



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK PERFORMANSLI PARA-ARAMİD ELYAF TAKVİYELİ FREN BALATALARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Yusuf Ziya DEMİRHAN

YÜKSEK LİSANS

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

TWARON TAKVİYELİ FREN BALATALARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Yusuf Ziya DEMİRHAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Recai KUŞ

2017, 41 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Recai KUŞ
Prof. Dr. Mesut UYANER
Yrd. Doç. Dr. Memduh KARA

Bu çalışmada üretilen kompozit fren balatasına asbestin yerine takviye olarak polimer esaslı bir fiber olan twaron kullanılmıştır. Literatürde daha önce twaron, fren balatalarında kullanılmamış olduğu için benzer malzemeler literatürden incelenip denemeler yapıldıktan sonra optimum üretim parametreleri, bileşenler ve bileşenlerin oranları belirlenmiştir. Belirlenen içeriğe göre balata da takviye olarak twaron, dolgu malzemesi olarak $CaCO_3$, yağlayıcı olarak grafit, sertlik düzenleyici olarak Al_2O_3 ve bağlayıcı olarak da fenolik reçine kullanılmıştır. Twaron miktarı kütlece %5,%10,%15ve %20 olmak üzere farklı oranlarda eklenerek twaronun balata içerisindeki etkileri araştırılmaya çalışılmıştır. Numune üretimi için bileşenler bir karıştırıcı içerisinde toz halde karıştırıldıktan sonra çift yönlü bir presle preslenerek üretilmiştir. Preslemeden sonra numuneler 160 ^oC' de 6sa. süre ile kürlenmiştir.

Üretilen numunelerin mekanik özelliklerini incelemek için; sertlik, yoğunluk, basınç dayanımı, sürtünme katsayısı, aşınma dayanımı testler yapılmış ve SEM görüntüsü alınarak incelenmiştir. Aşınma deneyi için bir pin on disc test cihazı kullanılmıştır. Bu deneyler piyasada kullanılan ticari bir fren balatasında tekrar edilerek çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sabit 1000m kayma mesafesinde ve 1m/s hızda gerçekleştirilen deneylerde 30- 40- 50N olmak üzere üç farklı yük uygulanmıştır. Neticede ağırlıkça %5 twaron içeren Tw5 kodlu numunenin en iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca ağırlıkça twaron içeriği arttıkça sürtünme performansında düşüş meydana gelmiştir. Pin- on Disk sürtünme deneyi sonucunda üretilen tüm numunelerin TS 555'e göre balatalar için belirtilen sürtünme katsayısı değer aralığına sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Balata, Kompozit, Twaron, Sürtünme.

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF BRAKE PAD SAMPLES PRODUCED WITH HIGH PERFORMANCE PARA ARAMID FIBER AS REINFORCEMENT

Yusuf Ziya DEMİRHAN

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

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Recai KUŞ

2017, 41 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Recai KUŞ
Prof. Dr. Mesut UYANER
Asist. Prof. Dr. Memduh KARA

In this study,the twaron, a polymer-based fiber, has been used as reinforcement for composite brake lining to be produced, instead of asbestos.As the twaron had not been previously used for brake lining, similiar materials were analyzed, and then optimum production parameters, constituents and its rates have been determined. As to determined substances, the twaron has been used as reinforcement; $CaCO_3$ as filling material; graphite as lubricant; Al_2O_3 as hardness regulator and phenolic resin as binding agent. It has been tried to search the effects of twaron on the lining by adding %5, %10, %15, %20 quantity of twaron. Constituents used for producing exemplification items has been manufactured by pressing after mixng in a mixer as dusted form via double-turned nip press. All constituents have been cured for 6 hours at 160 ^oC after pressing.

In order to analyze the mechnanical features of produced specimens; the tests have been performed on hardness, density, pressure resistance and friction coefficient, and then they have been analyzed by taking SEM pictures. A pin on disc tester has been used to determine friction coefficient. These tests have been repeated on a commercially used brake lining, and then reached test results have been compared. Three diffrent presses which are concluded as 30- 40- 50N has been applied on experiments which are fived as 1000m shifting distance and fixed speed at 1m/s. At least the Tw5 consist of %5 twaron has been confirmed as the sample which has the best results. Moreover, the friction performance has been decreased when the twaron percentege of weight increased step by step The end of the experiment of friction test of Pin- on Disc, the all samples produced has been found acceptable according to value range of friction coefficient of TS 555 for brake lining.

Keywords: Brake pad, Friction, Twaron, Wear

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı gerçekleştirmemde bana maddi, manevi her türlü desteği verip yol gösteren danışmanım sayın Doç. Dr. Recai Kuş hocama, katkılarından dolayı sayın Prof. Dr. Mustafa Acarer hocama, tecrübeleriyle yardımlarını esirgemeyen sayın Arş. Gör. Mahmut Ünaldı'ya, çalışma arkadaşım Teknik Öğretmen Mete Aktaş'a, her fırsatta yardım eden canım kardeşim Metalürji ve Malzeme Mühendisi Fatih Önder'e ve her daim yanımda olan sevgili biricik aileme teşekkürü borç bilirim.

