T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEYTİN ÇEKİRDEĞİ TOZUNUN SÜRTÜNME DÜZENLEYİCİ VE KATI YAĞLAYICI OLARAK CAM ELYAF TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİT BALATALARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Salih Bilal ÇETİNKAL

YÜKSEK LİSANS

Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalını

Ocak-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Salih Bilal ÇETİNKAL tarafından hazırlanan "Zeytin Çekirdeği Tozunun Sürtünme Düzenleyici Ve Katı Yağlayıcı Olarak Cam Elyaf Takviyeli Hibrit Kompozit Balatalara Etkisinin İncelenmesi" adlı tez çalışması 18/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN	……..
Danışman Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU	……..
Üye Dr. Öğr. Üyesi Harun SEPETÇİOĞLU	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait SEZGİN.
FBE Müdürü

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEYTİN ÇEKİRDEĞİ TOZUNUN SÜRTÜNME DÜZENLEYİCİ VE KATI YAĞLAYICI OLARAK CAM ELYAF TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİT BALATALARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Salih Bilal ÇETİNKAL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

2021, 81 Sayfa

Jüri

Danışman Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
Dr. Öğr. Üyesi Harun SEPETÇİOĞLU

1980'li yıllarda, fren balatalarında kullanılan asbestin sağlık sorunlarına sebep olduğu ortaya çıkmıştır. Balata aşınmaları sonucunda atmosfere karışan asbest solunum yoluyla akciğere girmesinin ciddi sağlık sorunları oluşturduğu anlaşılmıştır. Özellikle de akciğer kanserine yol açtığı görülmüştür. 1990'dan itibaren asbest kullanımı yasaklanmıştır. Bu yüzden araştırmacılar asbeste alternatif yeni malzeme arayışına girmişlerdir.

Yaygın olarak kullanılan fren balataları metal alaşımlı balatalardır. Sektördeki ARGE çalışmaları ile seramik ve organik balatalar da yapılmaya başlandı.

Fren balatası beş temelden oluşur: takviye malzemesi, bağlayıcı, dolgu malzemesi, sürtünme düzenleyici, katı yağlayıcı. Bu çalışmada takviye malzemesi olarak cam elyaf, bağlayıcı olarak fenolik reçine, dolgu malzemesi olarak barit, katı yağlayıcı olarak grafit kullanılacaktır. Zeytin çekirdeği tozu sürtünme düzenleyici ve katı yağlayıcı olarak sisteme eklenecektir.

Zeytin çekirdeği tozları ağırlıkça %0, %5, %10, %20 eklenerek 4 farklı kompozisyon oluşturulacaktır. Böylece zeytin tozunun sürtünme düzenleyici olarak etkisi incelenmiş olacak. Katı yağlayıcı olan grafit yerine zeytin çekirdeği tozu ilave edilip, yağlayıcılık etkisi incelenecektir.

Numune üretimi için toz bileşenler 150 devir/dk' da karıştırılacaktır. Hazırlanan karışımlar tek yönlü pres ile 160 °C presleme sıcaklığında sabit basınçta, eşit sürelerde preslenir. Üretilen deney numunelerinde düzgün bir yüzey elde etmek için önce zımparalama yapılır. Numunelerin yoğunluk, sertlik, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerleri belirlenir ve SEM görüntüleri alınarak incelenir.

Çalışmada numunelere yoğunluk, sertlik, pin-on disk aşınma testleri yapılmış ve çıkan sonuçlar da zeytin çekirdeği oranı arttıkça sertlik, aşınma ve sürtünme katsayısı değerlerinde artış gözlenirken yoğunluk değerinde azalma meydana geldiği görülmüştür. %20 zeytin çekirdeği takviye edildiği durum da adhesiv aşınmanın arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fren balatası, Katı yağlayıcı, Sürtünme, Zeytin çekirdeği tozu

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTGATION OF THE EFFECT OF OLIVE SEED POWDER ON GLASS FIBER REINFORCED HYBRID COMPOSITE PADS AS FRICTION MODIFIER AND SOLID LUBRICANT

Salih Bilal ÇETİNKAL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN METALLURGY AND MATERIAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

2021, 81 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
Dr. Öğr. Üyesi Harun SEPETÇİOĞLU

It was revealed that asbestos used in brake pads caused health problems in 1980s. As a result of the lining wear of the lining, it has been understood that entering the lung through asbestos breathing into the atmosphere creates serious health problems. In particular, it has been shown to cause lung cancer. Asbestos use has been banned since 1990, so researchers have been looking for new materials that are alternative to asbestos.

Commonly used brake pads are metal alloy pads. Ceramic and organic linings were also started with the R&D studies in the sector.

The brake pad consists of five bases: reinforcing material, binder, filling material, friction regulator, solid lubricant. In this study, glass fiber will be used as a reinforcing material, phenolic resin as a binder, barite as a filling material and graphite as a solid lubricant. Olive seed powder will be added to the system as a friction regulator and solid lubricant.

Olive seed powders will be added to 0%, 5%, 10%, 20% by weight and 4 different compositions will be created. Thus, the effect of olive powder as a friction regulator will be examined. Instead of graphite, which is a solid lubricant, olive seed powder will be added and its lubricating effect will be examined.

Powder components for sample production will be mixed at 150 rpm. The prepared mixes are pressed with a one-way press at 160 ° C pressing temperature under constant pressure for equal periods of time. Sanded to obtain a smooth surface on the produced test samples. Density, hardness, abrasion rate and friction coefficient values of the samples were determined and examined by taking SEM images.

In the study, density, hardness, pin-on disc wear tests were performed on the samples and the results showed that as the olive seed ratio increased, the hardness, wear and friction coefficient values increased, while the density value decreased. It was observed that the adhesive wear increased when 20% olive seed was reinforced.

Keywords: Brake pads, Friction, Olive seed powder, Solid lubricant

ÖNSÖZ

Yüksek lisansa başladığım ilk günden beri destek ve tecrübesini benimle paylaşan danışmanım Prof. Dr. Necmettin Tarakçıoğlu'na teşekkürlerimi borç bilirim. Çalışmalarımda fikir ve test cihazındaki tecrübesini paylaşan Dr. Sait Aras'a, yardım ve fikirlerini esirgemeyen değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Cihad Nazık, Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Arıcı, Arş. Gör. Halit Sübütay ve Arş. Gör Emin Salur'a, test ölçümlerinde yardımcı olan Arş. Gör. Dr. Mustafa Kuntoğlu'na ve çalışmaya verdikleri destekten dolayı Selçuk Ün. İLTEK personellerine teşekkür ederim. Cam elyafın temini için, Cam Elyaf Sanayi A.Ş. ye, baritin temini için Barit Maden Türk A.Ş. ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamdaki zeytin çekirdeği tozlarının temininde yardım ve desteğini esirgemeyen dedem Turhan Çetinkal'a canı gönülden teşekkür ederim. Yüksek lisans süresince yanımda olan ve beni destekleyen aileme canı gönülden teşekkür ederim.

Salih Bilal ÇETİNKAL
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Fren Sistemleri 2
1.1.1. Çalışma prensibi 2
1.1.2. Fren çeşitleri 3
1.2. Balatalar 6
1.2.1. Balata çeşitleri 7
1.3. Sürtünme 9
1.4. Aşınma 12
1.4.1. Aşınma çeşitleri 12
1.4.2. Aşınma testleri 15

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **16**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **24**

3.1. Malzeme Seçimi 24
3.1.1. Dolgu malzemeleri 25
3.1.2. Takviye malzemeleri 26
3.1.3. Bağlayıcı malzemeleri 27
3.1.4. Sürtünme düzenleyici malzemeler 29
3.1.5. Katı yağlayıcı malzemeleri 30
3.1.6. Zeytin çekirdeği tozu 31
3.2. Numune Bileşiminin Belirlenmesi 33
3.3. Üretim Aşamaları 34
3.3.1. Öğütme 35
3.3.2. Karıştırma 38
3.3.3. Presleme 40
3.4. Yöntem 46
3.4.1. Sertlik Ölçümü 46
3.4.2. Yoğunluk ölçümü 47
3.4.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü 48
3.4.4. Aşınma (triboloji) testi 50

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **53**

4.1. Test Sonuçları 53
4.1.1. Sertlik sonuçları 53

4.1.2. Yoğunluk sonuçları 54
4.1.3. Sürtünme katsayısı sonuçları 55
4.1.4. Aşınma oranı sonuçları 58
4.2. Mikroskop ve SEM görüntülerinin değerlendirilmesi 59

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 63

5.1 Sonuçlar 63
5.2 Öneriler 65

KAYNAKLAR 66

ÖZGEÇMİŞ 72

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μ : Sürtünme katsayısı
cm : Santimetre
dk : Dakika
E_k : Kinetik Enerji
F : Sürtünme kuvveti (N)
F_s : Statik sürtünme kuvveti
F_k : Dinamik sürtünme kuvveti
mg: Miligram
g : Gram
kg : Kilogram
kgf : Kilogramkuvvet
kPa : Kilo paskal
m : Kütle
m : Metre
mm : Milimetre
MPa : Mega pascal
n : Kampana devri
N : Newton ($kg.m.s^{-2}$)
ºC : Derece Selsiyus
Pa : Pascal ($N.m^{-2}$)
r : Yarıçap (m)
rpm : Dakikadaki dönüş devri
h : Saat
s : Saniye
SS : Standart Sapma
TS : Türk Standartları
V : Hız
ω : Çevresel hız (m/s)
Wa : aşınma oranı ($mm^3.N^{-1}.m^{-1}$),
ΔG : ağırlık kaybı (mg),
S : kayma mesafesi (m),
M : yükleme ağırlığı (N),
d : aşınan malzemenin yoğunluğu (g/cm^3)

Kısaltmalar

B : Barit
G : Grafit
HRR : Rocwell R skalasına göre sertlik değeri
ZÇT : Zeytin çekirdeği tozu
Z : Zeytin çekirdeği toz oranı

1. GİRİŞ

Tekerleğin tarihçesine bakıldığında MÖ 5000 yıl kadar önceye dayanmaktadır. İlk izlerine Speiser ve Gawrada isimli iki arkeolog Mezopotamya'da yaptıkları kazılarda rastlanmıştır. MÖ 3500 yıllarına ait olduğu düşünülen bir Sümer piktogramı incelenmiş ve tekerlekli kazığa benzer bir çizimle karşılaşılmıştır. Sümer kalıntılarında iki tekerleğin arasında ata biner vaziyette bir sürücü görülmektedir.

Zaman geçtikçe Sümerlilerin dört tekerlekli ve kayışlar yardımıyla atlara bağlanmış araba formunu kullanmışlardır. Mısır'da ise ilk olarak öküz ve eşek ile çekilen arabalar özellikle savaş zamanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Mısırlılara ait belgelerde Firavun'un savaş arabası resmedilmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. II. Ramses Savaş arabasının Üzerinde (TarihiOlaylar, 2020)

1600 yıllara gelindiğinde Pekin'de Cizvit misyoner Ferdinand Verbiest tarafından kendi kendine hareket eden ilk araç yapılmıştır. Bu araç Çin imparatoru için oyuncak buharlı bir araçtır. İçten yanmalı motorun, iki zamanlı ve dört zamanlı motorların icat edilmesiyle araba teknolojisi hızlı bir şekilde ilerlemiştir. 1900 yılların başında ilk seri üretim hattı Henry Ford tarafından kurulmuştur. Günümüzde sektörün ilerleyişi ve yeni arayışları ile hibrit ve elektrik motorlu ve hatta otonom kontrollü modelleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Taşıtlar temelinde yakıtla çalışan bir motor veya hayvan gücünün itmesinden veya çekmesinden hareket elde eden, yük ve/veya yolcuyu güvenli bir şekilde taşımayı hedefleyen sistemlerdir. Geçmişten günümüze kadar tüm tekerlekli araç kombinasyonlarında frenleme sistemi kullanılmıştır. Fren sistemleri eğimli bir yerden inerken aracı yavaşlatmak için, duran bir aracın kendiliğinden gitmesini engellemek için ve özellikle günümüzde hızlı giden aracı kısa mesafede durdurmak için kullanılmıştır.

Fren sistemi de arabanın gelişmesiyle orantılı şekilde gelişme göstermektedir. Trafik kazalarında hayati öneme sahip olan fren, her geçen gün çalışma prensibinden malzeme yapısına kadar birçok alanda gelişme göstermiş ve çeşitli akademik çalışmalara konu olmuştur.

1.1. Fren Sistemleri

Güvenli bir sürüşte aracın hızını azaltan ve gerektiğinde durmasını sağlayan sürüş kontrol sistemine fren sistemi denir. Bu nedenle fren sisteminden, dayanıklılık ve çok yüksek güvenilirlik beklenmektedir. Taşıtı, her türlü iklim ve yol şartlarında hızlı ve güvenli bir şekilde durdurabilme kabiliyetine sahip olmalıdır. Fren;

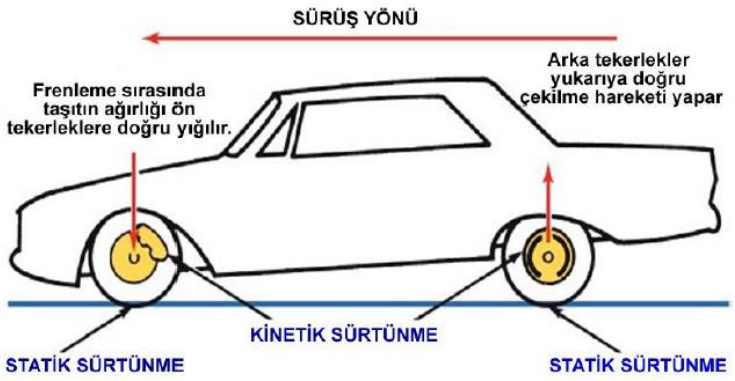
- aracın hızını yavaşlatmak ve gerektiğinde durdurmak,
- aracın hızını yokuş aşağı yollarda sabit tutmak,
- duran bir aracı yerinde sabitlemek

  için kullanılır.

1.1.1. Çalışma prensibi

Motor, araca hareket verebilmek için yakıtın yanması ile ortaya çıkan ısı enerjisini kinetik (hareket) enerjiye dönüştürür. Frenler ise motorun çalışma sisteminin aksine bu kinetik enerjiyi ısı enerjisine çevirerek aracın durmasını sağlar.

Kinetik enerji, hareket halindeki cismin kütlesi ile hızının karesi çarpımının yarısına eşittir. Kinetik enerji hem kütle ile hem de hızın karesiyle orantılı olarak artmaktadır. Önemli olan katlanarak artan hızın karesi ile olan artıştır. Frenlerin aracı başarılı bir şekilde durdurabilmeleri için bu kinetik enerjiyi yenmeleri gerekir. Fren gücü motor gücünden fazla olmak zorundadır (Jang ve ark., 2004).

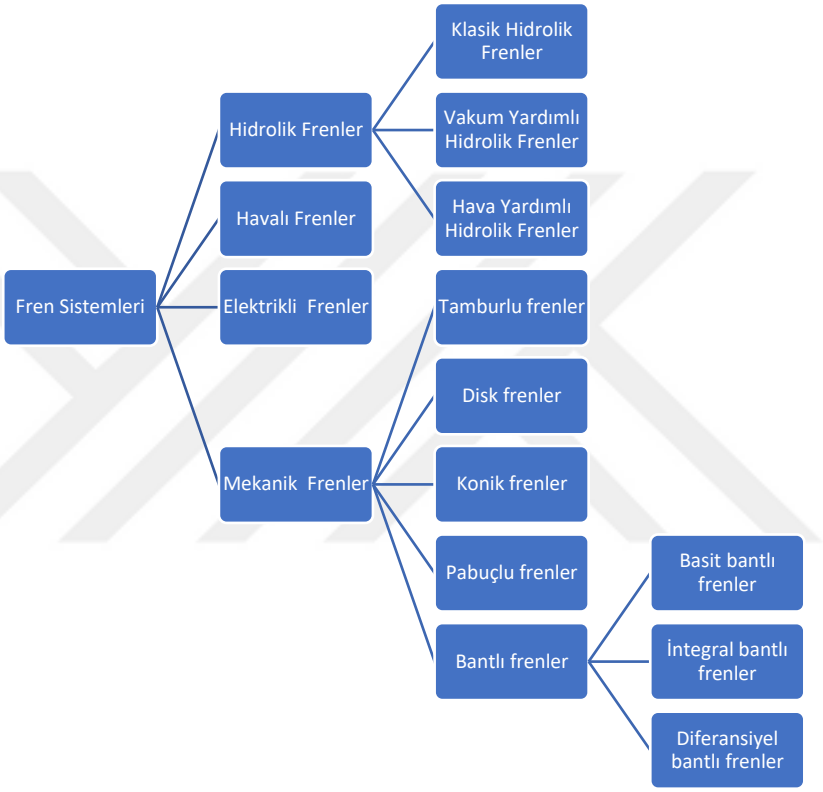


Şekil 1.2. Frenleme sırasında taşıta etki eden kuvvetler (MEP Fren Sistemleri)

Hareket halindeki bir araç frenleme yaptığı zaman araç üzerindeki meydana gelen kuvvetler; tekerlek fren mekanizmasındaki sürtünme kuvveti, yolun eğiminden dolayı oluşan kuvvet, tekerlekle yol arasında oluşan sürtünme ve araç hızıdır (Şekil 1.2).

1.1.2. Fren çeşitleri

Fren sistemleri çalışma mantığı, uygulama şekli, istenilen özellik gibi sebeplerden dolayı çok fazla çeşitlilik gösterir. Ana çeşitlerin sınıflandırılması Şekil 1.3'te verilmiştir.

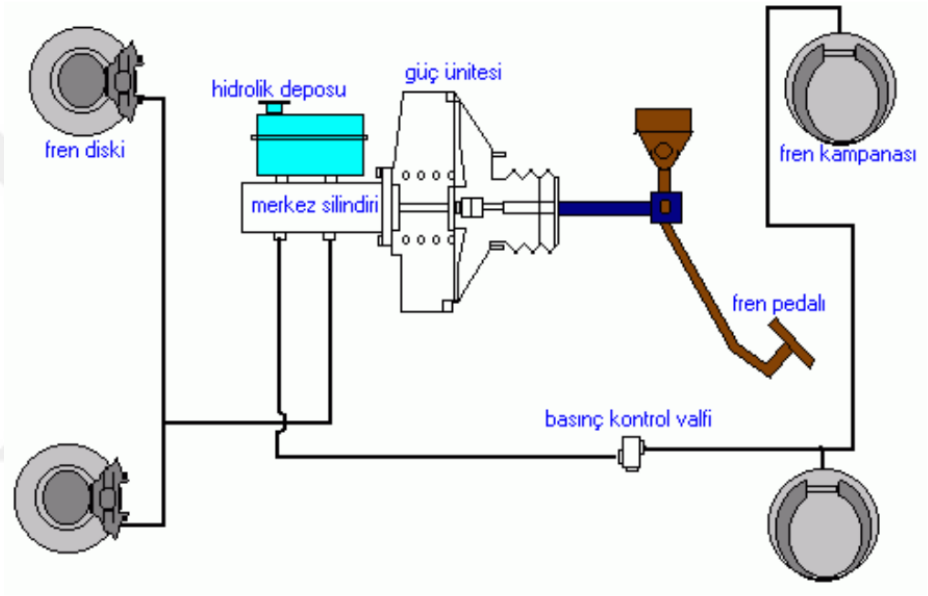


Şekil 1.3.Fren çeşitleri

Taşıtlardaki fren sistemleri özellikle son yıllarda büyük tasarımsal değişimler göstermiştir. Uzun yıllar diskli frenler ön tekerleklerde, kampanalı frenler arka tekerlerde kullanılmıştır. Günümüzde diskli frenlerin soğuma performansının kampanalardan iyi olduğu anlaşılınca arka tekerleklerde de disk fren kullanılmaya başlandı. Bu soğuma performansının sebebi ise diskli frenlerde diskler arasına hava kanalları oluşturarak havalandırmasının sağlanmasıdır. Böyle önemli avantajlar sayesinde diskli fren sistemleri otomobiller için evrensel bir tercih haline gelmiştir.

1.1.2.1. Hidrolik fren

Günümüz otomobillerinde yaygın olarak hidrolik fren sistemleri kullanılmaktadır. Çalışma prensibi oldukça basittir (Şekil 1.4). Pascal kanununa göre, fren pedalına basıldığı zaman ana merkez içinde meydana gelen hidrolik kuvvet, hidrolik hat (fren hattı) yoluyla tekerleklerde bulunan silindirlere iletilir. İletilen kuvvetin etkisi ile fren balatasında bir frenleme kuvveti oluşur. Bu frenleme kuvveti kaliperleri kapatarak fren balataları ile diskleri birbirine yapıştırır. Böylelikle otomobil yavaşlar ya da durur.

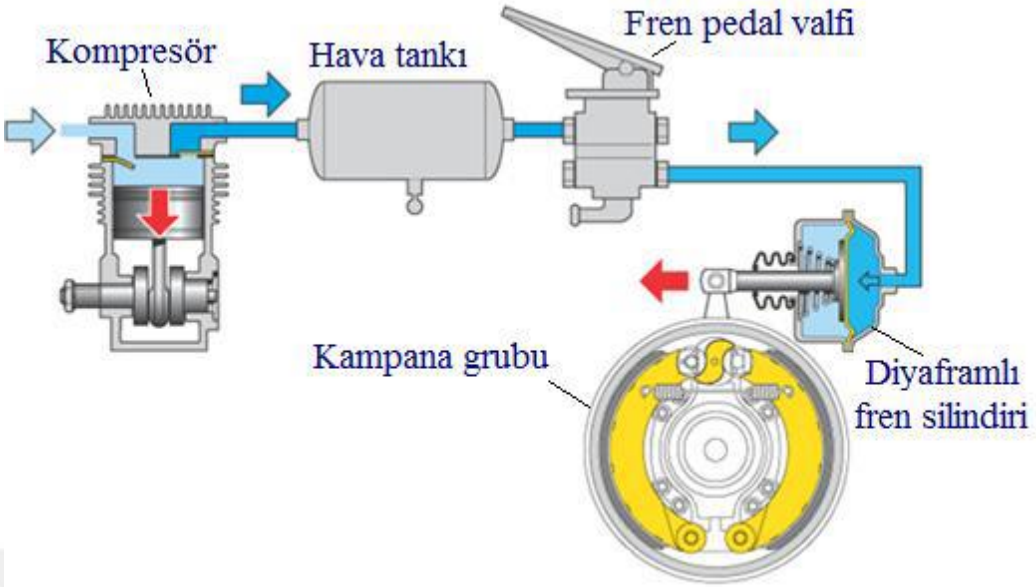


Şekil 1.4. Hidrolik fren çalışma prensibi (Akkuş ve Yücel, 2009)

Bilindiği üzere sıvılar sıkıştırılamazlar. Kapalı bir kapta bulunan sıvıya herhangi bir bölgeden uygulanacak olan kuvvet kapalı kabın şekli içerisindeki her noktaya aynı derecede iletilir. Bu kuvvetin etkisi silindir çapları ile orantılı olarak değişir. Pedala uygulanan küçük bir kuvvet fren disklerinde büyük bir kuvvete dönüşür.

1.1.2.2. Havalı fren

Havalı fren sistemi genellikle büyük hacimli araçlar (kamyon, tır vb.) için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Şekil 1.5). Havalı frenler, az bir kuvvet etkisi ile en iyi frenlemeyi sağlamak için tasarlanan frenleme sistemidir.



