ve sedir bulunan tüm numuneler numunelerde sıcaklığın artışı ile sürtünme katsayısı artmıştır.

Balata komponentine ilave edilen kızılçam, sarıçam, fıstıkçamı ve sedir %'lik oranı arttıkça, yoğunluk artmış, fenolik reçine miktarı arttıkça yoğunluk azalmıştır.

En fazla aşınma gösterenler ise KI-8, KI-12, FI-12 ve SE-12 kodlu numuneler olmuştur. Kullanılan bütün numunelere genel olarak baktığımızda balataya katılan değişken malzeme içeriği arttıkça numunelerdeki aşınma miktarı da artmaktadır.

En iyi sürtünme katsayısı performansı sergileyen karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstıkçamı ve sedir kozalağı katkılı numuneler içerisinde KI-8 kodlu numunede görülmüştür. Sertlik oranı arttıkça numunelerdeki sürtünme katsayısı performansında iyileşmeler gözlenmiştir. Kullandığımız numunelerde en düşük sertlik KI-12 kodlu numunede görülmüştür.

Üretilen balataların sürtünme performansları dikkate alındığında fenolik reçinenin kütlece oranını azaltarak yerine karaçam, kızılçam, fıstıkçamı ve sedir kozalağı tozu farklı bileşenler ile birlikte üretilerek fren balatasında bağlayıcı malzeme olarak kullanılabilir.

Komponent içerisine hiç fenolik reçine konulmadığı durumda ise balata numunesinde parçalanmalar görülmüştür.

Balataların üretim aşamasında soğuk ve sıcak işlem sırasında kullanılan kalıpların balata koyulacak yuvaları aynı ölçülerde yapılmamalıdır. Sıcak presleme kalıbının balata yerleştirecek kısmı soğuk presleme kalıbının yuvasından 1 mm² daha büyük olmalıdır.

Harmanlanmış balata kompozisyonunun komprime sonrasında elle rahat bir şekilde taşınabilmesi gerekir.

Balata tozlarının homojen bir şekilde dağılımını sağlamak için 10 dakikadan fazla karıştırma yapılmamalıdır. Fazla karıştırma yapılması durumu içeriğin topaklanmasına neden olmaktadır.

Üretilen balataların tümünün asbestli geleneksel organik balatalara alternatif olarak asbest içermeyen, çevre dostu malzemeler olarak kullanılabilirliği mümkündür.

Deney numunelerinin aşınma miktarını azaltmak için, katı yağlayıcı olarak kullanılan grafit oranı artırılabilir, ancak grafit miktarının sinterlenebilirliğe olumsuz etkisi dikkate alınmalıdır.

Aşınma partikülleri tarafından sürtünme filmi diye tanımlanan sürtünme tabakalarının, frenleme boyunca numunelerin sürtünme katsayılarının kararlı kalmasını sağladığı tespit edilmiştir.

Genelde bütün deney numunelerinde, aynı tür aşınma mekanizmaları görülmüş ve adhezif aşınmanın hem sürtünme katsayısını artırdığı hem de deney numunelerinin aşınma direncini artırdığı gözlenmiştir.

Fren balatası olarak üretilen numunelerin optimum toz karıştırma süresi 10 dakika ve sıcak presleme basıncı da 100 bar olması gerekmektedir.

5.2. Öneriler

Yapılan çalışmalarda karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstık çamı ve sedir kozalağı tozu katkılı numunelerin fren balataları referans olarak alınan içinde bağlayıcı olarak sadece fenolik reçine bulunan balatalarla benzer sürtünme katsayısı değerleri sergilemektedir. Kullanılan balata