Yusuf Ziya DEMİRHAN
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

3. TEORİ **7**

3.1 Kompozit Malzemeler ve Özellikleri 7
3.1.1 Kompozit malzeme türleri 8
3.2 Kompozit Fren Balataları ve Özellikleri 10

4. MATERYAL VE YÖNTEM **14**

4.1. Malzeme Seçimi 14
Twaron 14
Kalsiyum Karbonat 16
Fenolik Reçine 16
Alüminyum Oksit 17
Grafit 17
4.2. Karışımın Hazırlanışı ve Numune Üretimi 19
4.2.1. Presleme İşlemi 19
4.3. Uygulanan Testler 21
4.3.1. Sertlik Testi 21
4.3.2. Basma Testi 22
4.3.3. Pin- on Disk sürtünme testi 22
4.3.4 Pürüzlülük 24
4.3.5. SEM görüntüleri optik mikroskop ve stereo mikroskop görüntüleri 24

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA **25**

5.1 Sertlik Testi Sonuçları 25
5.2 Basma Testi Sonuçları 26
5.3. Pin - on- Disk Sürtünme Test Sonuçları 27
5.4. Pürüzlülük Sonuçları 32
5.5. SEM Analizi , Optik ve Stereo Mikroskop Görüntüleri 33

6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER 37

KAYNAKLAR 39

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

^{o}C : Derece selsius
CBP: Ticari fren balatası
dk: dakika
d/dk: devir/dakika
GPa: Giga Pascal
g/cm^3 : gram/santimetreküp
g/mm^3: gram/milimetreküp
gr: gram
m: metre
mm: milimetre
MPa: Mega pascal
m/s: metre/saat
N: Newton
sa: saat
SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu
TS: Türk Standartları
Tw5: Kütlece %5 twaron içeriğine sahip numune
Tw10: Kütlece %10 twaron içeriğine sahip numune
Tw15: Kütlece %15 twaron içeriğine sahip numune
Tw20: Kütlece %20 twaron içeriğine sahip numune
μ: sürtünme katsayısı
μm: mikron metre

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle birlikte pek çok endüstriyel alanda kullanılan malzemelerinin kalitesinin ve kullanım amacına göre mekanik özelliklerinin artması zaruri hale gelmiştir. Bu da teknolojik uygulamalarda araştırmacıları kompozit malzeme kullanımına yöneltmiş ve kullanılan bu malzemelerin özelliklerinin araştırılmasının ve geliştirilmesinin önemini arttırmıştır. Özellikleri farklı birden fazla malzemenin daha iyi özellikleri elde etmek amacıyla fiziksel olarak makro düzeyde birleştirilmesi olarak tarif edilen kompozit malzemeler, yaygın olarak metallerden, seramik ve polimerik malzemelerden daha mukavemetli ve daha kullanışlı olmaları açısından tercih edilir durumdadırlar.

Yapıları gereği kompozit malzemeler en az iki farklı malzemeden meydan gelirler. Kompozit malzeme içerisinde matris olarak adlandırılan ana faz ve takviye olarak adlandırılan diğer bir fazı ihtiva eder. Bu fazlardan matriksin görevi kompozitin bünyesini dağılmadan ve içerisindeki takviyenin yer değişimine imkân vermeden bir arada kalmasını sağlamaktır. Matriksin diğer görevi de kompozit malzemeye uygulanan yüklerde yapısının herhangi bir şekilde tahribata uğramasına imkan vermeden, uygulanan yükün takviyeye iletimini sağlamaktır. Matris kompozit malzemelerin kütlece büyük çoğunluğunu teşkil eder. Diğer bir faz olan takviyenin ise üretimde matriksin tane büyüklüğünü kontrol etmek, tane sınırı hareketlerini engellemek ve matris tarafından iletilen yükleri karşılamak yada bu yükleri paylaştırmak başlıca görevleridir. Başlıca görevlerinin yanı sıra kompozit malzemenin işletme şartlarına uygun olarak bu fazlardan farklı özellikler de beklenebilir. Örneğin; korozyon, oksidasyon, elektrik iletimi gibi istenmeyen durumlara karşı direnç göstermek ana faz olan matriksin görevi olacaktır.

Kompozit malzemelerde genel olarak çok sayıda malzeme bir arada kullanılmaktadır. Bundan dolayı kompozit malzemelerin sınıflandırılması yapılırken, yapılan sınıflandırılmaları kesin olarak sınırlamak mümkün değildir. Yine de kullanılan malzemelerin kompozit bünyedeki durumlarına göre sınıflandırmalar mevcuttur. Bu sınıflandırmalar kullanılan ana faz malzemelerine göre polimer esaslı, metal esaslı ve seramik esaslı olarak yapılabilir. Diğer bir sınıflandırma da takviye fazına göre yapılan sınıflandırılmadır. Bu sınıflandırmada; elyaf takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli kompozitler, tabakalı kompozitler ve karma kompozitler olarak yapılır.

Kompozit malzemelerin sağladığı yüksek mukavemet, hafiflik, tasarım kolaylığı, rijitlik ve kolay şekillendirilebilme gibi daha pek çok avantajından dolayı otomotiv sanayi, havacılık, inşaat, elektrik/elektronik, silah ve daha pek çok endüstriyel alanda sıkça kullanılırlar.