Şekil 1.5. Havalı fren sistemi (MEGEP, 2013)

1.1.2.3. Elektrikli fren

Fren pedalının görevi diğer fren sistemleri ile aynı ancak tetikleme şekli farklıdır. Aracın elektronik beynine bir tel ile bağlıdır. Fren pedalına basma hızımız ve tekrar sayısına göre, elektronik beyin ne kadar acil bir fren gereksinimi olduğunu anlıyor. Elektronik fren beyni araç bilgileri ile fren ihtiyacımızı birleştirerek her teker için fren kuvvetini hesaplıyor. Merkezi hidrolik ünitesinde gerekli fren basıncı oluşturuluyor. Aracın elektriksel sisteminde herhangi bir olumsuzluk meydana gelirse, direkt yedek hidrolik fren ünitesi devreye giriyor. Böylelikle herhangi bir olumsuzluğa karşı önlem alınmış oluyor.

1.1.2.4. Mekanik fren

Mekanik fren sistemlerinde şoför tarafından fren pedalına uygulanan kuvvet mekanik bağlantılar yardımıyla tekerleklere iletilir ve aracın durması sağlanır. Kullanım sınıfı olarak en basit örneklerinden biri araçların el frenleridir. Çalışma mantığı olarak 5 çeşitten oluşmaktadır. Bunlar:

- Tamburlu (kampana) frenler
- Disk frenler
- Konik frenler

- Pabuçlu frenler
- Bantlı frenler

Kampana ve disk frenler en yaygın kullanılanlarıdır. Çalışma mantığı olarak kampana frenlerde balatalar fren kuvvetinin etkisi ile kampanaya sürterken, disk frenlerde balatalar disklere sürtmektedirler.

Otomobillerde frenleme esnasında ön tekerlekteki fren kuvveti arka tekerlekteki fren kuvvetinden daha büyük olacak şekilde bir düzenleme yapılır. Frenleme sırasında momentumun etkisi ile taşıtın arka tarafından öne doğru bir yük akışı meydana gelmektedir. Bu yüzden arka frenlerin yaklaşık, %23 ön frenlerin ise %77 oranlarında frenleme kuvveti oluşturmaları istenmektedir. Frenleme kuvvetinin taşıt ağırlığına oranı olan fren verimi, aracın durma mesafesine etkiyen faktörlerden biridir (Bayrakçeken ve Düzgün, 2005).

Frenleme esnasında diğer bir fren faktörü ise ısınmadan dolayı performans kaybı (fading)'dir (Çataltepe, 2008). Frenleme esnasında sürtünme kuvvetinin etkisi ile oluşan ısının en kısa sürede sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir. Buradaki sıcaklık önlenmez ise balata ve disk zarar görür. Özellikle balatayı oluşturan malzemelerin bütünlüğünü bozacak değeri aşarsa, erken aşınma, bölgesel kazınma, fren hidroliği buharlaşması, ,rulman hatası, fren solması, termoelastik kararsızlık, termal çatlaklar gibi istenmeyen etkilere yol açar (Belhocine ve Abdullah, 2015). Soğumanın yeterli seviyede olması hem balata ve disk ömrünü artırır hem de frenleme performansını yükseltir.

1.2. Balatalar

Balata, fren pedalına uygulanan kuvvetin oluşturduğu etki ile diske ya da kampana iç yüzeyine temas eder ve sürtünmenin etkisi ile frenlemeyi sağlar. Aracın hareketinden dolayı disk/kampana kinetik enerjiye sahiptir. Balatanın sürtünmesi ile bu kinetik enerji ısı enerjisine dönüşür.

Otomotiv sektöründe fren balata genellikle birçok farklı malzemenin bileşimini içerir. Balatalar, tozların ve takviye malzemelerinin sıcaklık altında pres yardımıyla sıkıştırılması ile oluşturulan kompozit yapılardır (Satapathy ve Bijwe, 2004b).

Balatalar özelliklerine göre bileşenlerin farklı kombinasyonları ile meydana gelir. Elyaf ve abrasif parçacıklar en sert bileşenleriyken, katı yağlayıcılar ve bağlayıcı olan reçine en zayıf bileşenler olmaktadır (Üstün, 2011).

Otomotiv fren balataları genellikle disk parlatma, sürtünme katsayısı veya gürültü azaltma gibi belirli özellikleri sağlayan çok sayıda malzemenin birleşimini içeren polimer matris kompozitlerdir. Balata üreticileri, istenilen bazı özelliklerin nasıl elde edileceği hakkında deneyimleri olmalarına rağmen, balata içerisinde kullanılan malzemelerin aşınma ve sürtünme özelliklerine etkileri ile ilgili bilgi eksikliği vardır (Österle ve ark., 2007).

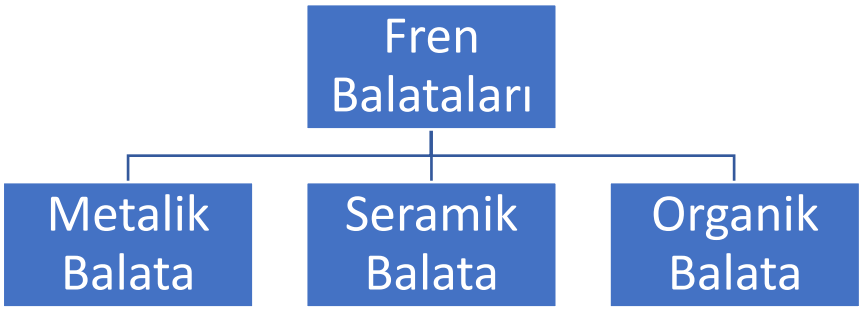
Frenleme esnasında oluşan sürtünme, balata ile disk/kampana arasındaki ara yüzey sıcaklığına sebep olmaktadır. Bu sıcaklığı en aza indirgemek için balata içerisindeki malzemeler iyi ısınma kabiliyetine sahip olmalıdır (Venkataraman ve Sundararajan, 2002).

Genel olarak bir fren balatasından;

- sürtünme katsayısının; hız, sıcaklık, fren basıncına bağlı olmaması
- sürtünme davranışındaki değişimin az olması,
- iyi korozyon direnci,
- değişen hava şartlarından etkilenmeme,
- yüksek aşınma direncine sahip olması ve karşı yüzeyi az aşındırması,
- yüksek mekanik mukavemet,
- sıcaklık dayanıklılığının yüksek olması,
- balata malzemesinin insan sağlığı için zararsız olması, beklenir.

1.2.1. Balata çeşitleri

Fren balataları teknoloji ve sağlık açısından gelişmeler göstererek yapısal olarak metalik, seramik ve organik olmak üzere 3 ana çeşide ayrılmıştır (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Fren balatası çeşitleri

1.2.1.1. Metal fren balatası

Metal fren balatası, en yaygın olarak kullanılan balata türüdür. Tamamen metal olmayan bu balataların içerisinde, bakır, çelik ve diğer kompozit alaşımlar bulunur. Sürücü metal veya seramik fren balatası arasında tercih yaparken zorlanmaz. Otomobil yarışlarında genel olarak metal fren balatası tercih edilir. Metal fren balatasının başlıca özellikleri:

- Kısa sürede soğur.
- Sıcağa ve zorlu şartlara dayanıklıdır.
- Gürültü seviyesi biraz yüksektir.

1.2.1.1. Seramik fren balatası

80'li yılların ortalarında ortaya çıkan seramik fren balataları, süs malzemeleri ve yemek tabağına benzer seramik maddeden yapılmaktadır. Ancak daha dayanıklı olması için hammaddesi daha yoğun bir karışımdan meydana gelir. Seramik fren balatasının başlıca özellikleri;

- Düşük ses seviyesine sahiptir. Sürtünme sesi duymanız neredeyse imkansızdır.
- Neredeyse hiç toz ve artık bırakmaz.
- Üretim maliyeti yüksektir. Yüksek fiyattan satılan seramik fren, balata çeşitlerinin en pahalısıdır.

1.2.1.1. Organik fren balatası

Organik balatalar ilk üretilen fren balatalarının insan sağlığına olumsuz etkisinden dolayı ortaya çıkmıştır. İlk balatalarda sıcağı absorbe edebilen asbest malzemesi kullanılıyordu. Bu sayede sürekli sürtünmeye maruz kalan balata, fren kampanasına karşı dayanıklıydı. İlerleyen zamanlarda asbest malzemesinin insan sağlığı için zararlı olan kanserojen olduğu anlaşıldı. Uzun süre kullanımında havaya yaydığı asbest gazı ile hava kirliliğine yol açıyordu.

1980'li yıllarda, fren balatalarının içeriğinde kullanılan asbestin, frenleme sırasındaki aşınmalar sonucunda açığa çıkan gazın atmosfere karışıp, solunum yoluyla akciğere girmesi ile ciddi sağlık sorunları ve özellikle de akciğer kanserine yol açtığı görülmüştür (Gemalmayan, 1984). Bu yüzden, birçok ülkede taşıt frenlerinde asbest

içerikli balataların kullanımı yasaklanmıştır. Bunun üzerine balata üreticileri alternatif malzemeler için çalışmalar yapmaya başladılar. Alternatif malzemelerden yapılan bu fren balatalarına da organik fren balatası dediler.

ABD'de yeni otomobillerin %67'sinde standart olarak organik fren balataları geliyor. Türkiye'de henüz standart hale gelmemiş ama önümüzdeki yıllarda gelmesi beklenmektedir. Türkiye de günümüzde yaygın olarak motosiklet ve bisikletlerin disk fren sistemlerinde kullanılmaktadır. Organik fren balataları lastik, fiber, karbon bileşenleri, kevlar, cam, vb. malzemelerden oluşuyor.

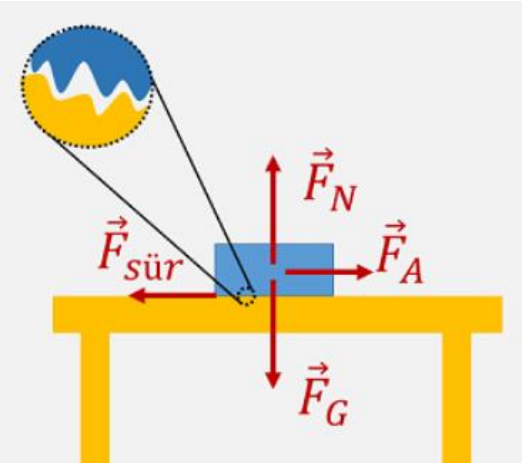
Organik fren balatasının başlıca özellikleri;

- Metal fren balatalarına göre daha fazla çevreye duyarlılar.
- Fazla ses yapmazlar.
- Fren sisteminin aşınmasına fazla neden olmazlar.
- Ömürleri kısa sürelidir.

1.3. Sürtünme

Sürtünme kuvveti, iki nesnenin arasındaki temas bölgesinde oluşan ve harekete karşı koyan kuvvettir. Sürtünme kuvvetinin ortaya çıkması için nesnelerin birbirlerine göre hareketli veya hareketsiz olmasına gerek yoktur. Yalnız hareketin meydana geldiği durumlardaki sürtünme kuvveti hareketsiz durumdaki sürtünme kuvvetinden farklıdır. Bazı kaynaklar kinetik ve statik sürtünme kuvveti diye ikiye ayırmaktadır.

Şekil 1.7'deki masanın üzerindeki sabit duran bir eşyaya $\vec{F}_N$ kuvveti uygulanıyor ve cisim harekete geçiyor. $\vec{F}_N$ Kuvvetinden daha küçük kuvvetlerde cismin hareket etmediği görülüyor. Bunun nedeni uygulanan kuvvetin cisim sabit olarak dururken oluşan sürtünme kuvvetini(statik) yenememesidir. Sürtünme kuvvetini yendikten sonra cisim hareket etmeye başlar. Artık hareket eden cisme etki eden sürtünme kuvveti (kinetik) olsa da hareketini devam ettirmesi için daha az kuvvet yeterlidir. Kinetik sürtünme kuvvetinin statik sürtünme kuvvetinden daha az olduğu anlaşılır. Kısacası kaymayı başlatmak için gereken kuvvete statik sürtünme, ise kayma hareketinin devamını sağlamak için gerekli olan kuvvete ise dinamik sürtünme kuvveti denilmektedir (Öztürk ve ark., 2007; Sugözü, 2009).



Şekil 1.7. Sürtünme kuvvetinin şematik gösterimi

Yüzeyler arasında meydana gelen sürtünme kuvveti,

$$\vec{F}_{SÜR} = \mu . \vec{F}_A \quad (1.1.)$$

$\vec{F}_G$ =Ağırlıktan Oluşan Kuvvet

$\vec{F}_N$ =Yerin Tepki Kuvveti

$\vec{F}_A$ =Uygulanan Kuvvet

$\vec{F}_{SÜR}$ =Sürtünme Kuvveti

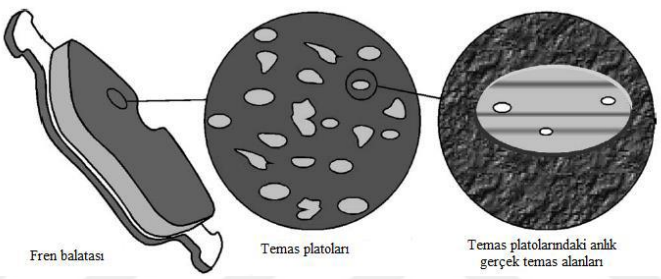
Denklem 1.1'de görüldüğü üzere uygulanan kuvvet ve sürtünme katsayısı ile doğru orantılıdır. Katı malzemelerin yüzey işlemesi veya parlatması ne kadar iyi olursa olsun her zaman bir yüzey pürüzlülüğü (≅0,1mm) vardır. Temas halinde bulunan iki katı arasında sürtünme bu mikro pürüzlülükte oluşmaktadır. Coulomb (1785) ve Amontons'un (1699) tarafından geliştirilen bu yasa metaller için doğru olmasına rağmen plastik malzemelerde yükün etkisi ile oluşan deformasyonlardan dolayı sürekli sürtünme katsayısı değişir (Ertan, 2008).

Taşıtların fren sistemin de temel esas sürtünme kuvvetidir. Taşıtın frenleme anında istenilen mesafe veya zamanda durması istenmektedir. Eğer balata ve diskler arasındaki sürtünme kuvveti az ise taşıt hedeflenen mesafe veya zamanda duramayacak, sürtünme kuvveti çok ise de frenler bloke olacaktır. Bu yüzden balata çalışmalarında hem max. düzeyde sürtünme hem de min. düzeyde sürtünme üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Aşınma ve sürtünme olayları her iki teknikte de görüldüğünden bu durum tribo sistem olarak adlandırılır. Tribolojik sistem;

- Ana malzeme (temel sürtünme elemanı)
- Karşı malzeme (karşı sürtünme elemanı)
- Ara malzeme (yağlama elemanı)

- Çevre şartları gibi ana unsurlara dayanmaktadır.

Fren sistemlerinin temel elemanı olan balata, frenleme esnasında en fazla aşınma tehlikesi gösteren ekipmandır. Teknik olarak yapılan bir tercihtir aslında, hem diğer fren ekipmanlarına göre daha uygun fiyatlıdır hem de değiştirilmesi oldukça kolaydır. Balataya karşı sürtünme elemanı olarak disk frenlerde disk, kampanalı frenlerde pabuçtur. Frenleme esnasında meydana gelen sürtünme ve aşınma sonucunda genellikle disk yüzeyinde koruyucu bir film tabakası oluşur. Bu tabaka diski bir yağlayıcı gibi balatanın aşındırma etkisine karşı korur. Her makine parçasında olduğu gibi frenlerde de çevre şartları önemli yere sahiptir. Toz, kir, su, hava koşulları gibi çeşitli etkenler tribolojik teması ve dolayısıyla frenleme performansını etkiler (Ertan, 2008).



Şekil 1.8. Temas platoları (Eriksson ve Jacobson, 2000)

Balatalar çok yüksek sertliklere sahip aşındırıcı parçacıklar ve elyafların yanı sıra düşük sertliğe sahip reçine ve katı yağlayıcıların belirli oranlarda birleştirilmesi sonucunda oluşan kompozit yapılardır. Değişik aşınma özellikleri gösteren bu bileşenler ve balata yüzeyinde bulunan aşınma parçacıklarının disk ile oluşturdukları temas alanına plato denir (Eriksson ve Jacobson, 2000).

Balata üzerinde bulunan temas platoları, balatanın toplam yüzey alanının %15 ile %20'si düzeyindedir. Bu alanlar yüzeye dağılmış durumda genellikle 50-500 mikron çapında ve birkaç mikron yüksekliğindedir. Bu platoların sertlik değerleri kompozit olarak yapılan balatanın sertlik değerinden daha yüksektir (Eriksson ve ark., 1999). Frenleme esnası oluşan sürtünmede balata yüzeyi ile karşı yüzey arasında sınırlı bir bölge temas halinde olur. Gerçek temas alanı diye adlandırılan bu bölge platoların toplam alanı ile karşılaştırıldığında çok küçüktür. Şekil 1.8'da temas platoları ve anlık gerçek temas alanları görülmektedir (Eriksson ve Jacobson, 2000).

1.4. Aşınma

Aşınma, parçanın uzun süreli veya aşırı yoğun şekilde kullanılması nedeniyle parçada meydana gelen malzeme kaybı ve ilerleyen bir bozulma olarak tanımlanır. Bunun sonucunda parçanın kondisyonu ve şekli bozularak performans kaybı meydana gelir. Sürtünme etkisi ile aşınma başlar ve/veya devam eder. Sürtünen yüzeylerin temas ettikleri bölgelere mekanik etkileşim alanı denir. Temas alanı gerçekte görünen temas alanından çok küçüktür. Hassas yüzey ihtiyacı bulunan malzemelerde, işlenen yüzeylerde dahi pürüzler bulunur. Asıl etkileşim bu pürüzlerde meydana gelir. Yükleme kuvveti ve şekli ile temas alanını etkiler, dolayısıyla malzemenin aşınması etkilenir. Temas alanı yükün değeri ile doğru orantılıdır. Yük arttıkça gerçek temas alanı artar (Boz, 2003).

Kullanıcı bakımından aşınma;

- çalışma ömrünün azalması
- yüksek enerji tüketimi
- düşük verimlilik
- güvenlik riski gibi olumsuz sonuçlar doğurur.

Malzemelerde aşınma mekanizmaları ana malzeme, aşındırıcı, aşınma ortamı olmak üzere üç ana unsurun anlaşılmasıyla en iyi karakterizasyon elde edilir.

1.4.1. Aşınma çeşitleri

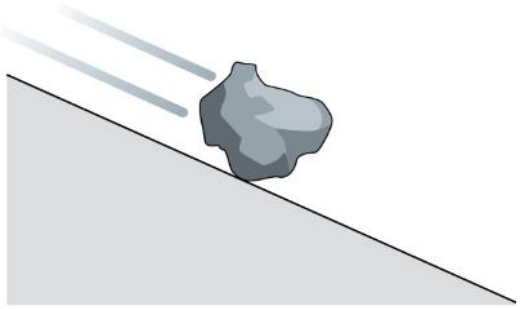
Sürtünerek çalışan malzeme çiftlerinin birbirlerini zorlaması ile meydana gelen aşınma, yük, sıcaklık, hız, malzeme, yağlayıcı tipi ve sertlik gibi özelliklerin değiştirilmesinden etkilenmektedir (Adıgüzel, 2015). Aşınma her malzeme de aynı şekilde olmamakla beraber reaksiyonun gerçekleştiği andaki şartlara göre, değişik türleri vardır.

1.4.1.1. Düşük ve orta gerilimli abrazyon / düşük darbe

Ana malzemenin üzerinden kayan ve/veya sürtünen partiküller sonucu oluşan aşınmadır. Bu partiküller çok düşük baskı kuvveti uyguladığı için, ana malzemenin boyutlarında değişiklik olmaz hatta parça koparmazlar (Şekil 1.9). Bu aşınma tipi iki sınıfa ayrılır:

Düşük gerilimli abrazyon: Darbe veya baskı kuvveti olmadan ana malzemenin ve aşındırıcının birbirlerine teması ile oluşan aşınmadır.

Orta gerilimli abrazyon: Darbe veya baskı kuvveti olmadan aşındırıcı malzemenin iki ana malzemesi arasındaki temas ile oluşan aşınmadır.

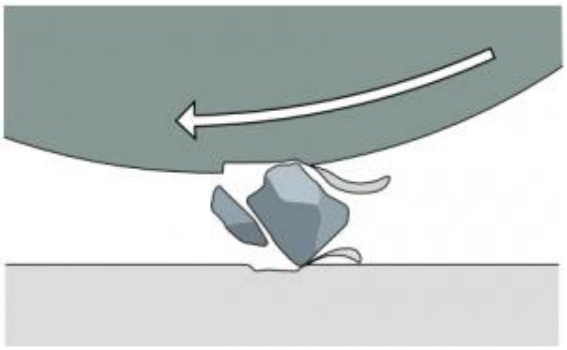


Şekil 1.9. Düşük ve orta gerilimli abrazyon şematik gösterimi (Weld Wolf, 2017)

Darbe etkisi olmayan bu aşınma tipinde, ana malzemenin sünekliği önemli değildir. Aşındırıcının sertliği ana malzemenin sertliğinden daha düşük olduğu sürece, çok düşük bir aşınma olacaktır. Bu aşınma tipine direnç göstermek için yapılan bazı işlemler; sertleştirilmiş parçalar, ısıl işlem görmüş çelik plakalar ve seramik bileşenler vb.

1.4.1.2. Yüksek gerilimli abrazyon / baskı kuvveti altında

Aşındırıcının iki yüzey arasında yüksek baskı kuvveti ile sıkıştırıldığı ekipmanlarda gerçekleşen aşınma türüdür (Şekil 1.10). Genellikle aşındırıcı birçok parçaya ayrılır. Bu nedenle, yüzey kaplamada akma – süneklik – sertlik optimizasyonu ile çözüm oluşturulmalıdır.

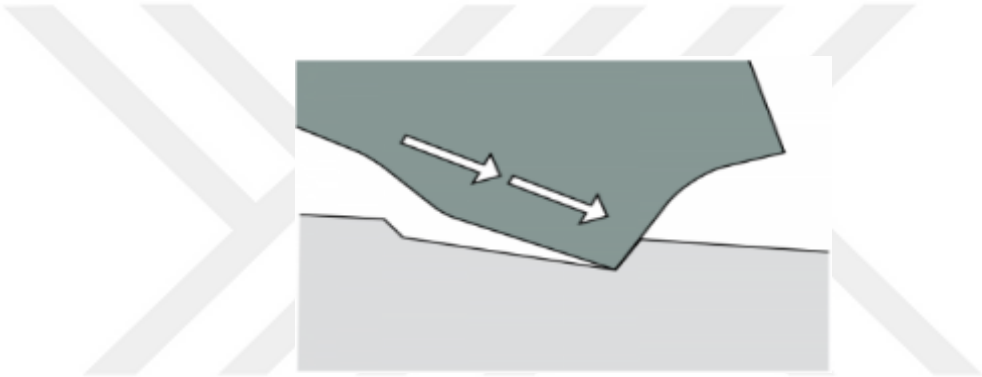


Şekil 1.10. Yüksek gerilimli abrazyon şematik gösterimi (Weld Wolf, 2017)

Yüksek baskı kuvveti altındaki abrazyon aşınması çeşitli şekillerde kendisini gösterir; oyulma, yüzeyde yıpranma, yontulma, sert fazların (karbürler vb.) kopması veya matrisin plastik deformasyonu vb.