içeriğinde bağlayıcı madde olan fenolik reçineye katkı olarak karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstık çamı ve sedir kozalağı tozu farklı bileşenler ile birlikte yeni numuneler olarak fren balatasında kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- [1]. Çetinkaya, S., (1999), Taşıt Mekaniği, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [2]. Demirsoy, M., (1991), Motorlu Taşıtlar Cilt 2, Birsen Yayınevi, Denizli.
- [3]. Ertan,R.ve Yavuz, N., 2005 “Polimer Matriksli Fren Balata Malzemelerinin Kompozisyon ve Üretim Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi”, Mühendis ve Makina, , 47,553:24-30.
- [4]. Yavuz, N., 2002 Toz Metalürjisi Ders Notları, Uludağ Üniversitesi, Bursa,.
- [5]. Othmer, K., 1966 “Phenolic Resins, Encyclopedia of Chemical Tecnology”, 15, 2nd Ed., John Wiley and Sons Inc., New York,”.
- [6]. TS 555, 1992Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler İçin, T.S.E., 1. Baskı, Ankara,.
- [7]. Gemalmayan, N., 1986 “Asbestsiz Sürtünme Malzemelerinin (Balataların) Yapımı ve Uygulanması”, 2. Ulusal Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara,.
- [8]. Mutlu, İ., 2002 “Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi”. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya,.
- [9]. Uygur, M, E., 1996 Balata Üretim Teknolojisi, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Kongresi, Bildiriler Kitapçığı, Gazi Üniversitesi, Ankara,.
- [10]. Demirsoy, M., 1973Balatalar, Mühendis ve Makine Dergisi, , Cilt 17, 194:157-170, Ankara,.
- [11]. Bijwe, J. 1997 “Composites As A Friction Material: Recent Developmets In NonAsbestos Fiber Reinforced Friction Materials-A Reveiw, Polimer Composites”, , 18, 3:378-396,.
- [12]. Washabaugh, F.J., 1987 “EMCOR 66 Ultra-Short Fibers for Asbestos-Free Friction Materials”, SAE 860630,.
- [13]. .Dönmez, A.G., 2000 “Asbest Dışı Elyafarla Üretilen Balata Malzemelerinin Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon,.
- [14]. Türk Sağlık Ajansı Yayınları 1,1991
- [15]. Sophie, K. T. and Mason, E., 2002 “Asbestos: Mineral and Fibers”, Division of Chemical Health and Safety of the American Chemical Society,.
- [16]. Berry, G., 1994 “Mortality and Cancer Incidence of Workers Exposed To Chrysotile Asbestos In The Friction Product Industry”, Ann. Occup. Hyg., ,38:539-546.
- [17]. Baker R., 1992 “Changes Caused By Legislation Against Asbestos”, Powder Metallurgy, , 35, 4:255-256,.
- [18]. Welch, P.A. and A.F., 1953 “The Development of Mineral Wool From Florida Minerals”, Greaves-Walker, Fla. Eng. and Ind. Exp., Sta. Bull. 59,.
- [19]. Gemalmayan, N., 1984 “Sürtünme malzemelerinin özelliklerinin deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Müh. Mimar. Fak., Ankara ,.
- [20]. Stocks, A. I., Gezendanner, H., Van-Der-Hurk, H, 1985 “Asbestost-Free Clutches and Brakes Reinforced with Kevlar-Aramid Fibres”, Int. J. of Vehicle Design, , 6, 4/5:483-487.
- [21]. Hull, D., 1887, “An Introduction to Composite Materials”, Cambridge University Press, New York, .
- [22]. Genel Ürün Katalogu, İzocam Ticaret ve Sanayi A.S., Dilovası Mevkii, 41810 Gebze/Kocaeli, 1998.
- [23]. Katalog 1, “Basarit fiziksel ve kimyasal özellikleri”, Deutsche Basaltsteinwolle Gmbh, Rodetal 40 D-3406 Boveden, 1, Germany, 1998.
- [24]. Katalog 2, “Carborundum Resistant Materials” Gmbh, Postfach 160260, Deutschland, 1998.
- [25]. DPT, “6. Bes Yıllık Kalkınma Planı”, ÖIK Raporu. Mica: Mineral Research Consultative Comitte, London, 22 s. 2 Turner, D.C, 1975.
- [26]. Ayar, H. H., 1991 , “Disk Fren Balatalarında Bileşimin Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,.
- [27]. Tanaka, K., Ueda, S., Noguchi, N., 1973, “Fundamental Studies On The Brake Friction of Resin-Based Friction Materials”, Wear, , 23:349-365.
- [28]. Vishwanath, B., Verma, A. P., Kameswaro Rao, C. V. S., 1993 , “Effect of Reinforcement on Friction and Wear of Fabric Reinforced Polymer Composites”, Wear,167:93-99.”