Kompozit malzemelerin otomotiv sanayinde kullanıldığı alanlardan biri de kompozit fren balatalarıdır. Fren balatalarının imalatında uzun yıllardır kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Ancak geçmiş dönemlerde imal edilen kompozit fren balatalarında takviye olarak sıkça kullanılan asbestin insan sağlığına olan etkilerinin olumsuz olması ve pek çok ciddi hastalığa neden olduğunun ortaya çıkmasıyla kullanımı yasaklanmıştır. Bu yüzden bu doğal mineral yerine kullanılabilecek yeni takviye malzemeleri araştırmacılar tarafından araştırılmaktadır.

Bu çalışmada otomotiv fren balatalarında kullanılan asbest yerine takviye olarak, sentetik bir lif olan ‘twaron’ un kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunun için balataların yapıları ve balatalarda kullanılan malzemeler incelenmiş ve yapılan literatür incelemelerinin sonucunda balata üretimi için dört farklı kimyasal bileşim belirlenmiştir. Geliştirilen bu kimyasal içeriğe göre kompozit fren balatasında takviye olarak twaron kütlece %5 ile %20 arasında farklı oranlarda kullanılmış, ayrıca fren balatasının içeriğinde sertlik düzenleyici olarak kütlece %15 alüminyum oksit ve %10 grafit, bağlayıcı olarak kütlesel %25 fenolik reçine, dolgu malzemesi olarak kütlece %30 ile %45 arasında kalsiyum karbonat kullanılmıştır. Numunelerin üretimi için kullanılan malzemeler toz halinde karıştırılmıştır. Karıştırılan numuneler çift taraflı bir pres vasıtasıyla 100MPa basınçla preslenmiş ve 160 ^{o}C ‘de 6sa kürlenmiştir. Üretilen numunelerin sertlikleri alınmış, basma testine tabi tutulmuşlardır. Ayrıca bir pin- on disk vasıtası ile sürtünme testleri yapılmış ve bir ticari balata ile mukayesesi yapılmıştır. Kürleme sonrası, üretilen numuneler ve ticari balatadan alınan numuneler sertlik testi ve pin-on disk sürtünme testleri (ASTM G99-95) gerçekleştirilmiştir. sertlik açısından Sonuçlar değerlendirildiğinde %20 twaron takviyeli numunenin sertliği en yüksek (116,88 Rockweel-R) olduğu, sürtünme açısından değerlendirildiğinde değişen yüklerde en yüksek sürtünme katsayısını %5 twaron takviyeli numune sağlarken %10 twaron takviyeli numune değişen yüklerde ticari fren balatasına yakın değerler sergilemiş ve sürtünme katsayısı değerlerinin daha stabil değerler sergilediği görülmüştür.

Numunelerin bu test sonrası aşınma yüzeylerinden SEM görüntüleri alınarak morfolojileri açıklanmaya çalışılmıştır. Piyasada kullanılan ticari bir fen balatasından numuneler alınarak pin- on disk de aynı şartlarda deney tekrarlanmış ve mukayese edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

T.Singh, A. Patnaik, R. Chauhan (2016) yaptıkları çalışmada farklı reçinelerle takviye edilmiş kaju fıstığı kabuğu (CNSL), alkali benzenle takviye edilmiş sıvı keten tohumu ve çimento fırını tozu (CKD) içeren fren balata formülasyonları geliştirip fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklerini karakterize etmişlerdir. Bu üretilen numuneleri ECE-R-90 normlarına göre bir Krauss tipi sürtünme test cihazı üzerinde denemişlerdir. Elde edilen deney sonuçlarına göre CKD ve düz fenolik reçine kombinasyonunun istikrarlı sürtünme performansının daha iyi olduğunu göstermiştir (Singh, Patnaik et al. 2016).

Thingujam Jackson Singh, Sutanu Samanta (2015) yaptıkları değerlendirme çalışmasında son yıllarda fiber takviyeli kompozitlerin çeşitli uygulama alanlarında geleneksel malzemelere göre oluşturdukları potansiyele dikkat çekmişlerdir. Bu kompozitlerde sıkça kullanılan kevlar fiberi ve bu fiber esaslı kompozitlerin özelliklerini incelemiş ve özellikle kevların sağladığı yüksek mukavemet, kütle oranı, yüksek modülü gibi özelliklerinin uygulamalarda eşsiz bir katılım sağladığı sonucuna varmışlardır. Bu özelliklerin sağlanmasında karakterizasyonun büyük önemi olduğuna vurgu yapılmış ve bu konudaki çalışmalar derlenmiştir (Singh and Samanta 2015).

D.S.Yawas, S.Y. Aku, S.G. Amaren (2016) yaptıkları çalışmada asbestin kansorejen etkilerinden dolayı, asbest yerine deniz salyangozu kabuk parçacıklarından asbest içermeyen yeni bir fren balatası geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu fren balatası formülasyonu beş farklı elek ebatı aralığında (710- 125µm) deniz salyangozu kabuk parçacığı ile % 35 reçine ihtiva eden farklı kompozisyonlarda üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin fiziksel, mekanik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma ile deniz salyangozu kabuk parçacıklarının asbeste alternatif olabileceği kanıtlanmıştır (Yawas, Aku et al. 2016).