1.4.1.3. Şiddetli abrazyon (oyma abrazyonu) yüksek darbe

Oyma abrazyonu ile de anılan bu aşınma çeşidi, darbenin etkisi ile düşük, orta veya yüksek aşınmanın birer kombinasyonunu ifade eder. Ana malzemede çizikler oluşması veya büyük parçaların kopması gibi sonuçlar doğurur (Şekil 1.11). Bu sonuçların beraberinde plastik deformasyonun olduğu durumlar da çıkabilir.

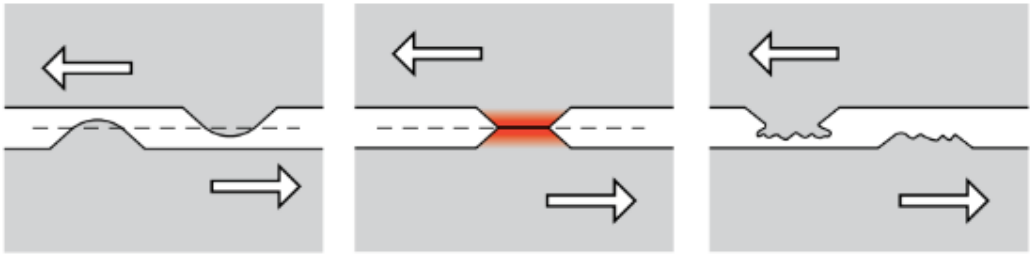


Şekil 1.11. Oyma abrazyonu şematik gösterimi (Weld Wolf, 2017)

Oyma abrazyonunda darbe (uygulanan kuvvet birçok noktadan temaslı) ve şoklara (uygulanan kuvvet tek noktadan temaslı) direnebilen sünek malzeme, manganlı çelikler, titanyum karbür alaşımları gibi çözümler kullanılmaktadır.

1.4.1.4. Adhezyon / Sürtünme

Sürtünme aşınması (Adhezyon), iki metal yüzeyin sürtünmesi ile malzemenin bir tabakadan başka bir tabakaya aktarılmasıdır (Şekil 1.12). Bu aşınma tipi yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve sürtünme koşulları altında gerçekleşir. Mikroskobik seviyede meydana gelen bu aşınma deformasyonu çıplak gözle görülemeyebilir.



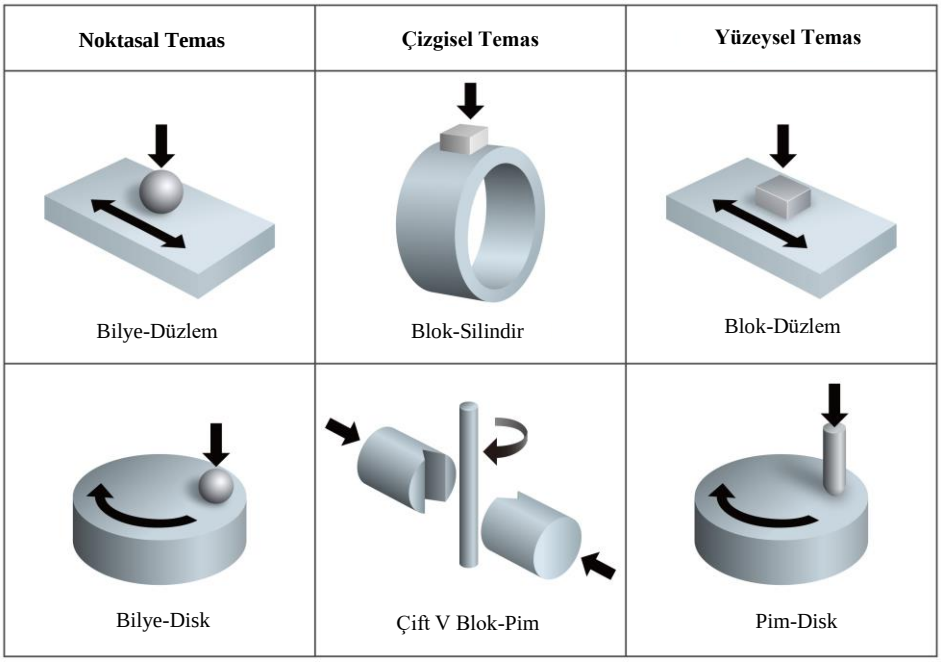
Şekil 1.12. Adhezyon şematik göstermesi (Weld Wolf, 2017)

Sürtünme aşınması oranının bağlı olduğu faktörler:

- iki yüzey arasında hareket eden kuvvet
- hız
- yüzey durumu
- çalışma ortamının sıcaklığı
- yüzeylerin sürtünme katsayılarıdır.

1.4.2. Aşınma testleri

Aşınma testi çeşitleri test yapılacak numunenin çalışma şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Yaygın olarak kullanılan altı aşınma testi yöntemi vardır. Test çeşitlerinin şematik gösterimi Şekil 1.13'te görülmektedir. Test çeşitleri noktasal, çizgisel ve yüzeysel olmak üzere üç ana gruba ayrılır.



Şekil 1.13. Aşınma testi çeşitleri şematik gösterimi

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Abutu ve ark. (2018), çalışmalarında deniz salyangozu kabukları, grafit (sürtünme düzenleyici), epoksi reçine (bağlayıcı) ve alüminyum oksit (aşındırıcı) kullanmışlardır. Farklı üretim parametrelerinde çalışarak, takviye malzemesi olarak deniz kabuğu kullanıldığı yirmi yedi değişik numune üretmişlerdir. Numunelerin kütlesel yüzdeleri %52'lik takviye, %35'lik bağlayıcı, %8'lik aşındırıcı ve %5'lik sürtünme ayarlayıcı kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda 14 MPa kalıplama basıncı, 160 °C kalıplama sıcaklığı, 12dk kürleme süresi ve 1 saat ısıl işlem süresi kullanılarak deniz kabuğu takviyeli fren balatasının üretilebileceği sonucuna varmışlardır.

Akpınar ve ark. (2008), 185°C sıcaklıkta ki yağın içerisine attığı karaçam kozalaklarını 1,5 dk bekleterek modifiye etmişlerdir. Modifiye edilen kozalaklar önce kurutulmuş sonra öğütülmüşlerdir. Karaçam kozalaklarının Modifiye ve normal hallerini cashew tozu ile aynı oranda karıştırarak farklı numuneler elde etmişlerdir. Yaptıkları testler sonucunda modifiye karaçam kozalak tozunun kullanıldığı numunelerin sertlik ve yoğunluk değerleri normal karaçam kozalak tozunun kullanıldığı numunelere göre yüksek çıktığını bulmuşlardır.

Amaren ve ark. (2013), çalışmalarında deniz salyangozu kabuğu kullanmışlardır. Farklı toz boyutlarını (125µm, 250µm, 355µm, 500µm ve 710µm) fenolik reçine ile karıştırarak oluşturdukları numuneleri farklı hız ve yüklerde testlere tabi tutmuşlardır. Yük, sıcaklık ve hız arttıkça aşınmanın arttığını ve tane boyutu büyük numunelerde en fazla aşınmanın olduğunu bulmuşlardır.

Aranganathan ve Bijwe (2016), çalışmalarında %10 oranında daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip sentetik grafit ve doğal grafit kullanarak, bıçaklı mikserde (3000 devir/dk) ilk olarak aramite, dolgu malzemesi barit ilave ederek 5 dk, sonrasında cam elyafı ilave ederek 1 dk, ardından diğer elyaf ve toz içeriklerini ilave ederek 9 dk ve son olarak bu karışıma reçineyi de ilave ederek 4 dk daha karıştırmışlardır. Üretim esnasında 100 t kapasiteli hidrolik preste 130 kg/cm2'lik bir basınç altında 155–160 °C'ye ısıtılan kalıpta 7 dk süre ile numuneler basmışlardır. Yaptıkları deneylerde, termo-fiziksel özellikler, yoğunluk, gözeneklilik, sertlik, fren sıcaklıklarında artış ve aşınma performansı incelenmiş ve yüksek ısıl iletkenliğe sahip sentetik grafit ile mükemmel sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir.

Baklouti ve ark. (2015), çalışmalarındaki numuneleri %14 fenolik reçine, %10 grafit, %45 barit, %22 kaya yünü, %2 alümina ve %7 kauçuktan oluşturmuşlardır.

Numunelerdeki barit oranını %4 azaltıp, yerine %4 karbon elyaf ilave ederek 2 faklı kombinasyon oluşturmuşlardır. Yapılan testler sonucunda %4 karbon elyaf ilave edilen numunelerde ısıl iletkenliğinin yayılması ve etkinliğinin arttığı görülmüş ve ısı yayılmasındaki artışın balatanın verimliliğinin düşmesine neden olacağını belirtmişlerdir.

Cai ve ark. (2015), boronla modifiye edilmiş rezol fenolik reçineyi ile novolak fenolik reçine toplam numune hacminin %23,6 olacak şekilde karıştırarak 5 farklı numune üretmişlerdir. Çalışmalarında reçinenin mekanik, termal ve tribolojik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Testlerin sonucunda, reçinelerin oranlarındaki değişimin sertlik üzerinde çok az etki yaptığını görmüşlerdir. Test edilen diğer özellikler de ise karmaşık bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Demir ve ark. (2019), çalışmalarında karbon ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin abrasif aşınmaya etkilerini incelemişlerdir. KETP kompozit çubuklarının CETP kompozit çubuklarına göre sürtünme katsayıları daha yüksek olurken kütle kayıplarının da fazla olduğunu belirlemişlerdir.

Erdem ve Altıparmak (2014), çalışmalarını hafif ticari araç üzerinde yapmışlardır. Yaptıkları teste, aracı 3 farklı yük durumuna (yüksüz, yarı yüklü ve yüklü) göre 3 farklı hızda ve 3 farklı frenleme kuvvetinde test etmişlerdir. Diskte oluşan sıcaklık ile aracın durma mesafesi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, frenleme performansının ısınan fren disklerinden olumsuz etkilediğini görmüşlerdir. Frenleme kuvvetinin azalması ile durma mesafesinin arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, fren etkinliği kaybına en önemli neden olarak fren disklerindeki sıcaklık artışı olduğu ifade edilmiştir.

Ertan ve Yavuz (2010), binek taşıtlar için yapmış oldukları çalışmada fenolik reçine, $ZrSiO_4$, Fe_2O_3, lastik tozu, grafit, kömür, Fe_2O_3, ZnS, $ZrSiO_4$, cashew tozu, $BaSO_4$, $CaCO_3$ ve wollastonite miktarını sabit tutarak 3 farklı (kaya yünü, bakır tozu ve aramid liflerini) parametreyi farklı oranlarda karıştırarak 7 farklı numune elde etmiştir. Çalışmanın öncelikli amacı gri dökme demir ile beraber çalışabilecek balata malzemelerinin tribolojik ve fiziksel özelliklere etkisini araştırmaktır. Yapılan testler sonucunda, düşük aşınma oranı ve kararlı sürtünme katsayısı değişimini %6 bakır, %14 kaya yünü ve %5 oranında aramid liften oluşan numunenin sağladığını tespit etmiştir.

Etemoğlu ve ark. (2018), frenleme süresince sürtünme katsayısının değişmediğini varsayarak oluşturdukları fren sisteminde ısıl performansı incelemişlerdir. Parametreleri:

- disk malzemesi: paslanmaz çelik, dökme demir ve karbon-karbon kompoziti,
- balata: seramik metal malzemesi

- araç hızını: 80 km/h, 100 km/h, 120km/h
- araç kütlesi: 1000 kg, 1500 kg, 2000 kg
- sürtünme katsayısı: 0,2, 0,4, 0,6 olarak tercih etmişlerdir.

Yapılan analizlerde balata ve disk arasındaki sıcaklık, sürtünme katsayısı azaldıkça azalmış, arttıkça artmış ve aşırı ısınma gözlemlemişlerdir.

Fei ve ark. (2015), içerik olarak barit, kaolin, kevlar, karbon elyaf, selüloz fiber, fenolik reçine kullanırken, karbon elyaf oranının arttırıp kaolin ve barit oranını azaltıp diğer içerikleri sabit tutarak 4 kombinasyonda numune üretmiştir. Çalışmanın sonucunda karbon elyaf artışı aşınma, dinamik sürtünme katsayısını arttırırken, porozite, çekme mukavemeti değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Güney ve Mutlu (2015), derleme olarak yaptığı çalışmalarında, AB ve ABD'nde taşıtlar için uyguladığı test standartlarını incelemişlerdir. Taşıtlara göre farklı standartların olduğunu belirterek, bu standartların; FMVSS 135 Test Standardı, FMVSS 105 Test Standardı, SAE J2522 Test Standardı, SAE J2430 Test Standardı, SAE J2681 Test Standardı olduğunu belirtmişlerdir.

Ho ve ark. (2005), çalışmalarında fenolik reçine ve bakır esaslı malzemeye, pirinç lifi, karbon fiber, bakır lifi, doğranmış çelik lifi, SiO_2-Al_2O_3-K_2O esaslı seramik elyafı ve selüloz polimerik elyafı ilave ederek oluşturdukları numunelerde elyaf takviyesinin, sürtünmeye maruz kalan malzemelerin tribolojik ve mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Sertlik ve basma dayanımı en çok metal lifli numunelerde gözlemlenmiştir. Karbon fiber ve çelik kullanılan numuneler de ortalama sürtünme katsayısı diğer numunelerden fazla çıkmıştır. Selüloz elyaf içeren numuneler de ise en fazla kütle ve yoğunluk azalması bulunmuştur.

Idris ve ark. (2015), bilyeli değirmende kurutulmuş muz kabuklarını öğüterek, karbonize edilmiş ve edilmemiş olmak üzere iki farklı toz elde etmişlerdir. Muz kabuğu tozlarına %5-%30 oranında reçine ilave ederek numuneler elde etmişlerdir. Yapılan testlerin sonucunda, fren balatasında uzun yıllardır kullanılan asbestin yerine muz kabuğu tozlarının kullanılabileceğini deklere etmişlerdir.

Kahya (2017), ağaçların kozalaklarının (sarıçam, karaçam, fıstık çamı, kızılçam, sedir) tozlarını üreterek toz içerisinde bulunan reçineyi balatalarda bağlayıcı olarak tercih edilen fenolik reçinenin yerine kullanmışlardır. Organik olan bu reçinenin fenolik reçine yerine kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kılıçaslan (2016) ülkemizde çokça bulunan ve zeytinyağı üretiminde atık olarak çıkan zeytin pirinasının, kompozit malzemelerde kullanımını incelemiştir. Zeytin

çekirdeği parçalarına herhangi kimyasal bir işlem veya öğütme işlemi uygulamadan %30, %40, %50 ve %60 oranlarında polyester matrisli kompozit malzemeler üretmiştir. Numune içerinde artan çekirdek oranı yoğunlaşma gerinimini ve akma gerinimini arttırmış, malzeme esnek bir yapı kazandırmıştır. Ayrıca çekirdek oranı artışı mekanik dayanımı düşürmüştür.

Kim ve Jang (2000), çalışmalarında düz fenolik reçine ve modifiye (metilen bağlarındaki yüksek sıcaklık duyarlılığını azaltan ve ısıl direnci arttıran) edilmiş reçine olmak üzere iki çeşit novalak reçine kullanmışlardır. Testlerin sonucunda modifiye edilmiş olan reçine içerikli numunenin iyi termal stabilite gösterdiğini belirtmişlerdir.

Kocabaş (2012), çalışmasında kemik, midye, hayvan tırnağı ve boynuzu tozlarını dolgu malzemesi olarak oluşturduğu numuneleri incelemiştir. Testlerin sonucunda midye oranı arttıkça aşınma oranında az miktarda meydana gelen azalmanın, numuneden ayrılan midye tozlarının abrasif olarak davranmasından kaynaklandığına bağlamışlardır.

Lijesh ve ark. (2017), Magneto-Rheological (MR) fren performansı üzerine yaptıkları çalışmalarında 4 farklı sertlik değerine sahip diskleri incelemişlerdir. Yapılan testler sonucunda sertlik değeri arttıkça sürtünme katsayısı ve kütle kaybının azaldığını belirtmişlerdir.

Ma ve ark. (2018), 12 farklı (kok, barit, cam elyaf, fenolik reçine, kalsit, grafit vb.) malzeme içeriğine sahip numunelerin yoğunluk ve sertlik değerlerini incelemişlerdir. Yapılan testlerin sonucunda sertlik değerlerini 90,2-107,3 HRR ve yoğunlukları değerlerini 2,00-2,34 g/cm^3 arasında bulmuşlardır.

Malak ve ark. (2016), çalışmasında farklı boydaki karbon elyafları çeşitli oranlarda katarak farklı numuneler oluşturmuştur. 10 dk'lık karıştırmada homojenlik sağlanamamıştır ve sebep olarak elyaf boyları gösterilmiştir. Bu yüzden elyaf boyu arttıkça homojenliği sağlamak için karıştırma süresinin de arttırılmasının uygun olacağını belirtmişlerdir. Karbon elyaf oranındaki artış ile sürtünme katsayısı ve sertlik değerlerinin artığını, yoğunluğun azaldığını belirtmişlerdir.

Mavi (2014), çalışmalarında sıcaklık ile fren kuvveti arasındaki bağlantıyı incelemiştir. Deney düzenek referansları:

- Hız; 60, 80, 100 km/h
- Fren basınçları; 2, 4, 6, 8, 10 bar
- Sıcaklık değişimi; 50 °C- 400°C (50 °C artışlarla)

Yapılan testler sonucunda fren basıncındaki artış ile fren kuvvetini de arttığı, hız artışı ile fren kuvvetini azaldığı gözlemlenmiştir. En düşük devirde en yüksek fren

kuvveti gözlemlenmesinin sebebi yüksek hızlardaki yüksek kayma hızı sonucu sürtünme katsayısının düşük olmasına bağlamışlardır.

Mutlu ve ark. (2016), çalışmalarında %55 sabit %45 değişken içerikli 5 farklı numune üreterek çalışma yapmışlardır. Değişken içerik olarak karbon tozu (%25 elyaf - %20 toz , %5 elyaf - %40 toz gibi) değişik oranlarda kullanmışlardır. Yapılan testlerde yoğunluğun elyaf oranı arttıkça arttığı, sürtünme katsayısının 0.47-0.56 aralığında olduğu ve kütle kayıp oranının elyaf oranı arttıkça arttığı ancak en yüksek elyaf oranı olan numunede azaldığını bulmuşlardır.

Naghmouchi ve ark. (2014), çalışmalarında zeytinyağı üretiminin atık maddesindeki nem ve yağ oranını en aza indirdikten sonra toz haline getirip dolgu malzemesi (%50 oranında) olarak PVC ilave ederek aşınma ve darbe dayanımı ile mekanik ve termal özellikleri incelemişlerdir. Zeytin tozu ilave ettikleri numune için sertlik değeri artarken, mekanik mukavemet ve darbe dayanım değerleri azalmıştır. Çalışma sonucunda inşaat, otomotiv vb sektörlerde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Nagesh ve ark. (2014), çalışmalarında 4 farklı balata üreterek ticari balata ile karşılaştırmışlar. Hepsinin aşınma oranı, sürtünme katsayısı ve kesme dayanımı özelliklerini incelemişlerdir.

Öztürk (2004), basarit elyaf, taş yünü elyafı, aramid elyaf, fiberfrax elyaf, çelik elyaf, fenolik reçine, cam elyaf, sepiyolit elyaf, barit, alçı, grafit ve bronz kullanarak 25 farklı numune ürettiği doktora tezi çalışmasında, numunelerin yoğunluk, elastisite modülü, darbe dayanımı, yanma kaybı, basma dayanımı, ısı iletim katsayısı, sertlik değeri, eğilme dayanımı, kesme dayanımı ve sürtünme katsayılarını inceleyerek geniş kapsamlı bir çalışma yapmıştır.

Öztürk ve ark. (2007), çalışmalarında elyaf oranının etkisini incelemişlerdir. Sürtünme katsayısının elyaf oranı arttıkça arttığını ve özgül aşınma oranının %30'a kadar olan numunelerde azaldığı ancak %30 üzerine çıkıldığında aşınmanın arttığını gözlemlemişlerdir.

Pavitra ve ark. (2018), çalışmalarındaki numunelerin %75'lik kısmını 11 farklı malzeme içeriğinden oluştururken, %25 kısmını ise kısa cam elyaf ve ferro-silikonun olduğu 5 farklı orandaki karışımdan oluşturmuşlardır. Ticari balata ile ürettikleri numuneleri kıyaslamışlardır. Yaptıkları testlerden elde ettikleri sonuçlar:

- Kısa cam elyaf ve ferrosilikon katılan numunelerin yoğunluk ve sertliklerinin etkilendiği

- En yüksek eğilme mukavemeti ağırlıkça %10 ferrosilikon ve %15 cam elyaflı numunede görüldüğü
- Basma dayanımı ferrosilikon oranı %10 kadar olan artışlarda artarken, diğer numunelerde azaldığı
- Darbe dayanımının kısa elyaf oranı azalttıkça azaldığı olmuştur.

Resmi Gazete 28539 (2013), de yayınlanan Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmeliğin 5. maddesinde; Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ilgili mevzuatındaki hükümler saklı kalmak kaydı ile,

- asbestin her türünün çıkarılması, işlenmesi, satılması ve ithalatı,
- asbest içeren her türlü ürünün ithalatı ve satılması,
- asbest ürünlerinin veya asbest ilave edilmiş ürünlerin üretimi ve işlenmesi yasaktır.

Satapathy ve Bijwe (2004a) , çalışmalarında içeriğindeki barit oranını %3 azaltıp yerine farklı elyaflar takviye ederek 5 farklı numune üretmişlerdir. Çalışmalarında tercih ettikleri esas kriterlere (aşınma hacmi, sürtünme katsayısı, sıcaklık artışı) göre Çok Kriterli Karar Modelini sıralama ve dengeleme ile optimize etmişlerdir.

Satır (2006), çalışmasında asbestsiz fren balatalarının frenleme anındaki sürtünme katsayılarının kuru ve ıslak ortamlardaki etkisini incelemek için, 9 adet numune (taş yünü, reçine, E-cam elyafı, grafit, kizelgür, alçı, alüminyum oksit, bronz ve silisyum oksit) 9 üretmiştir. Yaptığı testler sonucunda sürtünme katsayısını kuru %46-%58 arasında, ıslak %19-%29 değerleri arasında bulmuştur.

Shanker (2018), yaptığı derlemesinde diskin mekanik frenler için önemli parçalardan biri olduğu için;

- Çevresel koşullardan etkilenmemeli,
- Yüksek sıcaklığa dayanabilme
- Yüksek sürtünme katsayısı
- Tekrarlanabilir sürtünme katsayısı
- Yüksek aşınma direnci
- Her çeşit yüzeyle uyumluluk sağlaya bilmesi gibi başlıca özelliklere sahip olmasını belirtmiştir.

Sudheer ve ark. (2014), çalışmalarında iki içeriğe (%50 epoksi, %50 cam elyaf) sahip numuneler üretip sonrasında ilk olarak %7,5 potasyum titanat ilave ederek (epoksiden azaltarak) ikinci olarak ise %2,5 grafit ilave ederek (yine epoxy azaltılarak) toplamda 3 farklı numune üretmişlerdir. Yapılan testler sonucunda sürtünme katsayısı

potasyum titanat ile artarken grafit ile düşmüş, sertlik değeri ve yoğunluk potasyum titanat ve grafit ilavesinde arttığı, ancak aşınma oranının düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Sugozu ve ark. (2014), çalışmalarında numunelerin %24'lük kısmın da boraks ve kızılçam kozalağı tozunu değişken oranlarda (kızılçam kozalağı tozu %4, %8, %12, %16, %20) kullanmışlardır. Yapılan testlerin sonucunda kızılçam oranı arttıkça sürtünme katsayısı azalırken, sertlik değerinin (%4 kızılçam kozalağı tozu kullanılan numune hariç) arttığını bulmuşlar.