- [29]. Othmer, K., 1966, "Phenolic Resin, Encyclopaedia of Chemical Technology", Vol. 15, 2nd Ed., John Wiley And Sons Inc., New York,.
- [30]. Neiman, M. B. , 1965 , "Aging And Stabilization of Polimers", 1st Ed., Consultant Bureau, New York,.
- [31]. Hao Ko, T., Sheng Ma, T, 1998, "Effect of Post Curing on The Mechanical Properties of Carbonized Phenolic Resins", Polimer Composites, ,19, 4:456-462.
- [32]. Dong, F., Blum, F. D., Drahani, L. R., 1996, "Polimer-Polimer Composites", 4:155-159.
- [33]. Anderson, A.E., 1992, ASM handbook, "Friction, Lubrication, and Wear Technology, vol."18 ASM International:569-577,.
- [34].<http://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varl%C4%B1%C4%9F%C4%B1-2015.pdf>, **2015**.
- [35]. <http://ormanciligin-turkiye-ekonomisindeki-yeri-ve-onemi.nedir.org/>, **2016**
- [36]. DPT, **2001**
- [37]. Hong, U.S., Jung, S.L., Cho, K.H., Cho, M.H., Kim, S.J., Jang, H., 2009 , "Wear mechanism of multiphase friction materials with different phenolic resin matrices", Wear, , 266:739-744.
- [38]. Bijwe, J., 1997, "Composites As A Friction Material: Recent Developments In Non-Asbestos Fiber Reinforced Friction Materials-A Review", Polimer Composites, , 18:378-396.
- [39]. Rhee, S. K., 1971 , "Wear of Metal Reinforced Phenolic Resin", Wear, , 18: 471-477.
- [40]. Mohanty, S., Chugh, Y.P., 2007 "Development of fly ash-based automotive brake lining", Tribology International, , 40:1217-1224.
- [41]. Subramaniam, N., Sinha, B. R., Blum, F. D., Chen, Y. R., Dharani, L. R., 1991 , "Glass Fiber Based Friction Materials", International Journal of Polimer Materials, , 15:93-102.
- [42]. Washabaugh, F.J., 1987, "EMCOR 66 Ultra-Short Fibers for Asbestos-Free Friction Materials", SAE 860630,.
- [43]. Morshed M. M., Haseeb A. S. M. A., 2004 , "Physical and chemical characteristics of commercially available brake shoe lining materials: a comparative study", Journal of Materials Processing Technology, , 155-156:1422-1427.
- [44]. Azaklı, Z., Savaşkan, T., 2008 , "An examination of friction and sliding wear properties of Zn-40Al-2Cu-2Si alloy in case of oil cut off", Tribology International, 41:9-16. ,
- [45]. El-Tayeb, N.S.M., Liew, K.W., 2009, "On the dry and wet sliding performance of potentially new frictional brake pad materials for automotive industry", Wear, , 266:275-287.
- [46]. Kim, Y.C., Cho, M.H., Kim, S.J., Jang, H., 2008 "The effect of phenolic resin, potassium titanate, and CNSL on the tribological properties of brake friction materials", Wear, 264:204-210.
- [47]. Stadler, Z., Krnel, K., Kosma, C. T., 2008 "Friction and wear of sintered metallic brake linings on a C/C-SiC composite brake disc", Wear, 2008, 265:278-285.
- [48]. Cho, H., Jang, H., Hong, Y.S., Kim, S.J., Basch, R.H., Fash, J.W., 2008 , "The size effect of zircon particles on the friction characteristics of brake lining materials", Wear, , 264:291-297.
- [49]. Kim, S.J., Cho, M.H., Cho, K.H., Jang, H., 2007 , "Complementary Effects of Solid Lubricants in The Automotive Brake Lining", Tribology International, , Vol.40:15-20.
- [50]. Parr, E. A., 1997 Endüstriyel Kontrol El Kitabı, MEB, İstanbul.
- [51]. Şahin S., Özdemir İ., Ünlü B. S., 2002, "T/M Yöntemi ile Üretilmiş Al-SiCp Kompozitlerde Üretim Parametrelerinin Aşınma Davranışına Etkisi", 3rd International Powder Metallurgy Conference: 951-957, Ankara, Türkiye,.
- [52]. Yetgin S. H., Aydın M., Aksoy A., Ünal R., 2005, "The Effect of the Mixer Type and Ratio of Reinforcement Particle on the Mechanical Properties of Nbc Reinforced Al Composite Material Produced Via Powder Metallurgy", EURO PM2005 Congress And Exhibition, Prague, Czech Republic:721-725,.
- [53]. Kuhn, H. A., Lawley, A., 1978 , "Powder Metallurgy Processing New Techniques and Analyses", Academic Press, New York, San Francisco,.
- [54]. Mutlu, İ., 2002 , "Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya,.