W.Österle ve ark (2013) yaptıkları çalışmada modifiye edilmiş bir pin- on- disk testi, tipik bir fren balatası bileşenin tribolojik özelliklerini belirlemek amacıyla kullanmışlardır. Grafit gibi katı yağlayıcılar demiroksitin sürtünme ve aşınma davranışını önemli ölçüde etkiler. Bununla birlikte sert nano parçacıklar bu etkilerden çok az etkilenirler. Bu modelleme sonuçlarla kıyaslanarak doğrulanmıştır (Österle, Deutsch et al. 2014).

İbrahim Sugözü ve ark (2011). Yaptıkları çalışmada fenleme etkisine sıcak presleme süresinin etkilerini araştırmayı amaçlamışlardır. Bu amaca uygun olarak aynı

kompozisyona sahip 3 adet asbest içermeyen, fren balatası üretilmiştir. Üretilen bu balatalar aynı şartlar altında soğuk şekillendirme işlemine tabi tutulmuş akabinde aynı sıcaklıkta farklı presleme süreleriyle (5dk-10dk-15dk) sıcak preslemeyle üretilmişlerdir. Üretilen bu numunelerin mekanik özellikleri karşılaştırılarak incelenmiştir(Sugözü, Mutlu et al. 2011).

M: Akbarian, S ve ark (2008) yaptıkları çalışmada poliüretan takviyeli ağırlıkça %0-30 içeren termoplastik kısa twaron aramid fiberlerin mekanik, dinamik mekanik ve reolojik davranışları incelenmiştir. Üretilen kompozite ağırlıkça %10 fiber yüklemesiyle kompozitin çekme dayanımı artmıştır. Ayrıca Lif yüklemesiyle kopma uzaması artmış ve elastik modülünde sürekli bir artışı beraberinde getirmiştir. Ancak bu yükleme matriksin aşınma direncini azaltmıştır. Reolojik çalışmalar sonucunda kuvvet yasası davranışının tüm üretilen kompozitler için lif yüklemesiyle artan viskoziteyi göstermektedir(Akbarian, Hassanzadeh et al. 2008).

Gurunathan ve ark. tarafından 2007 yılında yapılan eleştirel çalışmada biyobozunur polimerler ve doğal liflerin üretim teknikleri, özellikleri ve biyokompozitlerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesini sağlayan elyaf-matris yapışmasını geliştirilmesini sağlayan yüzey modifikasyon yöntemleri ve etkilerinden detaylı olarak bahsedilmiştir (Gurunath and Bijwe 2007).

Pujari, Ramakrishna et al. (2014) tarafından yapılan literatür çalışmasında biyolojik malzemelerden özellikle hint keneviri ile muzdan elde edilmiş elyafların kullanıldığı çalışmalardan bahsetmişlerdir. Çalışmada kompozit malzemelerin sınıflandırılması, hint keneviri ile muz elyaflarının kimyasal ve fiziksel özellikleri literatürdeki çalışmalarla desteklenmiş ve bunların kompozit malzemelerdeki avantaj ve dezavantajları hakkında bilgi verilmiştir (Pujari, Ramakrishna et al. 2014).

Liew and Nirmal (2013) tarafından üretilen ticari olmayan asbestli ve asbestsiz fren balatalarının pin-on disk cihazında kuru sürtünme şartlarında farklı hız ve nominal temas basıncı değerlerinde denemeleri yapılarak ticari bir balatanın deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır (Liew and Nirmal 2013).

Kuş. R ve Ünaldı M. (2014) yaptıkları çalışmada miscanthus tozunun fren balatalarında takviye olarak kullanılabilirliğini araştırmışlarıdır. Bu amaç için hacimce %10, % 25 ve %40 içeriğe sahip yeni kimyasal formül geliştirip 50, 100, 200 ve 300 MPa olmak üzere dört farklı kalıplama basıncında numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin elek analizi, yoğunluk ve sertlik özellikleri incelenmiştir (Unaldi and Kus 2014).

D.Chan ve G. W. Stachowiak 2004 yaptıkları inceleme çalışmasında genel olarak asbestsiz fren balatası çalışmalarını incelemişlerdir. Bu incelemelerde geliştirilen yeni ve eşsiz balata kombinasyonlarında sürtünme malzemelerinin seçiminde temel anlayışın deneysel deneme yanılma üzerine kurulduğu düşüncesi ortaya çıkmıştır. Genel olralak bu çalışmada tipik fren malzemeleri incelenmiş ve günümüz fren uygulamalarında avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.(Chan and Stachowiak 2004)