Sugözü ve ark. (2009), çalışmalarında aynı içeriğe sahip numuneleri 3 farklı basınç altında üretim yaparak, üretim basıncının etkilerini incelemişlerdir. Testlerin sonucunda üretim basıncı arttıkça sertlik ve yoğunluk değerleri artarken, aşınma oranının düştüğünü bulmuşlardır.

Sugözü (2015), çalışmalarında 3 farklı oranlarda maun cevizi tozunu kullanarak oluşturduğu numunelerde, maun cevizi tozu arttıkça yoğunluk ve sertlik değerinin arttığını bulunmuşlardır.

Talib ve ark. (2003), çalışmasında 750 devir/dk hızda perlittik gri dökme demir olan disk üzerine farklı yük ve frenleme sürelerinde kombinasyonlar yaparak aşınma olaylarını incelemiştir.

- Yükleme çeşitleri; 100, 200, 400, 600, 800 N
- Frenleme süresi; 3, 5, 9, 12, 15 dk değerlerini referans alarak testlerini yapmışlardır.

Yapılan testlerin sonucunda aşınma çeşitlerini sırasıyla; abraziv, adheziv, yorulma, delaminasyon ve termal aşınma olarak belirtmişlerdir. Ayrıca mikro yapı üzerine yapmış oldukları incelemelerde;

1) mikro boşlukların büyümesi,
2) mikro boşlukların birleşmesi,
3) ikinci faz partiküllerinin birleşmesi,
4) mikro boşlukların birleşmesi
5) ikinci faz parçacıkları yüzey altında oluşan mikro çatlakların sebebi olduğunu söylemişlerdir.

Tiwari ve ark. (2014), çalışmasında cenosphere ve barit içerikli numunelerin üretimini yaparak mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine çalışmıştır. Barit içerikli numunelerin porozite ve yoğunluk değerleri Cenosphere içeren numunelere göre daha yüksektir.

TS 555 (1992), karayolu taşıtlarının sürtünmeli fren sistemlerinde kullanılan balataların sınıf, özellik, muayene, numune alma ve yapılacak olan deneylerin yanı sıra piyasaya sunuş şekline dair en kapsamlaı Türk Standardıdır.

Bu standartta;

- Boyut muayenesi- Sürtünme katsayısı- Yoğunluk- Özgül aşınma
- Yağ, fren sıvısı, su ve tuzlu suya dayanım- Genleşme(kampana)
- Pah- Özgül aşınma- Yüzey düzgünlüğü ve pürüzlülük
- Sertlik değeri- İç kesme dayanımı- Esneklik- Eğilme- Isı geçirgenliği
- Sıkıştırılabilirlik- Yanma kaybı- Kesme kuvveti- Kalınlaşma
- Korozyon sebebiyle demir yüzeylere tutunma
- İşaretleme ve ambalajlama özellikleri ve bu özellikler için yapılacak deney şartları yer alır.

TS 9076 (1991), fren balatalarındaki sürtünme özellikleri için küçük deney numuneleri ile değerlendirilmesini içeren deney metodu üzerine bir standarttır.

Wahlström ve ark. (2011), pin on disk modelinde aşınma testindeki aşınma sonrası çıkan tozları inceleme üzerine çalışmışlardır. 7,5 m/sn'lik bir kayma hızı elde etmek için 3000 rpm'lik sabit bir hızda sistemi çalıştırarak, 0,4 MPa (aracı yavaşlamaya yönelik fren) basınç uygulayarak test etmişlerdir. Test sırasında açığa çıkan aşınma tozları, hava yardımıyla bir hazne içerisine toplayarak analiz etmişlerdir.

Yawas ve ark. (2016), çalışmalarında, 5 farklı toz boyutunda deniz salyangozu kabuğu kullanmışlardır. Deney sonucunda küçük tane boyutu ile yapılan numunenin en iyi değerleri verdiğini gözlemlemişlerdir. Daha sonrasında bu numune ile ticari balatayı karşılaştırınca ticari balatadan daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde balata içeriği, numune seçimi, numune üretim sistemi ve test yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmalarda üretim metodu, numune hazırlamada kullanılan malzemeler ve kullanılan cihazlar tanıtılmıştır. Daha sonra üretilen numunelerin sürtünme katsayısı ve yağlayıcılık özelliklerini belirlemek için kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.

3.1. Malzeme Seçimi

Fren balataları birçok farklı birleşenden oluşan bir kompozit yapı olup, her bileşenin yapı içerisinde kendine ait bir görevi bulunmaktadır. Balata yapısını oluşturan temel malzemeler;

- dolgu malzemesi,
- takviye malzemesi,
- bağlayıcılardır.

Birçok çalışmada farklı malzemeler farklı oranlarda kullanılmıştır. Aras,2019 çalışmasında oluşturduğu Çizelge 3.1'de kullanılan başlıca ürünleri ve kullanım oranlarını özetlemektedir.

Bunlara ilave olarak renklendiriciler, aşındırıcılar, sürtünme düzenleyiciler, temizleyiciler ve katı yağlayıcılar gibi malzemeler balata özelliklerini iyileştirmek için tercih edilebilir (Bijwe, 1997). Bu çalışmada dolgu malzemesi, takviye malzemesi, sürtünme düzenleyici, katı yağlayıcı, bağlayıcı malzemeler olmak üzere 5 yapı kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Balata üretiminde kullanılan malzemeler ve kullanım oranları (Aras, 2019)

Malzemeler	**İçerikteki Oranı %**			**Malzemeler**	**İçerikteki Oranı %**		
	Min.	**Ort.**	**Maks.**		**Min.**	**Ort.**	**Maks.**
Alçı	8,06	13,93	15,00	Kauçuk Tozu	1,82	3,57	10,00
Alüminyum Oksit	0,50	3,13	5,00	Kevlar	5,00	9,89	30,00
Antimon Sülfit	0,50	3,25	4,00	Kizelgur, diatomit	10,00	10,00	10,00
Aramid	2,50	8,81	30,00	Kok Kömürü	4,24	8,75	18,00
Bakır Tozu	2,00	17,09	75,00	Kolemanit	4,00	12,00	20,00
Barit (Baryum Sülfat)	4,85	27,62	60,00	Kurşun	7,52	8,12	8,67
Basarit	10,00	29,05	52,70	Kurşun sülfür	8,00	8,00	8,00
Bazalt	3,00	18,17	40,00	Kuvars	0,50	3,44	8,00
Bor Nitrürü	2,00	6,25	10,00	Kükürt	0,01	0,01	0,01
Borax	4,00	12,00	20,00	Lapinus Fiber	10,00	14,25	27,50
Borik Asit	4,00	12,00	20,00	Lastik Tozu	2,00	2,00	2,00
Bronz	4,00	43,93	90,00	Magnezyum Oksit	5,00	5,00	5,00
Cam Elyafı	0,00	17,02	30,00	Mermer Tozu	43,00	49,00	55,00
Cashew particle	4,00	8,62	20,00	Molibden disülfit	1,00	3,85	8,00
Cellulose	3,00	17,17	30,00	PAN	3,00	3,00	3,00
Cenosphere	35,00	45,83	60,00	Fenolik Reçine	5,00	19,12	45,00
Çay Elyafı	13,86	22,95	30,00	Pik Tozu	10,00	15,67	35,00
Çelik Yünü	3,70	13,12	51,12	Pirinç Fiber	4,00	10,80	20,00
Çinko	0,50	2,50	4,00	Pirinç Talaşı	1,00	2,31	3,00
Çinko Sülfür	4,00	4,00	4,00	Pirinç Tozu	2,00	4,65	12,73
Demir Tozu	4,00	10,52	25,00	Potasyum Titanate	0,00	15,59	30,00
Diatomit	2,00	5,00	8,00	Sedir	4,00	12,00	20,00
Fe2O3	4,00	4,00	4,00	Sepiyolit (Lületaşı)	0,50	15,23	41,00
Fiberfrax	10,00	14,72	30,00	Seramik Fiber	4,00	16,00	30,00
Flax (Keten)	3,00	4,50	6,00	Silisyum Dioksit	2,00	4,00	5,00
Flyash	55,00	65,69	76,00	Silisyum Karbür	3,00	4,13	6,00
Grafit, Alümina	8,00	10,46	12,00	Talk	5,00	22,27	45,96
Granit	2,00	8,00	14,00	Tanen	3,00	4,14	5,00
Graphite	1,00	5,27	15,00	Taş Yünü	5,00	17,36	40,00
Kalay	5,00	7,48	10,05	Tungsten disulfide	0,00	7,50	15,00
Kalsiyum hidroksit	1,00	2,24	4,00	Üleksit	4,00	12,00	20,00
Kalsiyum Karbonat	7,00	9,51	13,32	Vermikülit	5,00	7,33	10,00
Karbon	2,67	23,24	40,00	Wollastonite	8,00	8,00	8,00
Karbon Elyaf	3,00	12,67	25,00	Zirkenyum Silikat	0,50	4,00	6,00

3.1.1. Dolgu malzemeleri

Dolgu malzemesi genel olarak balata yapısındaki en yüksek ağırlıkça yüzde oranına sahip materyaldir. Bu yüzden kullanılacak olan malzemenin;

- maliyeti düşük
- korozyon direnci yüksek,
- mukavemeti yüksek
- sürtünme özelliklerini bozmayacak ve hatta sürtünme katsayısını düzenleyecek özelliklerde olması istenmektedir.

Balatalar da dolgu malzemesi olarak; barit, kalsit, midye kabuğu tozu, salyangoz kabuğu tozu, yengeç tozu vb. maddeler kullanılmaktadır. Bu malzeme çeşitlerinden

çalışmalarda en yaygın olanları başta barit ve alternatif olarak kalsit gelmektedir (Aras, 2019). Bu çalışmada da dolgu malzemesi olarak barit tercih edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Barit tozu

Barit, baryum sülfattan ($BaSO_4$) oluşan bir mineraldir. Aynı zamanda bu mineral, baryum elementi ve yanı sıra bileşiklerinin ana kaynağıdır (Koca, 2011). Tez çalışmasında dolgu malzemesi olarak kullanılan sondaj bariti diye adlandırılan barit, Barit Maden Türk A.Ş. tarafından temin edilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Baritin teknik özellikleri

Teknik Özellik	**Değer**
Yoğunluk (g/cm3)	4,0 – 4,2
Sertlik (Moh's)	3 – 3,5
Nem (maks. %)	0,1
Tane Boyutu (Maks.µm)	310
Yağ Emme Değeri(ml/100g)	15 - 16

3.1.2. Takviye malzemeleri

Balatalarda takviye elemanı olan karbon fiber, cam fiber, metal, kevlar, asbest, çeşitli mineral ve seramik fiberler, balatanın dayanımını arttırmak amacıyla kullanılmıştır (Luo ve ark., 2010). Asbestin balata aşınmaları sonucunda açığa çıkan gazın atmosfere karışarak solunum yoluyla akciğere girerek ciddi sağlık sorunlarına ve dahası akciğer kanserine yol açtığı görülmüştür (Gemalmayan, 1984). İnsan sağlığını olumsuz etkilediği için asbest 1980'li yıllarda dünya sağlık örgütü tarafından yasaklanmıştır. Takviye malzemeler, frenleme esnasındaki sürtünme ve aşınma karakteristiğine etki etmektedir. Bu karakteristik, balatanın performansı için önemli bir role sahiptir. Bu çalışmada takviye malzeme olarak cam elyaf seçilmiştir.



Şekil 3.2. Cam elyaf

Cam elyaflarının yaygın olarak bilinen 3 tipi vardır. E camı boron silikat, S camı alüminyum ve magnezyum silikat ve C camı kalsiyum borosilikat içerir . Bu üç elyaf türü de direnç gösterdikleri özelliklere göre isimlendirilmişlerdir.

- E cam elyaf: Elektriğe karşı dirençli
- S cam elyaf: Kuvvetlere karşı dirençli
- C cam elyaf: Korozyona karşı dirençli

Kompozit çalışmalarında yaygın olarak E tipi cam elyaflar kullanılır. Tez çalışmasında takviye malzemesi olarak kullanılan kırpılmış cam elyaf, Şişecam (Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş) tarafından temin edilmiştir (Şekil 3.2). PH2 kodlu cam elyaf fenolik balata üretimi için tasarlanmıştır (Çizelge3.3).

Çizelge 3.3. E-cam elyaf teknik özellikleri

Teknik Özellik	**Değer**
Yoğunluk (g/cm3)	2,54
Sertlik (Moh's)	6,5
Kırpılma boyu (mm)	3-4,5
Nem (maks. %)	0,07
Elyaf Çapı (Maks.µm)	13
Reçine Uyumu	Fenolik

3.1.3. Bağlayıcı malzemeleri

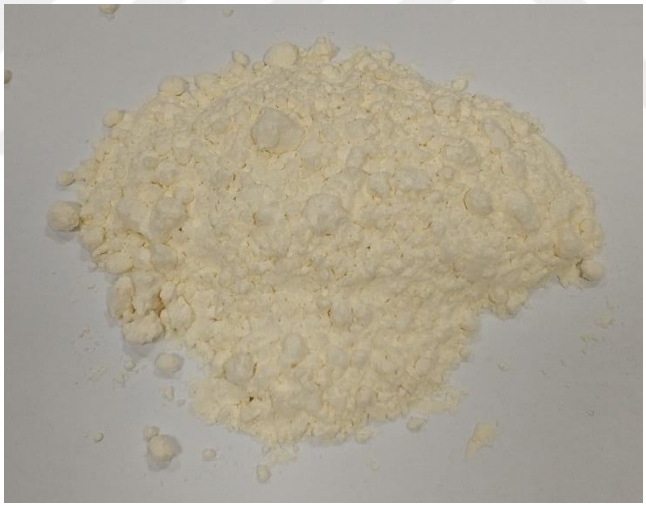
Fenolik reçine genellikle, fenol ve formaldehitten üretilir. Fenolik reçineler ısı ve basınç altında kalıplama yapıldığında, iyi ısıl ve kimyasal direnç, iyi boyutsal kararlılık, iyi elektrik kuvveti ve düşük maliyet özellikleri ön plana çıkmaktadır. Termoset reçine grubundan olan fenolik reçine yüksek basınç altında ve yaklaşık 140-180 ºC

sıcaklıklarında kürlenir (Sulaiman ve ark., 2008). Fenolik reçinenin iki ana çeşidi vardır. Bunlar:

Birinci tip fenolik reçine: resol diye adlandırılan bu reçine, bir mol fenolün, bir mol formaldehit ile reaksiyona sokularak üretilir. Bazik katalizör kullanılır. Reçineyi sertleştirmek için sadece ısı kullanılır (formaldehit / fenol molar oranı 0,9'dan büyük).

İkinci tip fenolik reçine: novalak diye adlandırılan bu reçine, her bir mol fenole karşı bir molden daha az formaldehit ile reaksiyona sokularak üretilir. Asit katalizör kullanılır (formaldehit / fenol molar oranı 0,9'dan küçük).

Fenolik reçine, üretilirken asit katalizör kullanılmış ve formaldehit / fenol molar oranı 0,9'dan küçükse novolak olarak, eğer reçine üretilirken alkali katalizörle kullanılmış ve formaldehit / fenol molar oranı 0,9'dan büyük ise resol olarak iki ana çeşide ayrılmaktadır. Novolakların reçine sentezinde oksalik ve sülfürik asit kullanılırken resol reçinelerde ise potasyum, lityum, hidroksit, baryum, kalsiyum ve sodyum elementlerinin hidroksitleri veya alifatik aminleri kullanılır (Issoupov ve ark., 2001).



Şekil 3.3. Fenolik reçine resmi

Tez çalışmasında bağlayıcı olarak tercih edilen Şekil 3.3'deki fenolik reçine, Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'den temin edilmiştir. Çukurova kimyanın ÇK 82790 kodlu ürünü, özellikle otomotiv sektörünün disk ve kampana balatası için üretilen toz novalak reçinedir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Fenolik reçine teknik özellikleri

Teknik Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm^3)	1,2
Fenol Miktarı (maks. %)	0,5
Granül Boyutu (Maks.µm)	63
Yumuşama Sıcaklığı(^{o}C)	94

3.1.4. Sürtünme düzenleyici malzemeler

Sürtünme düzenleyici malzemeler adından da anlaşılacağı üzere balatanın sürtünme katsayısını düzenleyen malzemelerdir. Sürtünme katsayısını arttırmaya yönelik abrasif olanlar olan malzemelere aşındırıcılar, abrasif olmayanlar ise yağlayıcılar diye adlandırırlar.



Şekil 3.4. Zeytin çekirdeği tozu

Aşındırıcı bileşenler sürtünme esnasında yüzeyler arasında kalan tozları uzaklaştırmayı sağlar. Literatürlerde karşılaşılan en yaygın aşındırıcılar; alimünyum oksit, çinko oksit, pirinç, bakır oksit, kurşun, kalay, molibden oksit, potasyum titanat, metal tozları, silika gibi malzemelerdir. Bunların dışında kaju kabuğu, andız kabuğu tozu gibi organik malzemelerde kullanılmıştır. Bu çalışmada sürtünme düzenleyici olarak Şekil 3.4'te toz hali verilen zeytin çekirdeği tozu (ZÇT) kullanılmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Zeytin çekirdeği tozunun fiziksel özellikleri

Teknik Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm^3)	1,27
Meyvedeki çekirdek oranı (%)	13-30
Yağ oranı (maks. %)	0,7
Granül Boyutu (Maks.µm)	510

3.1.5. Katı yağlayıcı malzemeleri

Teorikte bir sürtünme düzenleyici olan katı yağlayıcılar, sürtünme katsayısını düşürürken sürtünme filmi adı verilen tabakayı oluşturur. Sürtünme filmi,

- yüksek sıcaklıklarda sürtünme katsayısını kararlı olmasını sağlama,
- balata-disk arasındaki aşınma kontrolünü sağlama,
- frenleme esnasındaki gürültüyü azaltma,
- vibrasyonu sönümleme,

gibi faydaları da bulunmaktadır (Mutlu ve Öner, 2002). Literatürde genellikle kullanılan katı yağlayıcılar; grafit, molibden disülfit, bronz, kaju, kauçuk olduğu görülmektedir. Bu çalışmada katı yağlayıcı olarak grafit kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Grafit

Siyah renk bıraktığı için karataş diye adlandırılan Grafit, yumuşak ve yağlı yapıdadır (Şekil 3.5). Günlük hayatta çok kullandığımız kurşun kalemler grafitten yapılmaktadır. Ayrıca grafit, yağ haline getirildikten sonra makinelerde, birbirine sürterek çalışan parçaların aşınmasını azaltmak ya da engellemek için yağlayıcı olarak kullanılmaktadır (Çizelge3.6).

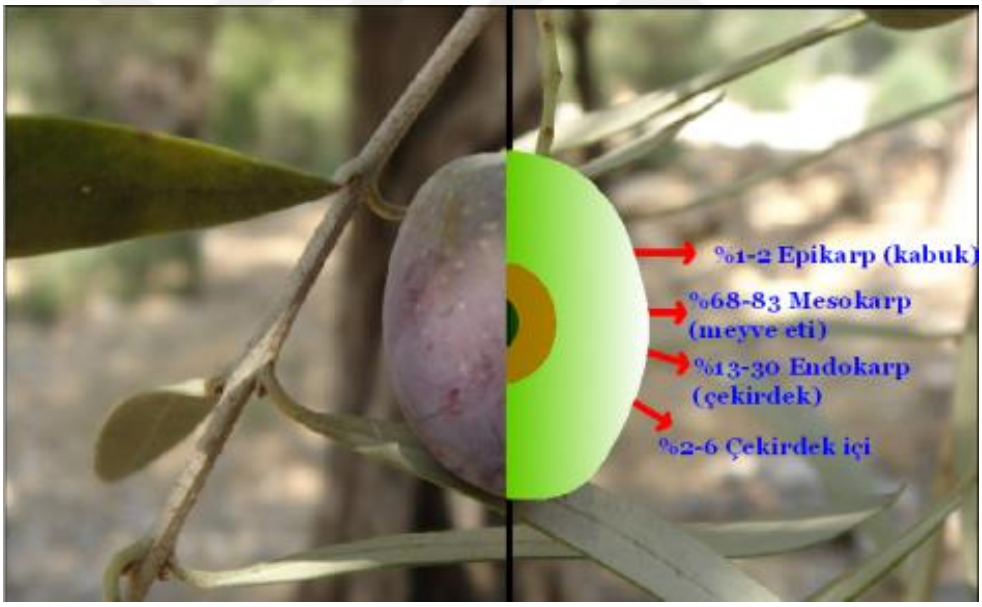
Çizelge 3.6. Grafit fiziksel özellikleri

Teknik Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm^3)	2
Sertlik (Moh's)	1
Erime Sıcaklığı (^{o}C)	3927

Çalışmanın bir kısmında katı yağlayıcı olarak grafit, bir kısmında da zeytin çekirdeği tozu kullanılacaktır.

3.1.6. Zeytin çekirdeği tozu

Genellikle Akdeniz ülkelerinde yetiştirilen zeytin, ülkemizde Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Ege ve Marmara bölgesinde yaygın bir tarım ürünüdür. 10 metreyi bulan boyları, herdem yeşil yaprağı olan uzun ömürlü (yaklaşık 2000 yıl) bir ağaçtır. Zeytin; kabuk, meyve (etli kısım), çekirdek ve çekirdek içinden oluşmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Zeytin katmanları

Bol miktarda bitkisel protein, yağ, A, C, E vitaminleri ile kalsiyum, fosfor, kükürt, klor, magnezyum gibi mineraller bulunduran zeytin;

- kahvaltılarda yeşil ve siyah olarak yenilmekte,
- yaprak veya gövdesi sağlık sektöründe (ateş düşürücü, idrar sötürücü şeker hastalığı vb.)
- dermokozmetik amaçlı,

- yemeklik yağ olarak,
- sıkılma işlem sonrası artan posası yakacak olarak,
- Hastalıklı zeytinden sıkılan yağ eski zamanlarda kandil yakacağı olarak kullanılmaktadır.

Zeytin yeşil ve siyah hallerde tüketildiği gibi sıkılarak elde edilen yağı da başta yemekler olmak üzere sağlık ve kozmetik alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Zeytinin sıkılması işlemi sonucunda ağırlıkça yaklaşık %15-30 civarında yağ çıkmakta ve geriye kalan kısımdan (çekirdek, kabuk ve etli kısmın posasından oluşan) piriva adı verilen bir katı atık meydana gelmektedir (Kılıç, 2011). Pirina, enerji üretmek için yakıt olarak kullanılmaktadır. Ancak hava kirliliği ve kokusu açısında çevresel problemler teşkil etmekte ve farklı alanlarda değerlendirme üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Erol, 2011).

Çizelge 3.7. Zeytinin fiziksel özellikleri

	Yeşil Zeytin	**Siyah Zeytin**
Enerji (kalori)	144	207
Yağ (g)	13,5	21
Karbonhidrat (g)	2,8	1,1
Protein (g)	1,5	1,8
Kalsiyum (mg)	90	77
Demir (mg)	2	1,6
A Vitamini (ünite)	300	60
Sodyum (mg)	14	16
Potasyum (mg)	26	30
Mağnezyum (mg)	17.4	21.8
Lif (g)	3	4
Kolesterol	0	0

Değerler 100 g içindir.