- [55]. Oehl KH, Paul HG., 1990 ,“Brake Linings for Road Vehicles”,Verlag Moderne Industrie AG&Co, D8910,Box 1751,Germany:4-44,.
- [56]. Mutlu İ., 2002, “Seramik Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi Ve Frenleme Karakteristiğinin Deneysel İncelenmesi”, Doktora Tezi Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya,.
- [57]. Sugözü K. B., Kahraman F., Zile M., 2015, “Fren Balatası Üretiminde Toz Karıştırma Hızının Frenleme Karakteristiğine Etkisi”, uluslararası katılımlı III. Ege kompozit malzemeler SEMpozyumu, Kuşadası:, 232-237.
- [58].Öveçoğlu, M.L., 1997 ,“Toz metalürjisi tarihsel gelişimi, üretim ve aşamaları ve yeni eğilimler”, Uluslar arası metalürji ve malzeme kongresi, İstanbul, , 449-475,.
- [59]. Dabade, U. A., Joshi, S. S., Balasubramaniam, R., & Bhanuprasad, V. V., 2007, “Surface finish and integrity of machined surfaces on Al/SiCp composites”, Journal of Materials Processing Technology, ,192:166-174,.
- [60]. Joshi, S. S., Ramakrishnan, N., & Ramakrishnan, P., 1999 ,“Analysis of chip breaking during orthogonal machining of Al/SiCp composites. Journal of Materials Processing Technology”, 88(1):90-96,.
- [61]. Rawal, S. P., 2001, “Metal-matrix composites for space applications”, JOM,53(4):14-17.
- [62]. Chawla, N., Jones, J. W., Andres, C., & Allison, J. E., 1998 “Effect of SiC volume fraction and particle size on the fatigue resistance of a 2080 Al/SiC p composite”, Metallurgical and Materials Transactions A, 29(11):2843-2854.
- [63]. Lim, S. C., Gupta, M., Ren, L., & Kwok, J. K. M., 1999, “The tribological properties of Al-Cu/SiCp metal-matrix composites fabricated using the rheocasting technique”, Journal of Materials Processing Technology, 89:591-596.
- [64]. Gingu, O., Mangra, M., & Orban, R. L., 1999 , “In-situ production of Al/SiCp composite by laser deposition technology”, Journal of Materials Processing Technology, , 89:187-190,.
- [65]. Jaya, N. A., Al Bakri Abdullah, M. M., & Ahmad, R., 2015 ,“Reviews on Clay Geopolymer Ceramic Using Powder Metallurgy Method”, In Materials Science Forum, , Vol. 803: 81-87.
- [66]. Mazahery, A., & Shabani, M. O., 2012 , “Study on microstructure and abrasive wear behavior of sintered Al matrix composites”. Ceramics International, ,38(5): 4263-4269.
- [67].Schneider, L.C.R., Hainsworth, S.V., Cocks, A.C.F., Fitzpatrick, M.E., 2005 ,“Neutron diffraction measurements of residual stress in a powder metallurgy component”, Scripta Materialia, Cilt:52:917-921,.
- [68].Çetinkaya, Ş., Oktay, E., 2006 ,“Karbon katkılı ön alaşımlı demir tozlarından üretilen malzemelerin elastik özellikleri”. 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi. İstanbul:876-881,.
- [69].Turhan, H., Yıldız, T., Gülenç, B., 2007 ,“Toz Metalurjisi ile Üretilen Cu/FeMnp ve Cu/FeCp Metal Matrisli Kompozitlerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri”, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, , Cilt:19, Sayı:4:569-574.
- [70]. Somunkıran, İ., Özel, S., Kurt, B., 2005 ,“Fe Esaslı Mo, Ni, Cu Toz Alaşımına İlave Edilen Cu Miktarının Aşınma Direncine Etkisi”. 4. Uluslararası İleri Teknolojiler SEMpozyumu. Konya, , Cilt:2:903-907.
- [71]. Eroğlu, M., Mahmutğlu, S.H., 2006 ,“Yüzeyi alaşımlandırılmış düşük karbonlu çeliklerin toz metalurjisi Yöntemiyle üretilmesi”. 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi. İstanbul, , 832-839.
- [72]. Narayanasamy, R., Ramesh, T., Pandey, K.S., 2006 ,“Workability studies on cold upsetting of Al-Al₂O₃ composite material”, Materials and Design, , Cilt:27, Sayı:7: 566-575.
- [73]. Kinet, A., 2008 ,“Tabakalı kompozit malzemelerin serbest titreşim analizi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Müh., Araştırma Projesi,.
- [74]. Ekşi, A.K.,Bircan, D.A. ve Sonsino, C.M., 2007 ,“Alumix 431 tozunun (Al7XXX) soğuk ve ılık preslenmesi üzerine bir çalışma”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., , Cilt:22, No:2: 337-345.
- [75]. TS 9076, 1991 ,“Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları ile Değerlendirilmesi”, T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Nisan,.
- [76]. TS 555, 1992 ,“Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler” İçin, T.S.E., 1. Baskı, Ankara,.