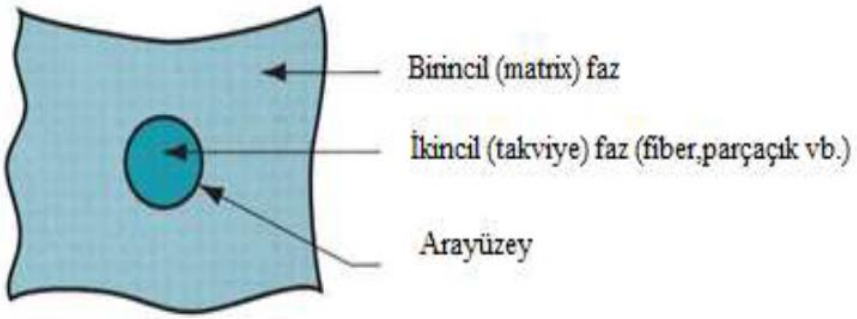
Kuş. R ve Ünaldı M. (2012) bu çalışmada, pirinç esaslı sürtünme materyalindeki karbon nanotüp ve grafitin yoğunluk, aşınma ve astarlanma sıcaklığına etkisi araştırılmıştır. % 0, 5, 1, 2 ve 4 kütlesi karbon nanotüp ve grafit pirinç esaslı astar bileşenleri içine eklendi ve gri dökme demir disk ve astar örneği birlikte 10 dakika birlikte çalıştıktan sonra aşınma oranları ve astar sıcaklıkları incelendi. Deneyler sonucunda, sinterlemedeki yoğunluk farkının karbon nanotüp artışı ile arttığı ve astar numunelerinde sıcaklık değişiminde ve aşınma hızında düşüş ile daha iyi fren performansı elde edildiği sonucuna varılmıştır (Kus and Unaldi 2012).

Abd Rahim ve ark. (2016) çalışmalarında Bu nedenle, bu makale, ani frenleme duruşu sırasında, ticari sonlu elemanlar yazılımı ANSYS kullanarak disk sıcaklığını belirlemek ve fren diskinin ve balataların gerilme konsantrasyonunu, yapısal deformasyonunu ve temas basıncını incelemeyi amaçlamışlarıdır. Ayrıca, sabit disk kalemi, farklı sürtünme katsayıları ve fren diskinin ve balataların gerilme konsantrasyonu, yapısal deformasyonu ve temas basıncı üzerindeki diskin farklı hızlarının kullanıldığı etkileri vurgulamışlarıdır (Belhocine, Abu Bakar et al. 2016).

3. TEORİ

3.1 Kompozit Malzemeler ve Özellikleri

Kompozit malzemeler tanımları itibariyle ayrı özelliklerdeki birden fazla malzemenin makro boyutta bir araya getirilmesidir (Campbell 2010). Bu işlemin amacı kompozitin meydana geldiği malzemelerin özelliklerinden çok daha iyi ve yeni bir malzeme oluşturmaktır. Genel olarak kompozit malzemeleri oluşturan bileşenler temelde ana malzeme (matris) ve takviye malzemesidir (Gay 2014). Üretimleri sırasında uygulama alanlarına göre kompozit bünyesine üçüncü bileşen olarak katkı malzemeleri de eklenebilir(Callister and Rethwisch 2007).(Mikroskobik olarak ele alındığında, bu anlamda kompozit malzemelerin yapıları homojen değildir. Farklı yöntemler kullanılarak birleştirilen matris ve takviye malzemeleri, özelliklerini tamamen kaybetmeden göstermek üzere, aralarında ara yüzey olarak isimlendirilen bir bağlantı noktası oluşturarak, tasarım formlarını korurlar.



Şekil 3.1. Kompozit malzemenin şematik bileşenleri

Kompozit malzemenin özelliklerini, yapısında bulunan malzemenin özellikleri belirler. Bununla birlikte en önemli katkıyı özellikle mukavemeti sağlayan bileşen takviyelerdir. Bu açıdan kompozit malzemenin kullanım alanına göre performansını artıracak bir yapı oluşturmak için kullanılan bileşenlerin uygunluğu önemli bir kavramdır. Bu nedenle istenilen özellikleri elde etmek için uygun matris ve takviye oryantasyonu kullanılmalıdır. Kompozit malzeme tasarımında bu durum çeşitliliğe neden olur.

3.1.1 Kompozit malzeme türleri

Kompozit malzemeleri kesin sınırlarla gruplandırmak güçtür (Callister and Rethwisch 2007). Bunun nedeni yapılarında pek çok sayıda ve farklı malzemelerin bulunmasıdır. Ancak kompozit bünye içerisinde kullanılan ana malzemeye türlerine, yine takviye malzemelerinin şekillerine göre sınıflandırmalar yapılabilmektedir (Wang, Zheng et al. 2011).

Çizelge 3.1. Kompozitin yapısı(Yaldızci 2016)

Matris malzemeleri	Takviye elemanları	Kompozit yapının şekli
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Granül	Kaplamalar
	Whiskers	Film/ folya
Seramikler	Pudra	Honey- Combs (bal peteği)
	Yonga	Filaman sarılmış yapılar

Matris malzemesine göre yapılan gruplamada kompozitler; polimer matrisli, metal matrisli ve seramik matrisli olarak gruplanır.