Pirinaların yapısı incelendiğinde içerisinde ham selüloza ve fenolik bileşiklere rastlanmıştır (Keser ve Bilal, 2010). Zeytin pirinası ile yapılan bir başka çalışma da hayvansal yem ve yüksek kaliteli gübre olarak kullanımıdır. (Akgun ve Doymaz, 2005). Ayrıca lif ve lignin içeriği fazla olan pirinanın, yüksek organik madde aynı zamanda yağ bulundurması birçok alanda kullanılabilir olabileceğinin ispatıdır. Bu sayede ekonomiye geri döndürülebilir bir yan ürün olduğunu gösterir (Yılmaz, 2015).

Çalışma da kullanılan zeytinler Marmara denizi kenarındaki Kapıdağ bölgesinden toplanmıştır. Etli kısımları temizlendikten sonra ortaya çıkan zeytin çekirdekleri 3 ay süre boyunca güneş altında doğal olarak kurutulmuştur. Kurutma işlemi ne kadar uzun olsa da çekirdek yapısında bulunan az miktarda yağın yok edilmesi mümkün değildir. Bu yüzden

çalışmanın genelinde zeytin çekirdeği tozunun sürtünme düzenleyici olarak abrasif etkisi değerlendirilecek, son aşamasında ise katı yağlayıcı özellik incelenecektir.

3.2. Numune Bileşiminin Belirlenmesi

Numune belirlenirken öncelikle literatürlerde tercih edilen malzemeler değerlendirilip, kullanım, performans ve temin kolaylığına göre değerlendirilmiştir. Seçilen malzemeler ve sebeplerini şu şekildedir:

- dolgu malzemesi olan barit balatalarda yaygın olarak kullanılmasından dolayı,
- takviye malzemesi olan cam elyaf temin kolaylığı ve yaygın olarak kullanılmasından dolayı,
- katı yağlayıcı olan grafit çok iyi yağlayıcı özelliğe sahip olmasından dolayı,
- fenolik reçine temin kolaylığı ve cam elyaf ile uyumluluğunda dolayı tercih edilmişlerdir.

Malzemelerin oranları belirlenirken iki temel araştırma ön plana çıkmıştır. Birinci araştırma ZÇT'nun abrasif aşındırma etkisi ile sürtünme düzenleyici olarak kullanılması sonucunda sürtünme katsayısına etkisi, ikinci araştırma ise ZÇT yağlılık oranından dolayı katı yağlayıcı olarak kullanılarak yağlayıcı etkisi incelenmiştir.

Çizelge 3.8. Birinci araştırma oranları (ZÇT sürtünme düzenleyici)

Fonksiyon	Malzeme	% Ağırlıkça
Dolgu Malzemesi	Barit	55-35
Takviye Malzemesi	E-Cam Elyaf	20
Bağlayıcı	Fenolik Reçine	20
Katı Yağlayıcı	Grafit	5
Sürtünme Düzenleyici	Zeytin Çekirdeği Tozu	0-20

ZÇT'nun sürtünme düzenleyici olarak kullanıldığı numunelerde 4 kombinasyon ve 3 tekrar olacak şekilde çalışma yapılmıştır. Öncelikle referans numune olarak ZÇT'nin hiç kullanılmadığı numune tercih edilmiştir. Bu sayede ZÇT katıldığı zaman sürtünme katsayısında nasıl bir değişime sebep olduğu görülecek ve hem fiziksel hem de matematiksel olarak referans numune ile karşılaştırılabilecektir. Daha sonra takviye, bağlayıcı ve katı ağlayıcı oranları sabit tutularak ZÇT %5, %10 ve %20 olacak şekilde numuneler oluşturulur (Çizelge 3.8). ZÇT ilave edilirken aynı oranlarda dolgu malzemesi olan barit (sırasıyla ağırlıkça %50, %45 ve %35 barit oranları) azaltılır.

Çizelge 3.9. İkinci araştırma oranları (ZÇT Katı yağlayıcı)

Fonksiyon	Malzeme	% Ağırlıkça
Dolgu Malzemesi	Barit	55
Takviye Malzemesi	E-Cam Elyaf	20
Bağlayıcı	Fenolik Reçine	20
Katı Yağlayıcı	Grafit	5-0
Katı Yağlayıcı	Zeytin Çekirdeği Tozu	0-5

ZÇT'nun katı yağlayıcı olarak kullanıldığı numunelerde 2 kombinasyon ve 3 tekrar olacak şekilde çalışma yapılmıştır (Çizelge 3.9). Öncelikle referans numune olarak ZÇT'nin hiç kullanılmadığı numune tercih edilmiştir. Bu sayede ZÇT katıldığı zaman katı yağlayıcı olarak etkisi anlaşılacaktır. Referans numune ile karşılaştırılacaktır.

Çizelge 3.10. Numunelerin içerik oranları

Malzeme	**Numunelerdeki malzemelerin miktarları (% ağırlıkça)**					
ZÇT Rolü	**Sürtünme Düzenleyici**				**Katı Yağlayıcı**	
Numune Kodu	Z0B55G5	Z5B50G5	Z10B45G5	Z20B35G5	Z0B55G5	Z5B55G0
Barit	55	50	45	35	55	55
E-Cam Elyaf	20	20	20	20	20	20
Fenolik Reçine	20	20	20	20	20	20
Grafit	5	5	5	5	5	0
ZÇT	0	5	10	20	0	5

Birinci araştırmada 4 kombinasyon ve ikinci araştırmada 2 kombinasyon olmak üzere toplamda 6 kombinasyon gibi görünse de her iki araştırmanın referans numunesi olan Z0-B55G5, aynı oranlardan (%55barit, %20elyaf, %20fenolik reçine ve %5grafit) oluşmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada 5 kombinasyon ve 3'er tekrar olacak şekilde numune hazırlanmasına karar verilmiştir (Çizelge 3.10).

3.3. Üretim Aşamaları

Balataların performansına içerisindeki malzemelerin etkisinin yanı sıra üretim parametrelerinin de önemli ölçüde etkisi bulunmaktadır. Presleme esnasındaki sıcaklık, sıcaklık süresi, basınç, sinterleme, malzemelerin karıştırılma şekli, karıştırılma süresi vb. parametreler çeşitli ölçülerde performansa etki etmektedir. Literatürlere karşılaşılan başlıca parametreler:

- Toz boyutu: maks. 1 mm
- Elyaf boyutu: 2-40 mm
- Presleme Basıncı:1-500 MPa

- Presleme şekli: sıcak, soğuk, soğuk+sıcak
- Presleme süresi:2,5-20 dk
- Presleme sıcaklığı: oda sıcaklığı-190°C
- Karıştırıcı tipi: Bıçaklı mikser, bilyeli döner değirmen, turbula T2C, döner kollu (8'li), I ve V tipi karıştırıcı
- Karıştırma şekli: tek seferde, kademeli
- Karıştırma süresi:1-30 dk
- Beraber karıştırılan numune adeti:1-5

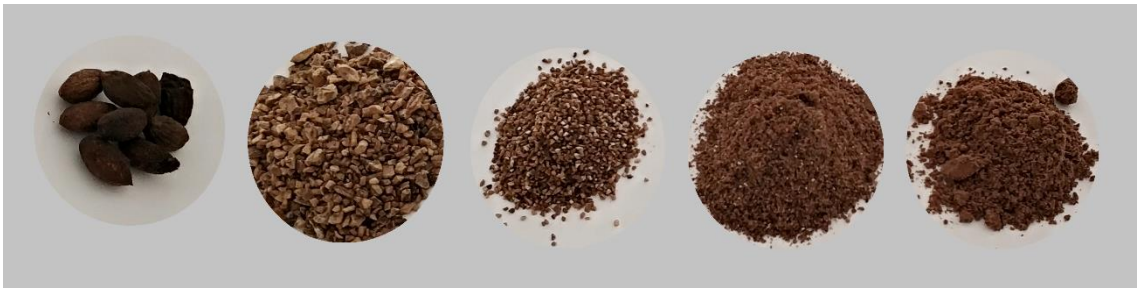
Tüm bu parametreler içerisinde karıştırma yöntemi, presleme ve sinterleme olduğu görülmüştür (Aras, 2019). Bu çalışmadaki numunelerin üretiminde de bu parametreler göz önünde bulundurularak üretim parametrelerine karar verilmiştir (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11. Üretim paramereleri

Parametre	**Seçim**
Toz Boyutu	> 1 mm
Elyaf Boyutu	3 mm
Karıştırıcı Tipi	Gezegensel tip
Karıştırma Süresi(reçinesiz)	15 dk
Karıştırma Süresi(toplam)	17 dk
Presleme Sıcaklığı	160 ºC
Presleme Basıncı	450 MPa
Presleme Süresi	15 dk
Presleme Yöntemi	Sıcak presleme
Presleme Çeşidi	Tek yönlü presleme

3.3.1. Öğütme

Numuneyi içerisindeki elyaf haricindeki barit, grafit ve reçine toz halinde temin edilmiştir. ZÇT için zeytin çekirdeklerinin öğütülmesi gerekmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Zeytin çekirdeğinin öğütme denemelerindeki değişimi

Bu öğütme işlemi için çeşitli denemeler sonucunda ideal öğütme yöntemine karar verilmiştir (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12. Öğütme denemeleri

No	Öğütme Denemeleri	Açıklama	Devir	Süre (s)	Sonuç
1	Gezegensel Tip	Zeytin çekirdeği iri parçalar halinde 5:1 bilye oranı	150	300	Öğütülemedi
2	Gezegensel Tip		150	900	Öğütülemedi
3	Gezegensel Tip		450	900	Öğütülemedi
4	Gezegensel Tip	Zeytin çekirdeği iri parçalar halinde 10:1 bilye oranı	150	300	Öğütülemedi
5	Gezegensel Tip		150	900	Öğütülemedi
6	Gezegensel Tip		450	900	Yetersiz öğütme
7	Gezegensel Tip	Zeytin çekirdeği havanda dövülerek ufaltıldı 10:1 bilye oranı	150	900	Yetersiz öğütme
8	Gezegensel Tip		300	900	Yetersiz öğütme
9	Gezegensel Tip		450	900	Yetersiz öğütme
10	Bıçaklı mikser	Zeytin çekirdeği iri parçalar halinde	1000	300	Öğütülemedi
11	Bıçaklı mikser	Zeytin çekirdeği havan içerisinde dövülerek ufaltıldıktan sonra	1000	300	Yetersiz öğütme
12	Bıçaklı mikser		1000	600	Haznede deformasyon görüldü
13	Halkalı Değirmen	Hazneye tek seferde 50-70 gr zeytin kapasiteli	400	40	Başarılı (%100 Öğütme)

*Öğütülmedi: Zeytin çekirdeklerinde hiç parçalanmanın olmadığı durumdur.
**Yetersiz öğütme: Zeytin çekirdekleri parçalanmış ancak çalışmadaki <1 mm değerinin üzerinde parçalara ayrıldığı için öğütme yeterli görülmediği durumdur.
***Başarılı: Zeytin çekirdeği öğütüldüğünde 1mm den küçük tozların elde edildiği durum belirtilmiştir.

Zeytin çekirdeklerinden 50-70 g'lık gruplar halinde halkalı değirmene yerleştirilip 40 s 400 rpm devirde öğütme işlemi yapılarak, değirmen içerisindeki tüm çekirdekler toz haline getirilmiştir (Şekil 3.8). Halkalı değirmende toz haline getirilen zeytin çekirdek tozları titreşimli elek yardımıyla maks 1000 µm min. 63 µm olmak üzere 9 farklı boya ayrılmıştır.



Şekil 3.8. Halkalı değirmen öğütme öncesi (sol) ve öğütme sonrası (sağ)

Literatürlerde genellikle 1mm'den küçük numune tozları kullanılmaktadır. Elekten geçirilen zeytin çekirdeği tozlarının 1mm'den küçük olanları kendi içerisinde boyutlara ayrılmış ve 710-500 µm arası boyuttaki zeytin çekirdeği tozları kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Titreşimli elek makinası

3.3.2. Karıştırma

Lieratürlerde birçok farklı kritere göre karıştırmalar yapılmaktadır. Bu kriterlerin incelenip ve bazı parametrelere göre denemeler yapılıp numuneler hazırlanmıştır.

Fenolik reçine 94 ^{o}C ‘de yumuşamaya başlamaktadır. Karıştırma işlemi esnasında ortamın ısınması reçinenin de yumuşamasına sebep olmaktadır. Yumuşayan reçine topaklanmaya sebep olmaktadır. Bu yüzden kademeli karıştırma yöntemi tercih edilmiştir. Cam elyaf ve tozlar belirli bir süre karıştırıldıktan sonra reçine ilave edilip kısa bir süre daha karıştırılır.

Çizelge 3.13. Üretim parametreleri

Karıştırma Denemeleri	Açıklama	Devir	Süre	Sonuç
Gezegensel Değirmen	15 bilye	150	5	Karıştırılamadı
Gezegensel Değirmen	15 bilye	300	5	Elyaf hasarı görüldü
Gezegensel Değirmen	15 bilye	450	5	Elyaf hasarı görüldü
Gezegensel Değirmen	10 bilye	150	5	Karıştırılamadı
Gezegensel Değirmen	10 bilye+metanol	150	10	Karıştırılamadı
Gezegensel Değirmen	10 bilye	450	5	Elyaf hasarı görüldü
Gezegensel Değirmen	7 bilye	150	10	Başarılı karıştırma
Gezegensel Değirmen	7 bilye	150	15	Karıştırılamadı
Gezegensel Değirmen	7 bilye	300	5	Elyaf hasarı görüldü
Bıçaklı Mikser	-	1000	10	Yeterli karıştırılamadı
Bıçaklı Mikser	-	1000	15	Başarılı karıştırma

Fenolik reçine hariç diğer malzemeler arasında yapılan karıştırma kombinasyonlarından ideal süre olarak 15 dk tercih edilmiştir. Bu 15 dk’lık karıştırma sonrası sisteme eklenen reçine için 2 dk daha sistem karıştırılarak numune hazır hale getirilmiştir (Çizelge 3.13).

Metalurji ve malzeme mühendisliği bünyesinde bulunan gezegensel değirmen ve bıçaklı karıştırıcı ile yapılan 15 dk karıştırma işleminden başarılı sonuç alınmış lakin bıçaklı karıştırıcının haznesinin büyük olması ve ısınma sorunu gözlemlenmiştir. Karıştırma şekli olarak gezegensel değirmen kullanımına karar verilmiştir.

Karıştırma haznelerinde birkaç numunenin bir arada veya her numunenin ayrı ayrı karıştırıldığı çalışmalar vardır. Birkaç numunenin aynı anda karıştırılması sonucunda tekrar pay edilirken hedeflenen numune içerisindeki malzemelerin ağırlıkça oranlarını tam sağlanamayacaktır. Bu yüzden her numune kendi içerisinde karıştırılmasının daha uygun olacağına karar verilmiştir.



Şekil 3.10. Karıştırma işlemi sonrası hazne içerisinde numune tozları ve bilyeler

Bilyeli karıştırıcı içerisindeki değişik bilye adetleri (7-10-13-15 bilye) ve devirlerde (150-250-300-450 devir/dk) denemeler yapılmıştır (Şekil 3.10). Bu denemelerin bazılarında malzemeler topaklanmış (Şekil 3.11) bazılarında ise elyaf parçalanmıştır. Devrin 150 devir/dk bilye sayısı 7 olan durumun ideal olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 3.11. Topaklanmış malzeme resmi

Karıştırma parametreleri kesinleştikten sonra tüm malzemeler Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan 0,001 g hassasiyete sahip Precisa XB-220A marka hassas terazi ile yapılmıştır. Numuneler toplamda 10 g olarak ayarlanmış olup ağırlıkça yüzdelerine göre tartılarak karışıma hazırlanmıştır.

Gramlarına göre hazırlanan malzemeler bilyeli karıştırıcı içerisine alttan üste doğu sırayla cam elyaf, barit, grafit, zeytin çekirdeği tozu ve bilyeler olacak şekilde hazne

içerisine dökülüp karıştırma işleminin ilk aşaması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 15 dk'lık karıştırma bitince hazne içerisine fenolik reçine ilave edilmiş ve 2 dk'lık olan karıştırmanın ikinci aşaması gerçekleştirilmiştir. 17dk'lık karıştırma süresi tamamlanınca numune tozları hazneden alınarak numune poşetlerine konularak presleme için hazır hale getirilmiştir.

3.3.3. Presleme

Bu çalışmanın numune üretimdeki son safhası olan presleme işlemi ile ilgili, literatür araştırması sonucunda, çalışma amacına yönelik ekipmanlarla presleme düzeneği oluşturulmuştur. Presleme işleminde kullanılan ekipmanlardan bazıları laboratuvar bünyesinde hazır bulunurken bazıları da çalışmaya uygun olarak imal edilmiştir. Presleme işlemi sırasında kullanılan ekipmanlar şunlardır;

- 1 adet dişi kalıp
- 2 adet erkek kalıp
- 1 adet numune çıkarıcı zımba
- 4 adet fişek rezistans
- Çift etkili pres
- 1 adet termokupl
- 1 adet sıcaklık kontrol panosu
- 1 çift ısıya dayanıklı eldiven

Pres

Çalışmalarda Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Merkezi Laboratuvarda bulunan Şekil 3.12'de gösterilen 150 tonluk çift etkili pres kullanılmıştır. Pres basınç kilitleme valfli olup numune üretiminde alt pres belirli bir konumda sabitlendikten sonra üst pres ile numune sıkıştırılmıştır.



Şekil 3.12. Pres

Sertlik numunenin her yerde eşit olabilmesi için çift etkili pres tercih edilmiştir. Çünkü literatürde tek yönlü pres ile yapılan numune imalatlarında sertlik değerinin numunenin sıkıştırma yüzeyinden uzaklaştıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Preste bulunan basınç kilitleme valfi ile sistem istenilen basınca ulaşıldığında valf kapanır ve bu sayede sabit basınç altında sistemin sürekli çalıştırılmasına gerek yoktur.

Kalıplar

Numune imalatı için iki adet erkek kalıp ile bir adet dişi kalıp kullanılmıştır. Mevcut dişi kalıba uygun erkek Kurşunel Çelik firmasında imal ettirilmiştir. Tasarımlar ve malzeme seçimleri özellikle ileriki çalışmalara yönelik olarak yüksek sıcaklık ve basınç altında yapılacak olan çalışma şartlarına uygun seçilmiştir. Bu nedenle Qro-90 sıcak iş takım çeliği tercih edilmiştir. Qro-90'nın iyi mekanik özelliklerinin yanı sıra aşınma dayanımı yüksektir. Erkek ve dişi tüm kalıplara ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem sonrası kalıp yüzeylerinin sertlik değerleri 50 Rc olarak ölçülmüştür.



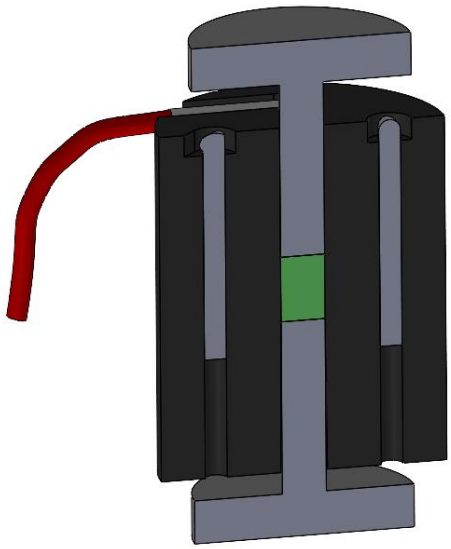
Şekil 3.13. Erkek ve dişi kalıp resmi

Kalıp yapılırken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise çalışma boşluğudur. Dişi ve erkek kalıplar arasında 0,1 mm çalışma boşluğu bırakılmıştır (Şekil 3.13). Metal içerikli numunelerde çalışma boşluğu 0,5 mm civarına kadar çıkmaktadır (Salur, 2017). Ancak balata polimer içerikli bir yapıda olduğu için sıkıştırma esnasında reçinenin erkek ile dişi arasına sızmaması için çalışma boşluğu olabildiğince az bırakılır. Basılan numune kalıbın alt kısmından çıkmaktadır. Alt kısımdan rahat bir şekilde çıkabilmesi için dişi kalıbın içerisine hafif bir koniklik verilmiştir. Dişi kalıbın üstten alta doğru 0,85 mm‘lik bir çap büyümesi yapılmıştır.



Şekil 3.14. Solidworks ortamındaki çizimin montaj resmi

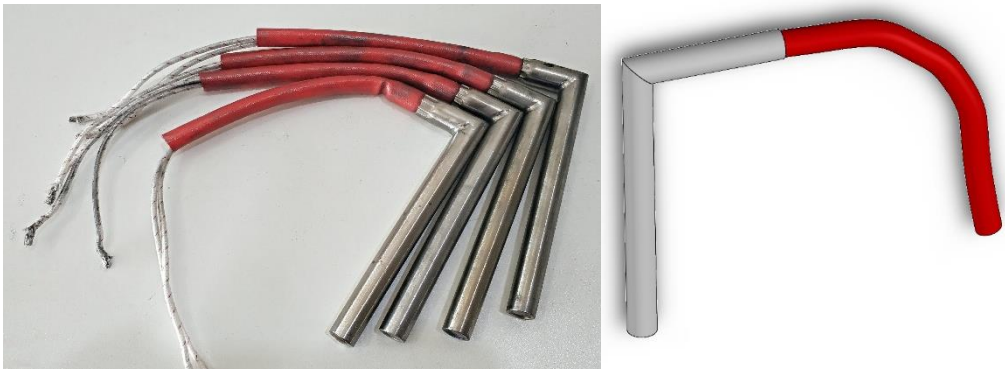
Tüm sistem ve kalıplar bilgisayar destekli çizim programı olan Solidworks programında modellenmiştir (Şekil 3.14). Böylece fişeklerin ve termocupl un konumu, dişi ve erkeklerin çalışması ve numunenin kalıptan çıkarılması gibi birçok varyasyon simüle edilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Montaj kesit görünümü

Fişek rezistans:

Numune içerisinde bulunan reçinenin sıvı hale geçmesi ve tüm tozların belli bir sure sabit sıcaklık aralığında kalması için kalıbın ısıtılması gerekmektedir. Kalıbı istenilen sıcaklıklara getirmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Rezistanslı ısıtmada kullanılan cam elyaf yanmaz kablo, fişek rezistans, Spiral rezistans, PTC fişek rezistans, kablo rezistanslar, seramik kelepçe rezistans, boru rezistans vb. çeşitlerinden başka doğrudan dişi kalıba verilen elektrik ile yapılan ısıtma yöntemleri de bulunmaktadır. Kalıba elektrik verme sırasında manyetik alan oluşmakta ve çalışmaları olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden fişekli rezistans ile ısıtmanın daha uygun bir yöntem olduğu literatürlerde görülmüştür (Salur, 2017).