- [77]. Pektaş, İ., 1995 , “21. Yüzyıl Malzemeleri, Karbon-karbon Kompozit Malzemeler”, Teknik Gelişim, , Sayı11-12-13.
- [78]. TS 12464, 1998 “Demiryolu Taşıtları-Fren pabucu-Kompozit Malzemeli-Asbest ihtiva etmeyen”, T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Nisan.
- [79]. TS 139, 1992” Metalik Malzemelerin Brinell Sertlik Deneyi”, T.S.E., 1. Baskı, Ankara.
- [80]. Güleç, Ş., Aran, A., 1993, Malzeme Bilgisi, İTÜ Makine Fakültesi: 153, İstanbul.
- [81]. Akbıyık, H., 1966, Malzeme Bilgisi, Ogun Matbaası: 101, Ankara.
- [82]. Kayıran, E., 1999, Malzeme Teori ve Pratik, Nuro Matbaacılık: 43, İskenderun.
- [83]. Baydur, G., 1987, Malzeme, MEB, s. 55, İstanbul.
- [84]. Kato, K., 1990, Tribology of Ceramics, Wear, 136:117-133.
- [85]. Wirth, A., Eggleston, D., Whitaker, R., 1994 , “A Fundamental tribochemical study of the body layer formed during automotive friction braking”, Wear, , 179:75-81.
- [86]. Arnold, E. A., 1983, Friction, lubrication and wear technology, ASM handbook, 18:569577.
- [87]. Yaltrık, F., Efe, A., 1989 , “Otsu Bitkiler Sistematiği”, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 45-53.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Kürşat KAHYA
Doğum Tarihi : 26.02.1986
E-mail : kahyakursat1@gmail.com

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Otomotiv Öğretmenliği	Mersin Üniversitesi	2005-2014
Lisans	Makine Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2014-
Yüksek Lisans	İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı	Mersin Üniversitesi	2014-2016

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Sugözü, K. B., Sugözü, İ. and, **Kahya, K.** “Effects of manufacturing paramateters on the performance of brake frinction materials, Fren sürtünme malzemelerinin performansında üretim parametrelerinin etkileri”, The Second International Iron and Steel Symposium(IISS’15), 671-676, (2015).
2. YALÇIN. B., Sugözü, İ. and, **Kahya, K.** “Nano Grafrit İçeren Otomotiv Fren Balatasının Tribolojik Özellikleri”, 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Afyon Kocatepe University(ICETAS’16),1092-1097,(2016)
3. YALÇIN. B., Sugözü, İ. and, **Kahya, K.** “Otomotiv Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme Özelliklerine Nano Boraksın Etkisi” , 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Afyon Kocatepe University(ICETAS’16), 1097-1101, (2016)
4. **Kahya, K.**, Sugözü, İ. “Kızılçam Kozalağı Tozu İçerikli Fren Balatası Üretiminde Toz Karıştırma Süresinin Frenleme Performansına Etkisi, The Effect of the Powder Mixing Time in the Production of Brake Pad Containing Pinus Brutia Cone Dust on Braking Performance” 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Afyon Kocatepe University(ICETAS’16),1142-1146,(2016)
5. **Kahya, K.**, Sugözü, İ., ŞEVİK, H. “Kızılçam Kozalağı Tozu İçeren Fren Balatası Üretiminde Sıcak Presleme Basıncının Tribolojik Özelliklere Etkisi, The Effect to Tribological Properties of the Hot Pressing Pressure in the Production of Brake Lining Containing Pinus Brutia Cone Dust” 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Afyon Kocatepe University(ICETAS’16),1147-1151,(2016)