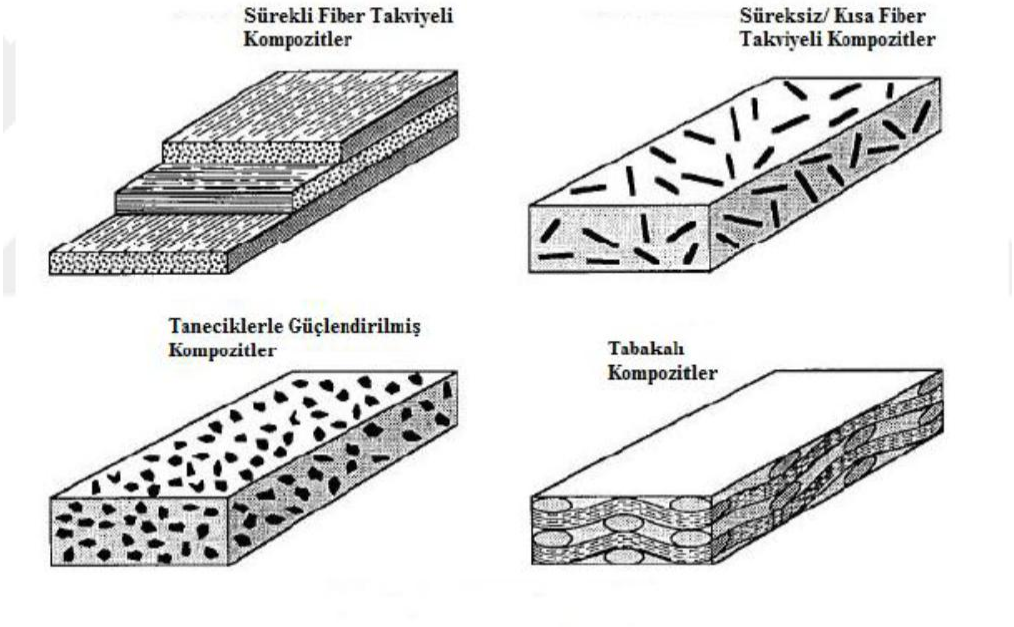
Magnezyum, alüminyum, nikel, demir, titanyum gibi metaller yaygın olarak kompozit malzemelerde matris olarak kullanılmaktadırlar. Metal matrisli kompozit malzemeler oksitlenme ihtimalinin yüksek olduğu etkenlerde bile yüksek sıcaklık içeren uygulamalarda kullanılabilmeleri açısından avantaj sağlamaktadırlar (Harris 1986).

En yaygın olarak kullanılan matris malzemeleri polimerlerdir. İşleme kolaylığı, düşük maliyeti, nem tutma gibi özellikleri sayesinde tercih edilirler. Düşük yoğunlukları olan polimerler zaman, sıcaklık ve nem etkileriyle viskoelastik ve viskoplastik özellik göstermektedirler (Bernardo, Amaro et al. 2016).

Seramik malzemeler yapıları gereği gevrektirler. Ancak yüksek sıcaklık dayanımlarından dolayı, yüksek sıcaklık içeren uygulamalar için kullanılacak kompozit malzemelerde matris olarak kullanılmaktadırlar (Harris 1986).

Bir diğer gruplandırma şekli kompozit malzemelerde kullanılan takviye malzemesinin şeklidir. Bu gruplandırma içerisinde kompozitler; elyaf takviyeli,

parçacık takviyeli, tabakalı (katmanlı) ve karma kompozit malzemeler şeklinde sınıflanırlar.



Şekil 3.2. Yapılarına göre kompozit malzemeler

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde cam elyaf, bor elyaf, karbon elyaf gibi çeşitli elyaf türleri kompozit malzemelerde takviye olarak kullanılmaktadır. Elyafların kompozit malzemeye olan etkilerini matris içerisindeki yerleşimi sağlar. Örneğin uzun elyafların matris içerisine paralel yerleştirilmesi elyaf doğrultusunda mukavemeti artırırken elyafa dik doğrultuda düşük mukavemet sağlanır. İki boyutlu yerleştirilmiş takviyelerde iki yönde de eşit mukavemet sağlanır. Kısa elyafların matris içine homojen dağılımı ile de izotrop bir yapı oluşturulabilmektedir. Elyaflarda uzunluk/çap oranları da kompozitin özelliklerini etkiler, zira bu oran arttıkça matrisin takviyeye ilettiği yük miktarı artar (Nas, Gökkaya et al. 2013). Bir diğer önemli hususta matrisle elyaflar arasında oluşan bağ yapısıdır. Şayet ana matris malzemesinin yapısında poroziteler bulunuyor ise, matrisle elyaf arasındaki temas azalır.

Boyutları itibariyle 1µm den daha yüksek boyutlara sahip olan takviyelere parçacık, daha düşük olanlara ise partikül denilmektedir. Bu boyutlardaki bir malzemenin başka bir ana malzeme içerisinde kullanılmasıyla oluşturulan kompozit malzeme türüne parçacık takviyeli kompozit malzemeler denir. Bu tür kompozit malzemelerde kullanılan takviyeler arasında mikrondan nanometreye kadar değişen boyutlarda partiküller ve parçacıklar bulunur. Kullanılan bu takviyenin matris içerisinde

genelde homojen dağılımı sebebiyle mekanik özellikleri eş yönlüdür. Bu takviyeler yapı içerisinde dağılım sertleşmesi gösterdiklerinden dolayı mekanik özellikleri geliştirirler. Bu olay, bu parçacıkların tane sınırlarındaki kaymaları engellemeleri ile gerçekleşir. Yapının mukavemeti kullanılan bu parçacıkların sertliği ile doğrudan ilişkilidir (Harris 1986).

Elyafların farklı yönelimlere sahip olduğu tabakaların tek bir parça halinde bağlanmasıyla oluşan katmanlı yapılara tabakalı kompozitler denir. Farklı elyaf yönelimlere sahip tabakalardan oluşması yüksek mukavemet sağlar ve bu yapılar ısı ve neme karşı dayanımları oldukça yüksektir (Harris 1986).