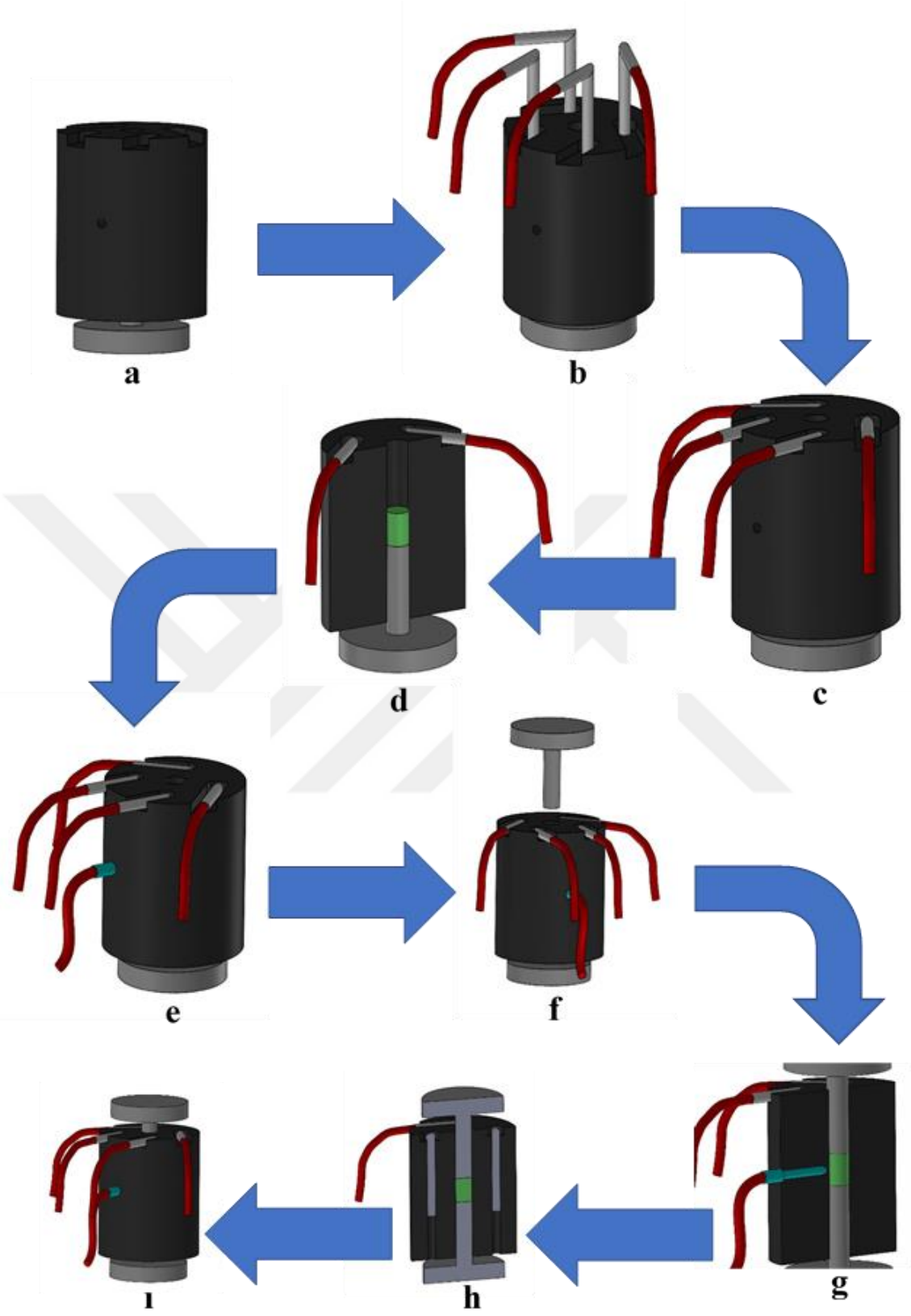


Şekil 3.16. Fişek (Gerçek ve Cad görünümü)

Dişi kalıbın boyutuna ve sistemde istenilen sıcaklık değerine göre fişek rezistans seçilmiştir. 13 mm çapında ve 130 mm boyunda Şekil 3.16'da görüldüğü üzere kalıp üzerindeki yuvalara uygun 4 adet dirsekli fişek rezistans kullanılmıştır. Çalışmada 400Waatlık rezistans tercih edilmiştir. Dört rezistans birbirlerine seri bağlandıklarında kalıbı ve numuneyi 600 ^{o}C civarına çıkarabilecek güçtedir. Sıcaklık kontrol ünitesi hedef değer olan 160 ^{o}C ayarlanır. Kontrol ünitesi fişekleri ateşledikten sonra sistem 160 ^{o}C ulaşınca fişekleri kapatıp sıcaklığı stabilize edilir.

Numune üretim adımları;

1. Alt erkek kalıp dişi kalıba bağlanır. (Şekil 3.17a)
2. Fişekler dişi kalıptaki yerlerine yerleştirilir. (Şekil 3.17c)
3. Karıştırılan toz huni vasıtasıyla dişi kalıp içerisine dökülür.
4. Kalıp hafif titreştirilerek tozun yayılması sağlanır. (Şekil 3.17d)
5. Dişi kalıp üzerindeki yuvasına termokupl yerleştirilir. (Şekil 3.17e)
6. Üst erkek kalıp dişi kalıp üzerindeki yuvasına serbest bırakılır. (Şekil 3.17f)
7. Sıcaklık kontrol ünitesi 160 ^{o}C' ye ayarlanır. (Şekil 3.18)
8. Sistem ısıtılmaya başlanır.
9. Termokupl numuneye yakın yerden kalıbın iç sıcaklığını ölçer. (Şekil 3.17g)
10. Sıcaklık 160 ^{o}C'ye ulaşınca sistem sabitlenir.
11. 15 dk bu sıcaklıkta tozların ısınması ve reçinenin sıvılaşması için beklenir.
12. Hedeflenen basınç değerine ulaşıncaya kadar presleme yapılır. (Şekil 3.17h)
13. Basınç kilitleme valfi hedef basınca ulaşınca sistemi kitler.
14. Sıcaklık kontrol ünitesi kapatılır.
15. Basınç altında kalıp soğumaya bırakılır.
16. Kalıp 40 ^{o}C altına düştüğünde numune çıkarma işlemine geçilir.
17. Üst erkek pres yardımıyla itilir ve alt erkek kalıptan ayrılır.
18. Üst erkek geri çekilerek numune ile arasına numune çıkarıcı zımba konulur pres ile itilir.
19. Numune dişi kalıbın altından çıkar.



Şekil 3.17. Presleme adımları



Şekil 3.18. Sıcaklık kontrol kutusu

3.4. Yöntem

Bu bölümde balata numunelerine yapılacak olan testler yer almaktadır. Literatürde balata özellikleri ile ilgili çalışmalarda en çok incelenen özellikler; sertlik, yoğunluk, sürtünme katsayısı ve aşınma oranıdır.

3.4.1. Sertlik ölçümü

Malzemelerin aşınma veya bölgesel deformasyona karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Statik ve dinamik olmak üzere iki ana yönteme ayrılır. Tüm yöntemler numune üzerine batırılan uçlara (çelik bilye, elmas konik vb.) uygulanan ön ve ana yüklere göre ölçüm yapar. Sertlik değerinin ölçülebilmesi için kullanılan uçlar numuneden daha sert olmalıdır. Malzemenin özellik veya yapısına göre ölçüm şekilleri veya uç şekilleri değişmektedir.



Şekil 3.19. Sertlik ölçüm cihazı

Bu çalışmada sertlik ölçümü Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü mekanik laboratuvarında bulunan Bulut Makine Sertlik Ölçme Cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.19). Numunelerin sertlik ölçümleri Rockwell R (HRR) skalasına göre yapılmıştır. Skalaya göre çelik bilye çapı ½ " ve uygulanan ön yük 10 kgf ve toplam yük 60 kgf 'tur.

3.4.2. Yoğunluk ölçümü

Çalışmada üretilen numuneler için Arşimet prensibine göre yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüm 0,1 mg hassasiyetindeki Precisa XB-220 marka hassas terazi ile yapılmıştır (Şekil 3.20). Terazinin yoğunluk ölçüm aparatları terazi üzerine bağlandıktan sonra terazi üzerindeki beherin içerisine numunelerin yoğunluğundan daha düşük yoğunlukta bir referans sıvısı konulur. Terazi bu referans sıvıya göre kalibre edilir. Çalışmamızda çeşme suyu kullanılmıştır.



(a) (b) (c)

Şekil 3.20. Hassas terazi a)suyun kalibresi b) numunenin havada ağırlığı c) numunenin suda ağırlığı

Kalibre işlemi bitikten sonra numunelerin yoğunluklarını ölçmek için gerekli tutucu aparatlar bağlanır. Bu aparat sayesinde numunenin önce havadaki kütlesi ardından da sıvı içerisindeki kütlesi ölçülür. Dijital terazi, ölçülen iki ağırlık değerini ve referans sıvısı Arşiment prensibine göre hesaplayıp sonucunu ekrana yansıtır.

(3.1)

$$d = \frac{m_1}{m_1 - m_2} . \rho$$

d : Yoğunluk, (g/cm3)

m1 :Numunenin havadaki kütlesi (g)

m2 :Numunenin sudaki kütlesi (g)

ρ : Beher içerisindeki sıvının yoğunluğu (21°C, ρ = 0,99792 g/cm3) (g/cm3)

Üretilen numunelerde boşluklu bir yapı var ise yoğunluk ölçümü esnasında numunelerin içerisine su girişi olmaktadır. Bu durumu önlemek için, sudaki tartma işlemi hızlı bir şekilde(maks.15sn) yapılmalıdır (TS 555, 1992).

3.4.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Aşınma testi öncesi test cihazının üzerinde bulunan aşınma diskleri taşlanmıştır. Taşlanan disklerin yüzeylerinden 3 farklı noktadan Şekil 3.21'de görülen dokunmalı iğne taramalı Mahr M-1 model yüzey pürüzlülük ölçüm test cihazı ile yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Yaklaşık aralarında 120^o olacak şekilde 3 nokta belirlenmiş ve ölçümler oralardan alınmıştır. Cihaz taşınabilir olması ve pürüzlülük değerlerini çıktı olarak vermektedir. Cihazın diğer teknik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Aşınma testi sonrasında numunelerin aşındırdığı disk yüzeylerinin üzerinden 3'er ayrı noktadan yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Her numunenin disk yüzeyinde ayrı ayrı

oluşturduğu dairesel sürtünme bölgelerinin her birinden 3'er adet ölçüm alınmıştır. (Şekil 3.22)



Şekil 3.22. Aşınma testi sonrası aşınma diski görünümü

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü ile ilgili standartlarda karşılaşılan en önemli iki parametre R_a ve R_z değerleridir. Bu iki ana değerin dışında cihazdan alınan R_{max}, R_{pc} olmak üzere iki parametre daha vardır. Tüm bu parametreler kısaca aşağıda tanımlanmıştır.

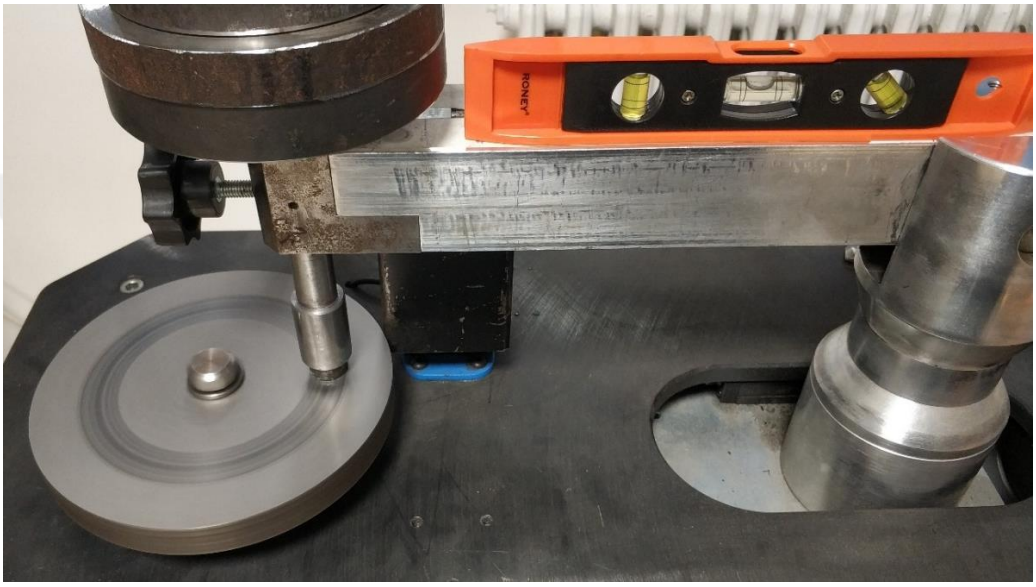
R_a: Yüzey pürüzlülük değerinin aritmetik ortalaması
R_z: Ortalama pürüz yüksekliği veya on nokta yükseklik parametresi
R_{max}: Ölçülen mesafedeki maks. derinlik ve maks. yüksekliğin toplamı
R_{pc}: $\sqrt{Ra}$ değerlerini ifade eder.

Çizelge 3.14. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri

Standartlar	DIN/ISO/JIS
Birimler	Inç ve metre
Ölçülen Parametreler	R_a, R_z, R_{max}, R_{pc}
Ölçüm aralığı (µm)	0-150
Ölçme uzunluğu (mm)	1,75 - 5,6 - 17,5
Ağırlık (g)	90

3.4.4. Aşınma (triboloji) testi

Aşınma testi, malzemelerin aşınma, sürtünme ve yağlama özelliklerinin incelendiği test cihazıdır (Şekil 3.23). Mühendisler açısından malzemelerin, kaplama malzemelerinden yağlama maddelerine, otomotiv sektöründen biyomedikal'e ve ağır sanayiden yarı iletkene kadar birçok uygulama alanındaki zorluklara nasıl dayanabileceğini öğrenme yoludur.



Şekil 3.23. Aşınma testi esnasından bir görünüm

Aşınma testi için kullanılan Şekil 1.14'te görüldüğü üzere çeşitli test yöntemleri vardır. Bu çalışmada pin on disk yöntemi tercih edilmiştir.

Çizelge 3.15. Aşınma test cihazı özellikler

	Yeni
Disk Çapı (mm)	180
Devir (devir/dk)	769
Yük Kapasitesi (kg)	13
Kontrol ekranı	PLC

Aşınma

İlk ağırlıkları hassas terazide tartılan numunelerin kütle kaybını öğrenebilmek için aşınma testi sonrasında ilk başta olduğu gibi hassas terazide tartılmışlardır. İki durumdaki kütle farkı bize kütle kaybı (ΔG) değerini vermektedir. ΔG değerini denkle 3.2'de yerine yerleştirildiğinde aşınma oranı hesaplanmış olur.

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} \quad (3.2)$$

W_a: Aşınma oranı ($mm^3.N^{-1}.m^{-1}$)

ΔG: Kütle kaybı (mg)

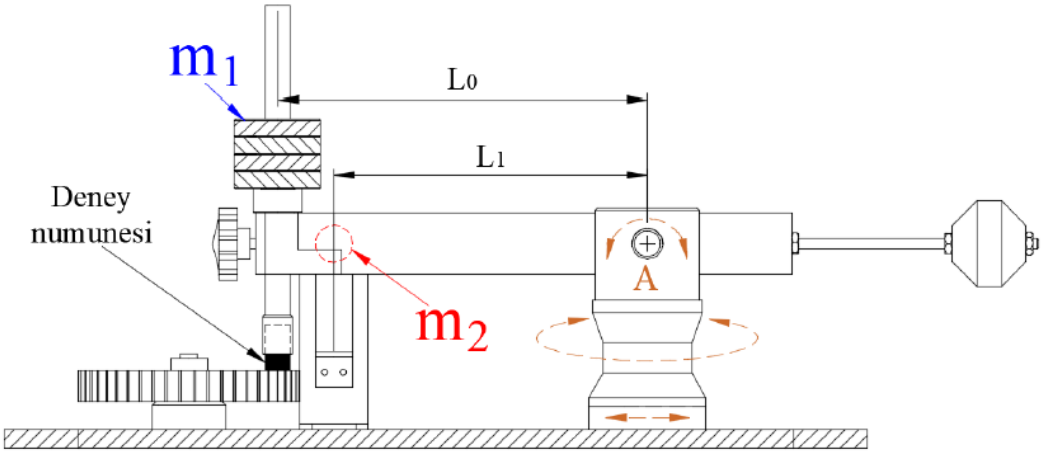
d: Aşınan malzemenin yoğunluğu (mg/mm^3)

M: Yükleme ağırlığı (N)

S: Kayma mesafesi (m)

Sürtünme Katsayısı

Test cihazının sağında bulunan dengeleyici yük yardımıyla moment kolu teraziye getirilir. Numuneler aşındırıcı diske dik şekilde baskı yapan bağlama aparatına yerleştirilir. Testin yapılacağı yük bağlama aparatının devamında bulunan mil üzerine yerleştirilir. Numunenin aşındırıcı disk üzerindeki konumuna göre motor devir sayısı ve çevrim süresi ayarlanır.



Şekil 3.24. Aşınma test cihazı teknik çizim (Aras, 2019)

Uygulanan yükün etkisi ve diskin dönüşü ile oluşan kuvvet cihaz üzerinde bulunan Esit marka loadcell ile ölçülür. Loadcell de okunan değer denklem 3.3'deki m_2 değeridir. Şekil 3.24'te görülen moment kolu üzerindeki L_1 mesafesi numuneye göre değişiklik göstermektedir. Her numune için bu değer ölçülüp denklem 3.3'e yazılarak sürtünme katsayısı hesaplanır. SAE- J661 ve TS 555 standartlarına göre balatalar sınıflandırılmaktadır (Çizelge 3.16).

$$S.K.(\mu) = \frac{L_1.m_2}{L_0.m_2} \quad (3.3)$$

S.K. : Sürtünme Katsayısı

L_1 : Mafsal ile Loadcell arası uzaklık (mm)

L_0 : Mafsal ile uygulanan yük arası uzaklık (mm)

m_2 : Loadcell'den okunan yük (g)

m_1 : Uygulanan yük (g)

Çizelge 3.16. SAE- J661 ve TS 555 standartlarına göre balata sınıflandırılması (Timur ve Kuşçu, 2014)

Sınıfı	Sürtünme katsayısı
H	>0,55
G	0,45-,55
F	0,35-0,45
E	0,25-0,35
D	0,15-0,25
C	0-0,15

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde yoğunluk, sertlik, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı için yorumlar yer almaktadır.

4.1. Test Sonuçları

Bu çalışmada ZÇT'nin testlerinden elde edilen sonuçlar hem tüm numuneler açısından hem de iki araştırma kriteri (sürtünme düzenleyici ve katı yağlayıcı) için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

4.1.1. Sertlik sonuçları

Sertlik ölçümü için çalışmadaki her kompozisyondan 3'er adet numune olacak şekilde toplamda 15 adet numune test edilmiştir. Her numunenin yüzeyindeki farklı 3 noktadan HRR skalasına göre ölçüm yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelgedeki değerlerden de anlaşılacağı üzere ZÇT oranı arttıkça sertlikte de gözle görünür artış görülmektedir. Çizelge 4.1'deki referans numunesi ilk numune ve sonrasındaki üç numune (Z5B50G5, Z10B45G5, Z20B35G5) çalışmada ZÇT'nin sürtünme düzenleyici olarak etkisini incelediği numunelerdir. Burada sisteme ilave edilen ZÇT oranında sistemden dolgu malzemesi olan Barit çıkarılmıştır. Baritin Mohs sertliği 3'tür. ZÇT için literatürde sertlik değeri bulunmamakta ancak yapısındaki yoğun selüloz miktarından dolayı sert bir yapıda olduğu belirtilir. ZÇT ilavesinin numunelerde oluşturduğu sertlik artışından dolayı Baritten daha sert yapıda olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Numune sertlikleri

Sertlik (HRR)	
Numuneler	**Ortalama**
Z0B55G5	84,2
Z5B50G5	97,93
Z10B45G5	107,3
Z20B35G5	109,2
Z5B55G0	113,24

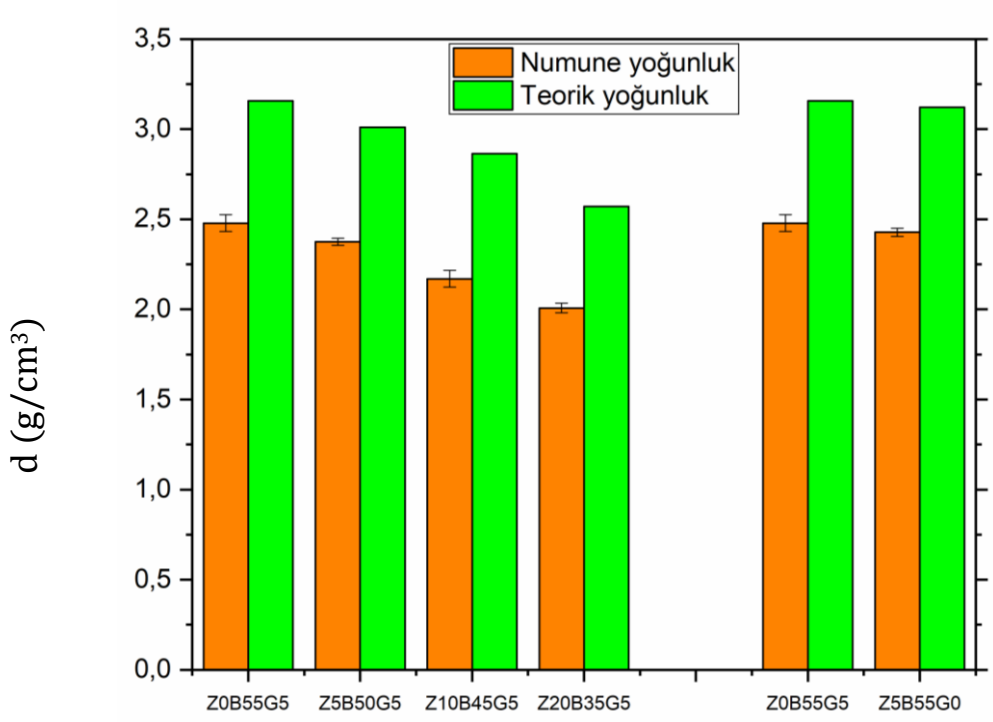
HRR ½'' Bilye 10kgf ön yük 60 kgf tam yük ile ölçülmüştür.

Referans numune ile Çizelge 4.1'de en altta bulunan (Z5B55G0) grafitsiz %5 ZÇT takviyesine sahip numunelerin sertlik ölçümleri arasında büyük fark görülmektedir.

Grafitin Mohs sertliği değeri 1-2'dir. Sertlik değerindeki artış zeytinin grafitten daha sert olduğunu göstermektedir. Mohs sertliği 3 olan Barit ile yapılan karşılaştırmada da ZÇT'nin sertlik değerinin Baritten yüksek olmasını Grafit ile olan karşılaştırmada desteklemiştir.

4.1.2. Yoğunluk sonuçları

Tüm kombinasyonlardaki numunelerden 3'er adeti Arşiment prensibine göre 0,0001 g hassasiyetteki terazi ile ölçülerek elde edilen yoğunluk değerleri Şekil 4.1'da verilmiştir. Şekil 4.1'de soldaki dört sütün çifti ZÇT'nin sürtünme düzenleyici etkisini incelediğimiz numunelerin, sağdaki iki sütün çifti ise ZÇT'nin katı yağlayıcı etkisini incelediğimiz numunelerin yoğunluk değerleridir. Grafiğin sol tarafındaki numuneleri incelediğimizde ZÇT numuneye takviye edilirken, aynı oranda barit azaltılmakta, bu yüzden de numune yoğunluğu düşmektedir. Bunun sebebi baritin (4,25g/cm^3) yoğunluğunun ZÇT'nun (1,29 g/cm^3) yoğunluğundan fazla olmasıdır. Aynı şekilde grafiğin sağ tarafını incelediğimizde ise ZÇT numuneye takviye edilirken, aynı oranda grafit azaltılmakta, bu yüzden de numune yoğunluğu az miktarda düşmektedir. Bunun sebebi grafitin (2g/cm^3) yoğunluğunun ZÇT'nun (1,29 g/cm^3) yoğunluğundan fazla olmasıdır.