Kompozit yapı içerisinde birden fazla takviye elamanı kullanılabilmektedir. Bu yapılara karma yahut hibrit kompozit malzeme grubu denir. Bu yapılarda amaç istenilen özelliğin birden fazla takviye vasıtası ile sağlanmasıdır. Örneğin yüksek tokluk sağlayan ancak basma mukavemeti düşük olan kevlar, düşük tokluğa ve yüksek basma mukavemetine sahip olan grafitle aynı kompozit içerisinde bir kombinasyonla kullanımı malzemenin yüksek toklukta ve basma mukavemetinde olmasını sağlar. Bu yapılar yeni kompozit tasarımlarına imkân sağlamaktadırlar (Nas, Gökkaya et al. 2013).

3.2 Kompozit Fren Balataları ve Özellikleri

Fren balataları otomobillerde kullanılan en temel, sürtünme gereçlerdir (Yawas, Aku et al. 2016).

Bunun yanında balatalar fren sistemleri için; taşıtların tekerlekleri ile, ilgili fren sisteminin parçasına (disk/kampana) uygulanmış olan frenleme kuvvetini, sürtünme vasıtasıyla aktaran bir eleman olarak da tanımlanabilir (T.S.E. 1992).

Pabuçla çeşitli usullerle birleştirilmiş olan balata, pabuçla disk yahut kampana arasında meydana gelecek olan, sürtünme görevini yerine getirir (Reinsch 1970).

Fren sistemlerinin başlıca görev ve enerji dönüşümdür ve bu dönüşüm ise, sürtünme vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu sebeptendir ki sürtünme fren sistemi için hayatidir ve içerdiği sürtünme gereçlerinin özellikleri, ayrıca önem taşır. Bu gereçlerden beklenilen özelliklerin başında fren kuvvetlerine karşı dayanım, sürtünme yüzeyine tam oturma ve elbette iyi aşınma direnci gelir (T.S.E. 1992).

Bunların yanında balataların servis şartlarını, çeşitli faktörler etkiler. Faktörlerin birisi de enerji dönüşüm sonunda açığa çıkan ısı neticesinde artan sıcaklıktır. Çünkü bu sıcaklık artışı balata malzemelerin sürtünme katsayılarını doğrudan etkiler ve düşmesine neden olur. Bu durumda sürtünme sistemini olumsuz etkiler (Anlaş 1988).

Sürtünme katsayısı disk yahut kampanyayla, balata arasında oluşan sürtünme kuvvetlerinin normal kuvvete oranı olarak tanımlanabilir (T.S.E. 1992).

TS 555'e göre, sürtünme katsayısı, iki grupta incelenir. 300, 350, 400, santigrat derece sıcaklıklarda ölçülmüş olan katsayılar, aritmetik ortalaması, sıcak, sürtünme katsayısı, yine yüz 100, 150, 200, yüz santigrat sıcaklıklarda yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması ise soğuk, sürtünme katsayısı olarak incelenir.

Çizelge 3.2. TS 555' e göre Balataların sürtünme katsayılarına göre sınıfları

Sınıf	Sürtünme Katsayısı (μ)
C	0.15
D	0.15-0.25
E	0.25-0.35
F	0.35-0.45
G	0.45-0.55
H	>0.55

Fren balatalarının servis şartları pek çok farklı değişken koşul içerir. Tüm bu koşullar balataların performanslarını doğrudan yada dolaylı olarak etkiler. Değişen tüm bu koşullarda balatalardan beklenen performansın sağlanabilmesi için başlıca özelliklerini belirlemek gerekir.

Balataların performansına; farklı ağırlıklardaki yükler, yüzeyine etkiyen basınç, değişen hız ve doğal olarak, sürtünme sonucu açığa çıkan ısının getirdiği termal değişimler doğrudan etkilidir. Bu etkiler balatalardan istenen özellikleri de değiştirmektedir (Morshed and Haseeb 2004).

Tüm bunlarla beraber değişen çevre koşulları ve iklimsel etkiler, yol koşulları, frenleme süreleri, sürücünün uzmanlığı, ani frenleme gibi daha pek çok faktör balataların performansını etkiler (Katz and Milewski 1978).

Bütün bir şekilde fren balataları açısından teorik olarak, sürtünme ve aşınma olayına bilimsel olarak ayrım getirmek zordur. Bunun yerine temel çalışma mekanizmalarının etkileşimlerini oluşturan makul etmenlerle fren performansı etkisi açıklanabilir.

Genel olarak şartlar göz önünde bulundurulduğunda balatalar tüm değişken koşullarda, aşağıda belirtilen özelliklerini muhafaza etmeli ve kullanımı boyunca stabil bir performans sergilemelidir.

Literatürde istenilen özellikler şöyle sıralanmaktadır (Timur and Kılıç 2013) ;

- Her çalışma şartlarında sabit sürtünme performansı,
- Sürtünme katsayısının sıcaklık, fren basıncı ve hızdan bağımsız olması veya sürtünme davranışındaki değişimin az olması,
- Yüksek sıcaklık direnci,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- İyi korozyon direnci,
- Yüksek mekanik mukavemet,
- Düşük gürültü seviyesi,
- Hava koşullarından etkilenmeme,
- Balata malzemesinin sağlığa zararsız olması,
- Yüksek aşınma mukavemeti ve karşı malzemede düşük aşınma istenmektedir,

Geçmişten günümüze balataların içerdiği sürtünme malzemelerine bağlı olarak, literatürde bazı sınıflara ayrılmıştır. Bunlar organik içerikli, metalik içerikli ve karbon içerikli olarak sınıflanır.