Şekil 4.1. Yoğunluk

Numune içerisindeki bileşenlerin ağırlıkça yüzde oranlarına göre teorik yoğunluk hesabı yapılmış ve Şekil 4.1'deki yeşil sütun olarak verilmiştir. Teorik hesap ile numunelerden ölçülen değerler arasında %20 fark olduğu gözlemlenmiştir. Buna reçinenin soğuma esnasında gözenek oluşturması ve cam elyafın diğer bileşenlere göre daha az sıkıştırılabilir olması sebep olmuş olabilir.

4.1.3. Sürtünme katsayısı sonuçları

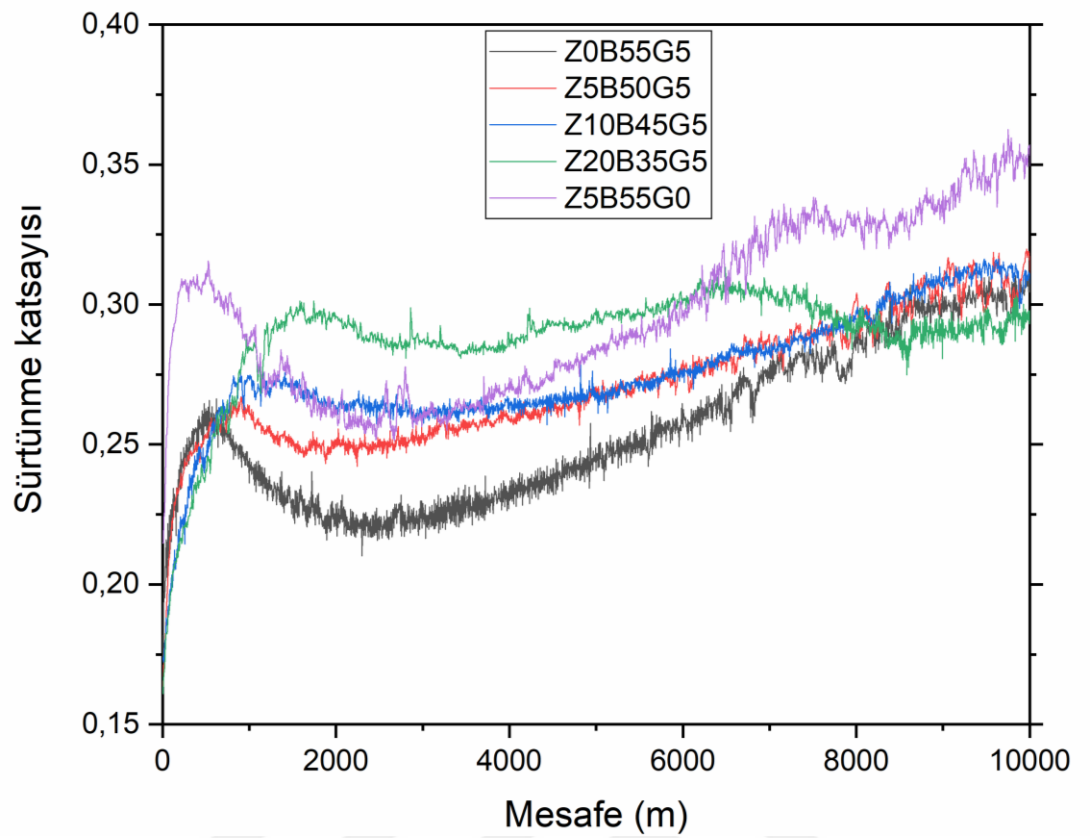
Referans numunesi (ZÇT olmayan) ve zeytin çekirdeği katkılı tüm kombinasyonların 10000 m de 6 m/s hızda aşınma testi sonuçları Çizelge 4.2'de görülmektedir. Genel olarak ZÇT katkılı numunelerin sürtünme katsayılarının referans numuneye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Sürtünme düzenleyici etkiyi incelediğimiz numunelerde ZÇT oranı %5'ten %10'a çıkarıldığında sürtünme katsayısı %0,5 artarken, ZÇT oranı %10'dan %20'ye çıkarıldığında ise %1,2 artmaktadır. ZÇT çekirdeği ile sürtünme katsayısı değeri orantılı arttığı görülmektedir.

Katı yağlayıcı etkiyi incelediğimiz numunelerde ise grafitin yerine sisteme zeytin çekirdeği konulduğunda sürtünme katsayısının numuneler içerisinde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Bu durum ZÇT'nin yağlayıcı özelliğinden çok aşındırıcı özelliğinin ön plana çıktığını göstermektedir.

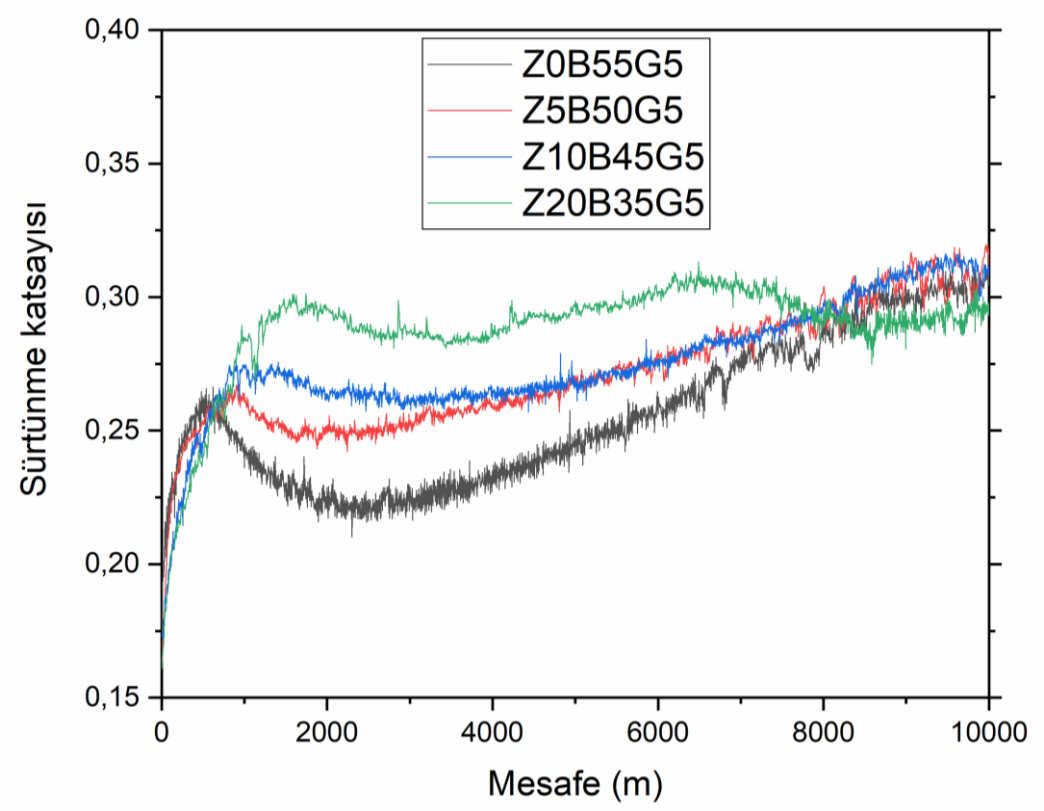
Çizelge 4.2. Sürtünme katsayıları

SÜRTÜNME KATSAYISI	
Numuneler	**ORT.**
Z0B55G5	0,256
Z5B50G5	0,271
Z10B45G5	0,276
Z20B35G5	0,288
Z5B55G0	0,297
TÖ	0,278
TA	0,339

Numunelere ZÇT takviye yapıldıkça sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir (Şekil 4.2). Ayrıca Çizelge 4.2'de ticari araçtan alınan balata numunelerine yapılan aşınma testi sonucunda ölçülen sürtünme katsayı değerleri görülmektedir (Aras, 2019).

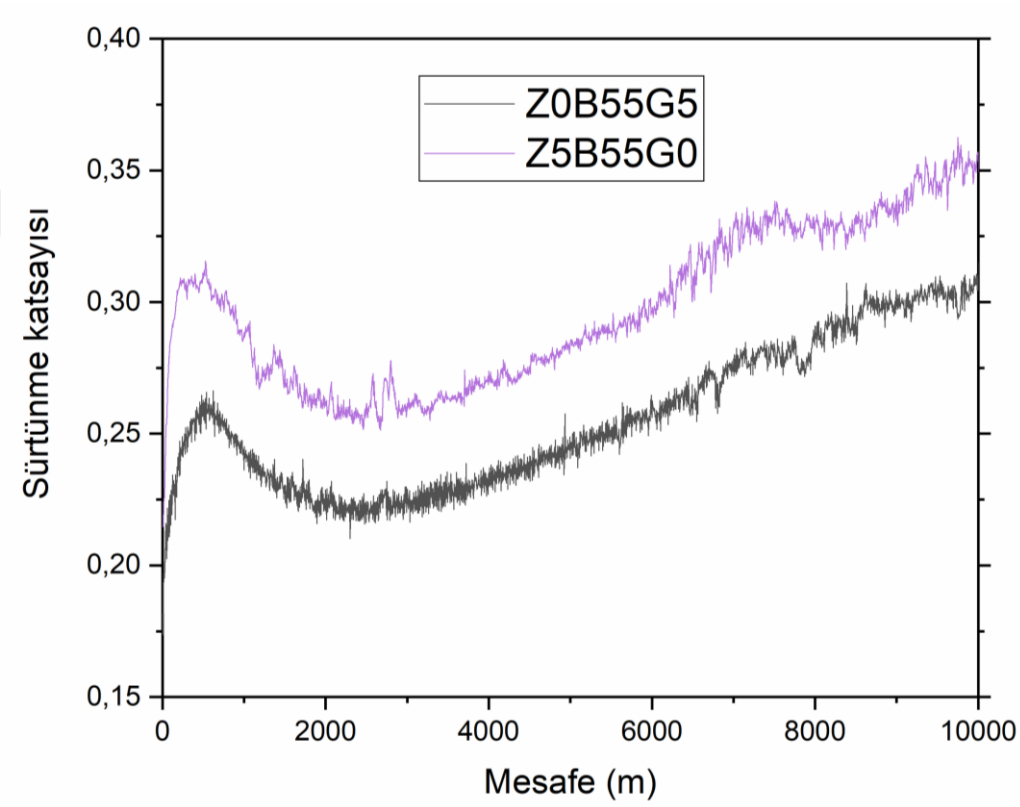


Şekil 4.2. Tüm numunelerin sürtünme-mesafe değişimi



Şekil 4.3 Sürtünme düzenleyici numunelerin sürtünme katsayısı-mesafe değişimi

Zeytin çekirdeği takviyeli numunelerin testin %80'lik kısmında referans numuneye göre daha yüksek sürtünme katsayılarına ulaştığı görülmektedir. (Şekil 4.3) Son %20'lik kısımda tüm numuneler yakın sürtünme katsayılarına ulaşmıştır. %0, %5 ve %10 ZÇT takviyeli numuneler davranış olarak birbirlerine benzemekte yalnız %20 ZÇT takviyeli numune diğer numunelere göre zıt denilebilecek kadar farklı bir davranış göstermiştir. %0, %5 ve %10 ZÇT takviyeli numunelerin davranışları, literatürdeki çalışmaya benzer davranış gösterdiği görülmüştür (Keskin, 2019).



Şekil 4.4. Katı yağlayıcı numunelerin sürtünme katsayısı-mesafe değişimi

Zeytin çekirdeğinin katı yağlayıcılık özelliğini inceleyebilmek için grafitsiz zeytin çekirdeği katkılı numune ile grafitli-zeytin çekirdeksiz numunelerin sürtünme grafikleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Zeytin çekirdekli numune grafitli numuneye göre daha yüksek sürtünme katsayısında benzer davranışı vermiştir. Buda zeytin çekirdeğinin yağlayıcılık özelliğinden çok aşındırıcı özelliğinin baskın olduğunu göstermektedir.

4.1.4. Aşınma oranı sonuçları

Bütün numunelerin aşınma oranlarının referans numuneye göre daha az olduğu Çizelge 4.3'te görülmektedir. Sürtünme düzenleyici için yapılan %5, %10 ve %20 ZÇT oranına sahip numuneler de ZÇT oranı arttıkça aşınma oranının da arttığı görülmektedir.

Katı yağlayıcı özelliğini incelediğimiz grafitin olmadığı %5 ZÇT olan numunenin aşınma oranı, referans numuneye göre %80 azaldığı Çizelge 4.3'te görülmektedir.

Çizelge 4.3. Ağırlık değişimleri ve aşınma oranı

	Ağırlık (g)				
Numuneler	**Aşınma Öncesi**	**Aşınma Sonrası**	**Değişen Ağırlık**	**Değişimin %**	**Aşınma Oranı (cm3.N-1.m-1)**
Z0B55G5	9,817	9,7212	-0,0958	-0,97586	0,536 x 10-7
Z5B50G5	9,726	9,7056	-0,0204	-0,20975	0,117 x 10-7
Z10B45G5	10,0625	10,0403	-0,0222	-0,22834	0,136 x 10-7
Z20B35G5	9,82	9,7946	-0,0254	-0,25866	0,170 x 10-7
Z5B55G0	9,929	9,913	-0,016	-0,16114	0,089 x 10-7

Referans olan %0 ZÇT'li numuneye göre ZÇT takviyesinin hem sürtünme katsayısını arttırması hem de aşınma oranını düşürmesinden dolayı ZÇT' nin sürtünme düzenleyici olarak abrazif aşındırıcı rolünde olduğu görülmektedir. ZÇT'nin balata için sürtünme düzenleyici etki yaptığı ve çalışma konusu açısından doğru bir seçim olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.4. Yüzey pürüzlülüğü

	Yüzey Pürüzlülüğü		
Numuneler	**Aşınma Öncesi**	**Aşınma Sonrası**	**Fark**
Z0B55G5	0,992	0,690	-0,302
Z5B50G5	0,987	0,904	-0,083
Z10B45G5	1,015	0,853	-0,162
Z20B35G5	1,203	0,697	-0,506
Z5B55G0	1,003	0,715	-0,288

Çalışmada aşınma testi esnasında disklerdeki aşınmayı incelemek için test öncesi ve test sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapıldı. Alınan değerler Çizelge 4.4'te görülmektedir. Her diskin aşınmamış bölgelerinden 3 ölçüm, her numunenin temas ettiği yerlerde ayrı ayrı 3 ölçüm olacak şekilde yapılarak ortalama değerleri verilmiştir.

Tüm numuneler de test sonrası diskin pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. Sebep olarak polimer yapıdaki balata numunelerinde adhesiv aşınma meydana gelip disk yüzeyine yapışmalar sonucunda yüzey pürüzlülüğü azalmıştır.

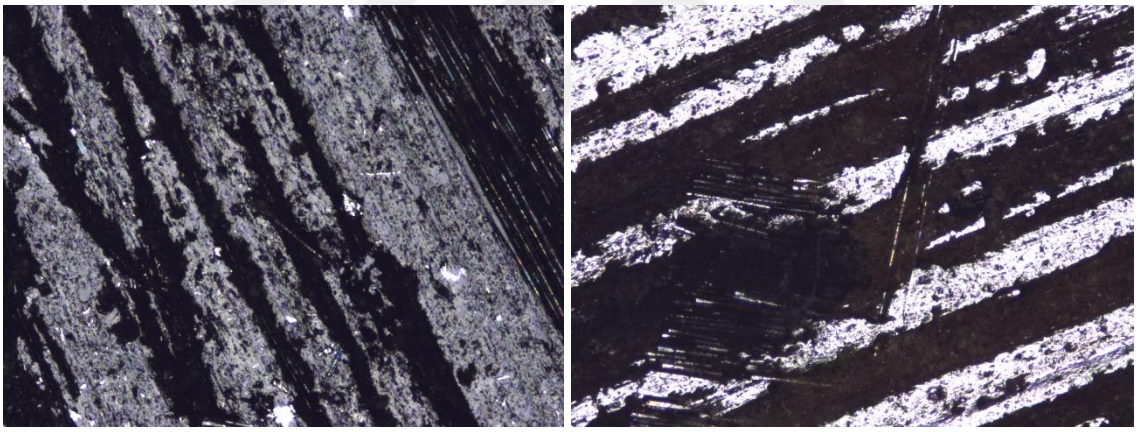
4.2. Mikroskop ve SEM görüntülerinin değerlendirilmesi

Numune üretiminden sonra temizlenen yüzeylerden aşınma testi öncesi alınan görüntüler Şekil 4.5'da görülmektedir. Görüntülerde zeytin çekirdeklerinin tozları görülmektedir.

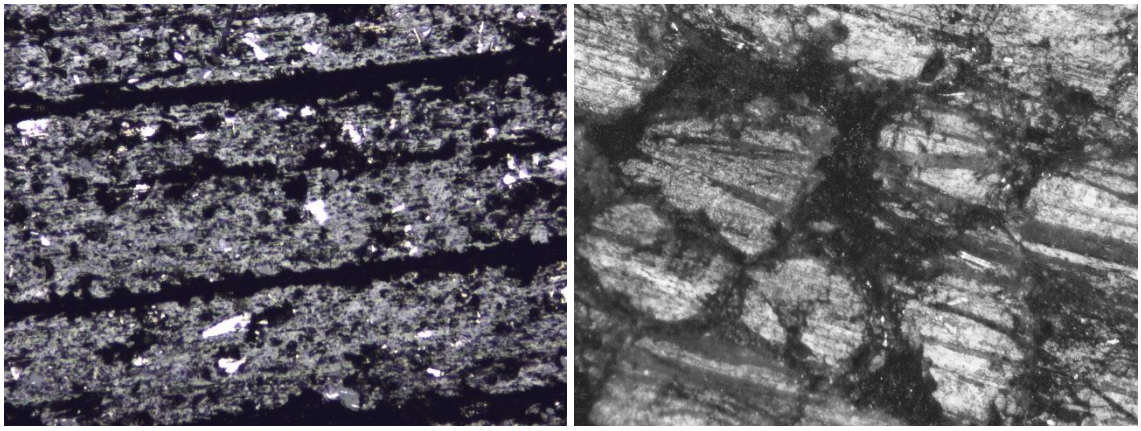


(a) (b) (c) (d) (e)

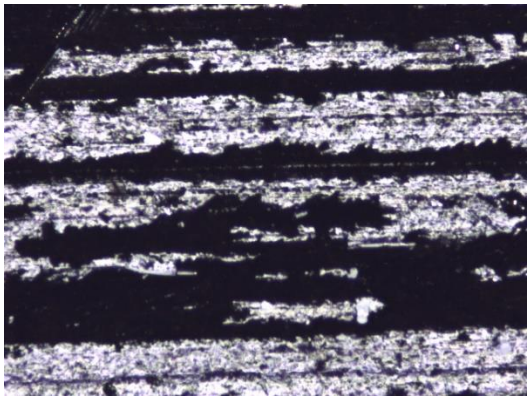
Şekil 4.5. Test öncesi yüzey görüntüleri a) Z0B55G5 b) Z5B50G5 c) Z10B45G5 d) Z20B35G5 e) Z5B55G0



(a) (b)



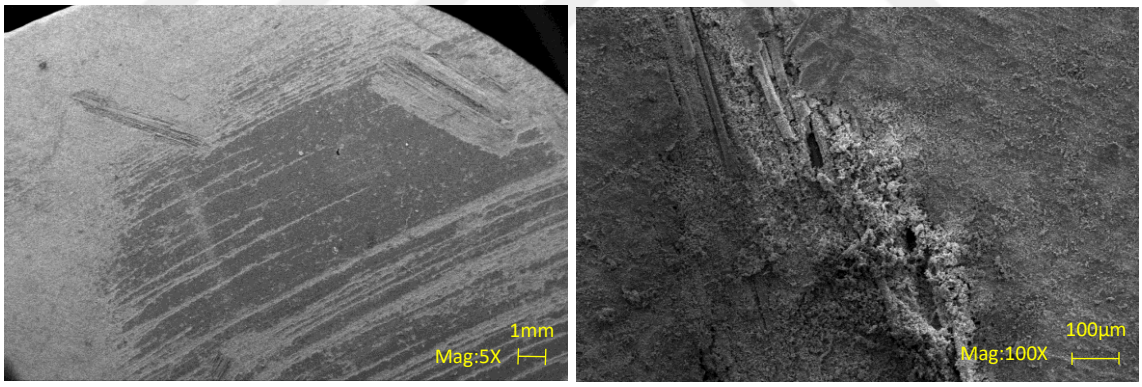
(c) (d)



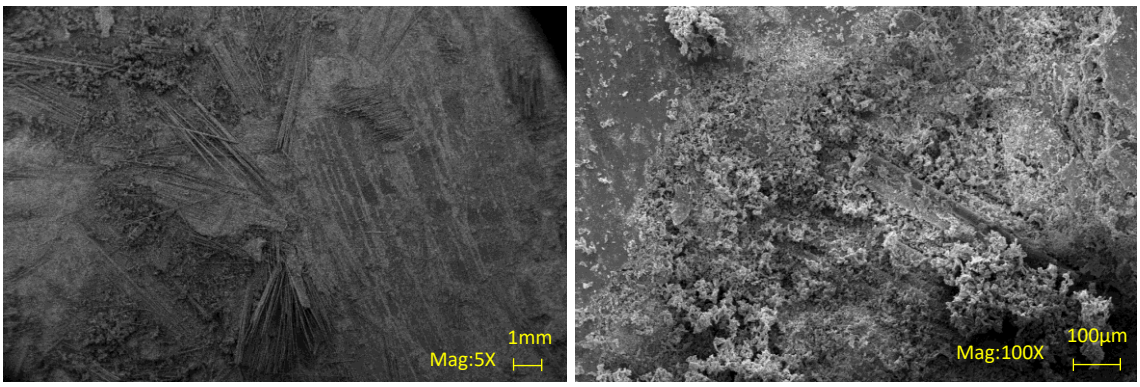
(e)

Şekil 4.6. Makroyapı görüntüleri a) Z0B55G5 b) Z5B50G5 c) Z10B45G5 d) Z20B35G5 e) Z5B55G0

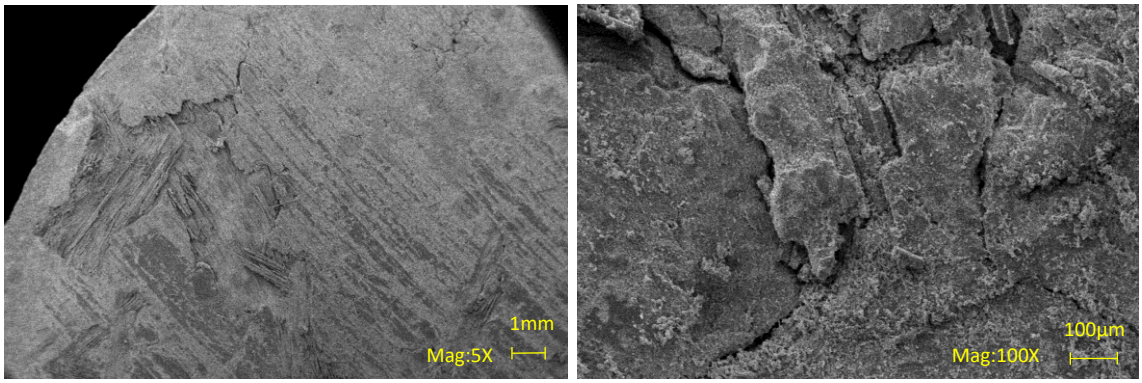
Aşınma testi sonrasında numunelerin optik mikroskopta 50x büyütmedeki görüntüleri Şekil 4.6'da görülmektedir. Tüm numunelerde abrazif aşınma olan bölgeler net bir şekilde görülmektedir. Numunelerin optik mikroskop incelemesi esnasında bazı bölgelerde adhesiv aşınma belirtileri görülmektedir. Net bir sonuç için SEM incelemeleri Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



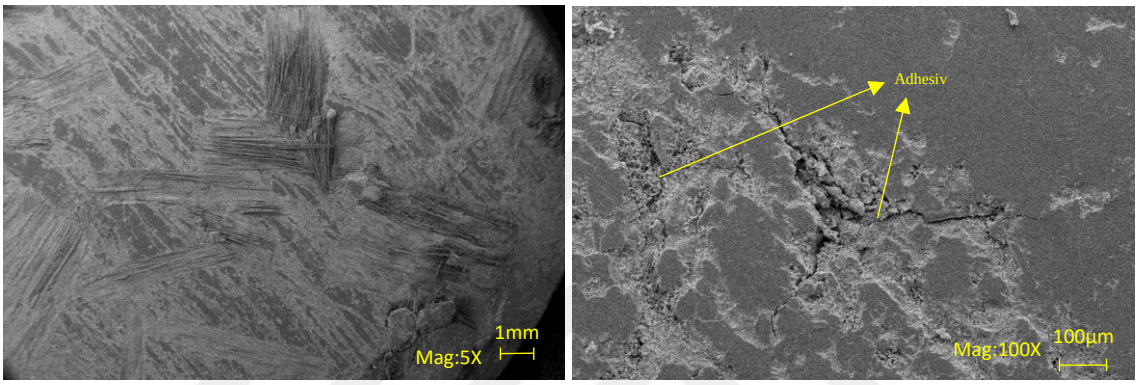
(a)



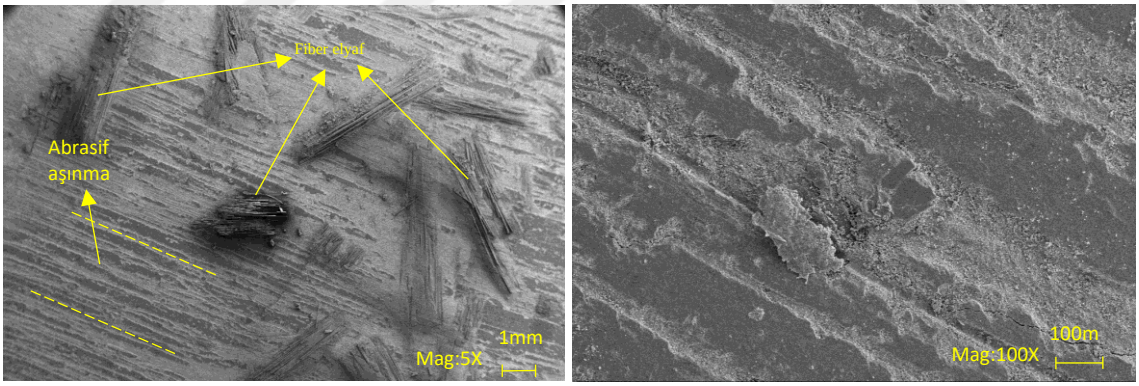
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.7. Mikroyapı görüntüleri a) Z0B55G5 b) Z5B50G5 c) Z10B45G5 d) Z20B35G5 e) Z5B55G0

SEM görüntülerinde görüldüğü üzere optik mikroskopta da görülen abrazif aşınmalar net bir şekilde görülmektedir.

- %0 ZÇT içeren referans numunenin yüzeyinde abrazif aşınmalar görülmektedir. (Şekil 4.7a)

- %5 ZÇT içeren numunenin yüzeyinde abrazif aşınmalar görülürken bazı bölgelerde fiberlerin uç noktalarında gerilme yığılmaları ve partikül birikmeleri görülmektedir. (Şekil 4.7b)
- %10 ZÇT içeren numunenin yüzeyinde abrazif aşınmalar görülürken bazı bölgelerde fiberlerin uç noktalarında gerilmeler yığılması sonucunda yüzeyde çatlamalar görülmektedir. (Şekil 4.7c)
- %20 ZÇT içeren numunenin yüzeyinde bölge bölge adhesiv aşınmalar görülmektedir. (Şekil 4.7d)
- %5 Grafitsiz aşınmaların genellikle abrazif aşınma olduğu görülmektedir. (Şekil 4.7e)

Aşınma grafiklerinden Şekil 4.3'te %20 ZÇT içeren numunenin grafiksel davranışının diğer numunelerden farklı olması ve Çizelge 4.4'te ki disklerin yüzey pürüzlülüğünde %20 ZÇT içeren numunenin diskindeki yüzey pürüzlülüğünün belirgin bir ölçüde diğer numunelerden daha fazla azalması adhesiv aşınmayı işaret etmektedir. Ayrıca SEM görüntülerinde %20 ZÇT içeren numunede adhesiv aşınma görülmekte bu da sürtünme katsayısı grafiğindeki farklılığı ve yüzey pürüzlülüğündeki büyük azalmanın sebebini açıklamaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Genel olarak;

- Tüm numunelerin yoğunluk değerleri 1,976–2,538 g/cm^3 arasında değişmektedir. En yüksek yoğunluk değeri Z0B55G5 kodlu referans (%0 ZÇT) numunede görülürken, en düşük yoğunluk değeri ise Z20B35G5 kodlu %20 ZÇT içeren numunede görülmüştür.
- Aşınma testinde kullanılan disklerin yüzey pürüzlülükleri aşınma öncesi 0,992 – 1,203 arasında aşınma sonrası 0,690 – 0,904 arasında değişmektedir. Tüm disklerde yüzey pürüzlülük değeri azalmakta ve 0,083 - 0,506 arasında değişmektedir. En fazla pürüzlülükteki azalma Z20B35G5 kodlu numunede görülürken en az pürüzlülük azalması Z5B50G5 kodlu numunede görülmektedir.
- Sertlik değerleri 74,5 – 114 HRR arasında değişmektedir. En yüksek sertlik değeri Z5B55G0 kodlu numunede görülürken, en düşük sertlik değeri ise Z5B50G5 kodlu numunede görülmektedir. Ticari ön balatanın sertliği 100,1 HRR, ticari arka balatanın sertliği 49,3 HRR iken çalışmadaki tüm numunelerin sertlik değerleri ticari balataların sertlik değerlerinden yüksektir.
- Aşınma oranı 0,089 x 10^{-7}- 0,536 x 10^{-7} (cm^3.N^{-1}.m^{-1}) arasında değişmektedir. En yüksek aşınma oranı Z0B55G5 kodlu referans (%0 ZÇT) numunede görülürken, en düşük aşınma oranı ise Z5B55G0 kodlu (%5 ZÇT- %0Grafit) numunede görülmektedir.
- Sürtünme katsayıları 0,22 – 0,29 arasında değişmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı değeri Z5B55G0 kodlu (%5 ZÇT- %0Grafit) numunede, en düşük sürtünme katsayılı Z0B55G5 kodlu referans (%0 ZÇT) numunede hesaplanmaktadır. Referans numune hariç tüm numunelerin sürtünme katsayısı değeri, TS555'deki sınıflandırmaya göre E sınıfındadır. Sadece referans numune TS555'deki sınıflandırmaya göre D sınıfındadır.

Sürtünme Düzenleyici olarak;

Referans numuneye göre ZÇT oranındaki artış ile sürtünme katsayısını artmıştır. ZÇT oranı arttığı numunelerde aşınma oranı da artmıştır. ZÇT takviyeli (%5, %10 ve %20) numunelerin aşınma oranı referans numuneden düşüktür.

Aşınma test diskleri incelendiğinde %20 ZÇT takviyeli numunelerin temas ettiği disk bölgelerinde yüzey pürüzlülüğü yüksek oranda azalmıştır. Bu durum numuneden kopan parçacıkların disk yüzeyine yapışmasından veya ZÇT yüzeyi aşındırmasında olabilir.

Mikro yapıya bakıldığında ise %20 ZÇT takviyeli numunelerin yüzeyinde parçacıkların koptuğu görülmüştür. %20 ZÇT takviyeli numunelerdeki parça kopma durumda disk yüzeyine numuneden parça yapışmasını desteklemiştir. %10 ZÇT takviyeli numunelerin mikro yapıları incelendiğinde yüzeyde çatlamaların olduğu görülmüş ve daha uzun mesafelerde bu çatlamaların tıpkı %20 ZÇT takviyeli numunelerin yüzeyinde olduğu gibi parçacık koparma ihtimalinden dolayı risk teşkil etmektedir. Bu durumlar göz önüne alındığında %10 ve %20 ZÇT takviyesinin sürtünme düzenleyici olarak balatalarda kullanılmasının uygun olmadığını düşünmekteyiz. Balata çalışmalarında %5 ZÇT takviyesinin ideal olarak bulunmuştur.

Katı yağlayıcı olarak;

Referans numunedeki grafitin yerine ZÇT takviye edilerek katı yağlayıcılık özellikleri karşılaştırılmıştır. ZÇT takviye edildiğinde sürtünme katsayısı artmış aşınma oranı azalmıştır. Hatta bu durum tüm çalışma numuneleri ile kıyaslandığında çalışmadaki en yüksek sürtünme katsayısı ve en düşük aşınma oranı bu numunede(Z5B55G0) görülmüştür. Sisteme yağlayıcı etki yerine aşındırıcı etki yaptığı gözlemlenmiştir.

5.2 Öneriler

- Zeytin çekirdeğinin tozu elek yardımıyla elenerek, farklı boyutlardaki toz olarak katılarak değişim yeni çalışma yapılabilir.
- Sadece çekirdeğin tozunu kullanmak yerine pirivasını kullanarak ZÇT ile kıyaslanabilir.
- Test esnasında diskte oluşan ısının sürtünme katsayısına ve aşınma oranına etkisi incelenebilir.
- Numune üretiminde kullanılan kalıp için hızlı soğutma sistemi ilave edilerek numune üretimi esnasında soğutma süresinin etkisi ile ilgili yeni çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

Abutu, J., Lawal, S., Ndaliman, M. ve Araga, R. L., 2018, An overview of brake pad production using non-hazardous reinforcement materials, *Acta Technica Corvininesis-Bulletin of Engineering*, 11 (3).

Adıgüzel, A., 2015, Katı yağlayıcı ve aşındırıcı bileşenlerin fenolik reçine esaslı fren balatalarının mekanik ve tribolojik özelliklerine etkileri, *Mechanical Engineering*, 97.

Akgun, N. A. ve Doymaz, I., 2005, Modelling of olive cake thin-layer drying process, *Journal of food Engineering*, 68 (4), 455-461.

Akkuş, N. ve Yücel, F., 2009, Taşıt elektromekanik fren sistemi: mekatronik uygulama.

Akpınar, G., Köksal, N. S., Mutlu, İ. ve Sugözü, İ., 2008, Karaçam kozalağının otomotiv fren balatalarında kullanımının araştırılması.

Amaren, S., Yawas, D. ve Aku, S., 2013, Effect of periwinkles shell particle size on the wear behavior of asbestos free brake pad, *Results in physics*, 3, 109-114.

Aranganathan, N. ve Bijwe, J., 2016, Comparative performance evaluation of NAO friction materials containing natural graphite and thermo-graphite, *Wear*, 358, 17-22.

Aras, S., 2019, Organik Malzeme Esaslı Hibrit Sürtünme Kompozitlerinin Balata Üretiminde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri*

Baklouti, M., Cristol, A.-L., Desplanques, Y. ve Elleuch, R., 2015, Impact of the glass fibers addition on tribological behavior and braking performances of organic matrix composites for brake lining, *Wear*, 330, 507-514.

Bayrakçeken, H. ve Düzgün, M., 2005, Taşıtlarda fren verimi ve frenleme mesafesi analizi, *Politeknik Dergisi*, 8 (2), 153-160.

Belhocine, A. ve Abdullah, O. I., 2015, Structural and contact analysis of disc brake assembly during single stop braking event, *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 68 (3), 403-410.

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

Boz, M., 2003, Seramik Takviyeli Bronz Esaslı Toz Metal Fren Balata Üretimi ve Sürtünme-Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara*.

Cai, P., Wang, Y., Wang, T. ve Wang, Q., 2015, Effect of resins on thermal, mechanical and tribological properties of friction materials, *Tribology international*, 87, 1-10.

Çataltepe, V., 2008, Ticari Araçlar İçin Fren Faktörünün Deneysel Ve Teorik Sonuçlarının Karşılaştırılması,, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü*.

Demir, M. E., Çelik, Y. H. ve Kılıçkap, E., 2019, Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyaf Cinsinin, Yükün, Kayma Hızı ve Mesafesinin Abrazif Aşınmaya Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 22 (4), 811-817.

Erdem, M. ve Altıparmak, D., 2014, Fren Disk Sıcaklığının Frenleme Performansına Etkisi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (2), 425-432.

Eriksson, M., Bergman, F. ve Jacobson, S., 1999, Surface characterisation of brake pads after running under silent and squealing conditions, *Wear*, 232 (2), 163-167.

Eriksson, M. ve Jacobson, S., 2000, Tribological surfaces of organic brake pads, *Tribology international*, 33 (12), 817-827.

Erol, F., 2011, Zeytin karasularının membran proseslerle nihai arıtımının incelenmesi.

Ertan, R., 2008, Fren balata malzemelerinin optimizasyonu ve üretim parametrelerinin analizi.

Ertan, R. ve Yavuz, N., 2010, Balata malzemelerinde kullanılan yapısalların balatanın tribolojik ve fiziksel özelliklerine etkisi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 15 (1).

Etemoğlu, A. B., Etemoğlu, N., Türkan, B. ve Canbolat, A. S., 2018, Araç Fren Sistemlerinin Isıl Performansının Parametrik Olarak İncelenmesi, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5 (2), 556-565.

Fei, J., Luo, W., Huang, J. F., Ouyang, H., Xu, Z. ve Yao, C., 2015, Effect of carbon fiber content on the friction and wear performance of paper-based friction materials, *Tribology international*, 87, 91-97.

Gemalmayan, N., 1984, Sürtünme Malzemelerinin Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Ens. Doktora Tezi. Ankara*.

Güney, B. ve Mutlu, İ., 2015, Taşıtlarda AB ve ABD'nde Uygulanan Fren Test Standartlarının İncelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*.

Ho, S., Lin, J. C. ve Ju, C.-P., 2005, Effect of fiber addition on mechanical and tribological properties of a copper/phenolic-based friction material, *Wear*, 258 (5-6), 861-869.

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

Issoupov, V., Viel, V., Krotov, A., Startsev, O., Dinguirard, M. ve Lacabanne, C., 2001, Surfaces State Assessment of Composite Materials Exposed on the" Mir" Station during the" Aragatz" Flight, *International Scientific Cooperation onboard MIR*, 439-446.

Jang, H., Ko, K., Kim, S., Basch, R. ve Fash, J., 2004, The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials, *Wear*, 256 (3-4), 406-414.

Kahya, K., 2017, Otomotiv Fren Balatalarında Farklı Bağlayıcı Malzeme Kullanımının Frenleme Performansına Etkisinin Araştırılması, *Mechanical Engineering*, 81.

Keser, O. ve Bilal, T., 2010, Zeytin sanayi yan ürünlerinin hayvan beslemede kullanım olanakları, *Hayvansal Üretim*, 51 (1).

Keskin, E., 2019, Zeytin çekirdeği tozlarının taşıt fren balatalarında kullanımı ve aşınma özelliklerinin araştırılması *Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri*.

Kılıç, M. Y., 2011, Zeytin karasuyunun ileri arıtma yöntemleri ile ekonomik arıtılabilirliğinin araştırılması.

Kılıçaslan, C., 2016, Zeytin pirinası/polyester kompozitin basma yükü altındaki mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *Mühendis ve Makina*, 57 (676), 26-31.

Kim, S. J. ve Jang, H., 2000, Friction and wear of friction materials containing two different phenolic resins reinforced with aramid pulp, *Tribology international*, 33 (7), 477-484.

Koca, M., 2011, Bazı Mineral Malzemelerin Fren Balatalarında Sürtünme Özelliklerinin Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*.

Kocabaş, İ., 2012, Kompozit Malzemelerin Fren Balatalarında Kullanılabilirliğinin ve Frenleme Performansının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ …*.

Lijesh, K., Kumar, D. ve Hirani, H., 2017, Effect of disc hardness on MR brake performance, *Engineering Failure Analysis*, 74, 228-238.

Luo, J., Meng, Y., Shao, T. ve Zhao, Q., 2010, Advanced tribology: proceedings of CIST2008 & ITS-IFToMM2008, Springer Science & Business Media, p.

Ma, Y., Liu, Y., Wang, L., Tong, J., Zhuang, J. ve Jia, H., 2018, Performance assessment of hybrid fibers reinforced friction composites under dry sliding conditions, *Tribology international*, 119, 262-269.

Malak, İ. M. A., Aysal, H. B. F. E. ve Yavuz, İ., 2016, The Investigation of Brake Linings Reinforced With Carbon Fiber, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 13 (4), 45-52.

Mavi, A., 2014, Taşıt Frenlerinde Sıcaklık Etkisine Bağlı Olarak Fren Kuvveti Değişiminin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*

MEGEP, 2013, Motorlu Araçlar Teknolojisi Fren Sistemleri, 19.

Mutlu, İ. ve Öner, C., 2002, Cam Elyaf Takviyeli Disk Fren Balatalarının Özelliklerinin İncelenmesi Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, *Kahramanmaraş MYO*.

Mutlu, İ., Malak, A., BAYRAKÇEKEN, H., Aysal, F. E. ve Yavuz, İ., 2016, The Investigation of Brake Linings Reinforced With Carbon Fiber, *Electronic Journal of Machine Technologies*.

Nagesh, S., Siddaraju, C., Prakash, S. ve Ramesh, M., 2014, Characterization of brake pads by variation in composition of friction materials, *Procedia Materials Science*, 5, 295-302.

Naghmouchi, I., Mutjé, P. ve Boufi, S., 2014, Polyvinyl chloride composites filled with olive stone flour: mechanical, thermal, and water absorption properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 131 (22).

Österle, W., Kloß, H., Urban, I. ve Dmitriev, A., 2007, Towards a better understanding of brake friction materials, *Wear*, 263 (7-12), 1189-1201.

Öztürk, B., 2004, Hibrid kompozit kavrama balatası üretimi ve üretilen balataların tribolojik özelliklerinin incelenmesi,, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Doktora Tezi*.

Öztürk, B., Arslan, F. ve Öztürk, S., 2007, Hot wear properties of ceramic and basalt fiber reinforced hybrid friction materials, *Tribology international*, 40 (1), 37-48.

Pavitra, J., Bharath, P., Suresha, B. ve Nair, B. S., 2018, Effect of short glass fiber and ferrosilicon content on mechanical properties of phenolic based friction composite material, *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 7915-7923.

Resmi Gazete 28539, 2013, *Resmi Gazete 28539*.

Salur, E., 2017, Atık metal talaşlarının geri dönüştürülmesiyle üretilen metal matris kompozit malzemelerin talaşlı işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Satapathy, B. ve Bijwe, J., 2004a, Performance of friction materials based on variation in nature of organic fibres: Part II. Optimisation by balancing and ranking using multiple criteria decision model (MCDM), *Wear*, 257 (5-6), 585-589.

Satapathy, B. ve Bijwe, J., 2004b, Performance of friction materials based on variation in nature of organic fibres: Part I. Fade and recovery behaviour, *Wear*, 257 (5-6), 573-584.

Satır, İ., 2006, Asbestsiz Taşıt Fren Balatalarının Kuru ve Yaş Sürtünme Davranışlarının İncelenmesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*

Shanker, P. S., 2018, A review on properties of conventional and metal matrix composite materials in manufacturing of disc brake, *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 5864-5869.

Sudheer, M., Hemanth, K., Raju, K. ve Bhat, T., 2014, Enhanced mechanical and wear performance of epoxy/glass composites with PTW/graphite hybrid fillers, *Procedia Materials Science*, 6, 975-987.

Sugozu, I., Can, I. ve Oner, C., 2014, Investigation of using Calabrian pine cone dust and borax in brake pads, *Industrial Lubrication and Tribology*.

Sugözü, İ., 2009, Bor Katkılı Asbetsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin İncelenmesi, *Mechanical Engineering*, 277.

Sugözü, İ., Yavuz, İ. ve Mutlu, İ., 2009, Polimerik kompozit sürtünme malzemelerinde üretim basıncının performansa etkisinin araştırılması", 5, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu IATS*, 9, 1140-1143.

Sugözü, K. B., 2015, Otomotiv fren balata malzemelerinde maun cevizi tozunun sürtünme performansına etkisi, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8 (2), 166-177.

Sulaiman, S., Yunus, R., Ibrahim, N. ve Rezaei, F., 2008, Effect of hardener on mechanical properties of carbon fibre reinforced phenolic resin composites, *Journal of Engineering Science and Technology*, 3 (1), 79-86.

Talib, R., Muchtar, A. ve Azhari, C., 2003, Microstructural characteristics on the surface and subsurface of semimetallic automotive friction materials during braking process, *Journal of Materials Processing Technology*, 140 (1-3), 694-699.

TarihiOlaylar, 2020, Tekerlek, https://www.tarihiolaylar.com/tarihi-olaylar/tekerlek-156: [Ziyaret Tarihi: 24.12.2020].

Timur, M. ve Kuşçu, H., 2014, Heat transfer of brake pad used in the autos after friction and examination of thermal tension analysis.

Tiwari, A., Jaggi, H. S., Kachhap, R. K., Satapathy, B. K., Maiti, S. N. ve Tomar, B. S., 2014, Comparative performance assessment of cenosphere and barium sulphate based friction composites, *Wear*, 309 (1-2), 259-268.

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

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

Üstün, N. S., 2011, Otomotiv endüstrisi için bir disk fren balatası üretimi ve performansının incelenmesi, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Venkataraman, B. ve Sundararajan, G., 2002, The influence of sample geometry on the friction behaviour of carbon–carbon composites, *Acta materialia*, 50 (5), 1153-1163.

Wahlström, J., Gventsadze, D., Olander, L., Kutelia, E., Gventsadze, L., Tsurtsumia, O. ve Olofsson, U., 2011, A pin-on-disc investigation of novel nanoporous composite-based and conventional brake pad materials focussing on airborne wear particles, *Tribology international*, 44 (12), 1838-1843.

Weld Wolf, 2017, Aşınma Nedir? Aşınma Tipleri Nelerdir? (online), https://weldwolf.com/asinma-nedir-asinma-tipleri-nelerdir/: [Ziyaret Tarihi: 24.12.2020].

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

Yılmaz, C., 2015, Zeytin ve zeytin ürünlerinin bazı makro ve mikro inorganik bileşenlerinin analizi, *Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Salih Bilal ÇETİNKAL
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	BANDIRMA 1987
Telefon	**:**	506 573 82 23
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	bilal.cetinkal@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Bandırma Anadolu Lisesi, BANDIRMA, BALIKESİR	2005
Üniversite	:	Dokuz Eylül Üniveristesi, BORNOVA, İZMİR	2011
Yüksek Lisans	:	Dokuz Eylül Üniveristesi, BORNOVA, İZMİR	2019
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, SELÇUKLU, KONYA	
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2010-2016	EKOSİM	ARGE ve Üretim Sorumlusu
2016-2019	TEKNOPOL	ARGE ve Tasarım Sorumlusu

UZMANLIK ALANI

Robotik, otomasyon , makine tasarımı

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Çetinkal S. B. ve Toygar M. E., investigation of sandwich composite material production methods, International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'17)

Çetinkal S. B. ve Tarakçıoğlu N., investigation of the effect of olive core granulated on glass fiber reinforced hybrid composite pads as friction modifier, 9th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'20)