Kompozit fren balatalarında kullanılan malzemeler geniş bir yelpazeye oturmaktadır. Bu malzemeler incelenirken balata içerisindeki işlevlerine göre kategorize edilirler. Bu kategoriler genel olarak kompozit malzeme içerisindeki takviyeler, sürtünme performansını düzenleyen ekler, bağlayıcı reçineler ve dolgu malzemeleri olarak gruplanırlar.

Katkı malzemelerin başında son yirmi otuz yıl önceye kadar asbest elyafı gelmekteydi, ancak insan sağlığına olan olumsuz etkileri gerek ulusal gerekse uluslararası sağlık örgütlerinin yaptığı çalışmalarla kullanımı büyük oranda yasaklanmıştır. Bu yüzden günümüzde asbeste alternatif olarak balatalarda bir ya da birkaç katkı maddesi kullanılmaktadır. Genel olarak cam elyaf, çelik elyaf, taş yünü, kevlar, bor elyaf gibi elyaf türleri kullanılmakla beraber araştırmacılar çam fıstığı kozalağı, hurma çekirdeği lifleri, Cezayir menekşesi kabuğu gibi alternatif ekolojik malzemelerin kullanılabilirliğini araştırmaktadırlar.

Dolgu malzemeleri fren balatasının bünyesine genel olarak kompozit yapıyı, istenilen özeliklerini bozmadan tamamlamak için eklenen malzemelerdir. Bu malzemeler ayrıca yapının mukavemetinin artırılması, yapıdaki ısı dağılımının homojen

sağlanması, korozyona karşı direncin artırılması gibi katkı sağlayan özelliklerde olması beklenir. Ayrıca dolgu malzemeleri yapı içinde kararlı ve kalıcı olmalıdır. Kullanımında temel sebeplerden birside maliyet faktörünü düşürmektir. Metalik, organik, seramik esaslı olabilirler. Başlıca kullanılan dolgu malzemelerinden bazıları; alçı, potasyum titanat, kil, kalsiyum karbonat, mika ve barittir.

Sürtünme düzenleyici malzemeler direk olarak balatanın sürtünme performansına etkir. Bu malzemeler balataların sürtünme katsayısı düzenlemek için kullanılırlar. Bu gruptaki malzemeler incelenirken kendi içlerinde sınıflandırılırlar. Sürtünme katsayısını artırmak için konulan abrasif özellikli malzemeler ve yine sürtünme katsayısını düzenleyen katı yağlayıcılar. Abrasif özellikli malzemeler aşındırıcı özellik sağlamakta kullanılırken, katı yağlayıcılar sürtünme ortamında sabit bir sürtünme katsayısı sağlamakta kullanılır. Genel olarak abrasif özellikte alüminyum oksit gibi metal oksitler ve çeşitli metal tozları kullanılmaktadır. Bu metal tozlarının ayrıca ısı iletimlerine fayda sağladığı bilinmektedir (Bijwe 1997). Katı yağlayıcı olarak ise genelde grafit tozu ve bronz tozu kullanılır.

Kompozit fren balatalarının ihtiva ettiği bütün bileşimleri kullanımında ve öncesinde bütün olarak tutan yapı elemanları bağlayıcılarıdır. Yapı bütünlüğünün sağlanmasındaki en kritik bileşendir (Anderson 1992). Bu malzemelerden yüksek ısı dayanımı, oksitlenme ve yanma direnci beklenir. Genel olarak yüksek sıcaklıklarda sertleşen termoset polimer reçineler içerdikleri mekanik özelliklerden dolayı tercih edilirler. Bir balata bünyesinde bir veya birden fazla bağlayıcı içerebilir (Vishwanath, Verma et al. 1993). Yaygın olarak otomotiv endüstrisinde fenol formaldehit reçineler kullanılmaktadır.

Balata malzemesinin sürtünme özellikleri, malzemenin kullanım süresi boyunca stabil olmalıdır ve malzeme seçimi yapılırken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır (Ellis 1998).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Malzeme Seçimi

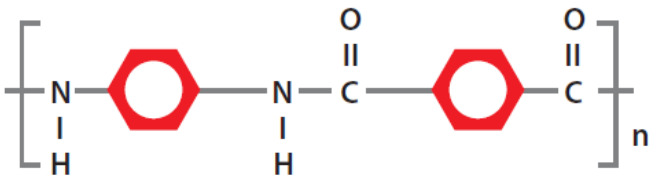
Çalışma amacına uygun olarak Twaron bu çalışmada fren balatası için takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Kompozit balata malzemelerinde kullanılan malzeme gruplarındaki malzeme seçimi; maliyet, kolay temin edilebilirlik ve üretilebilirlik kıstasına göre yapılmıştır. Buna göre bağlayıcı olarak fenolik reçine, dolgu malzemesi olarak kalsiyum karbonat, katı yağlayıcı olarak grafit ve abrasif olarak alüminyum oksit kullanılmıştır.

Twaron

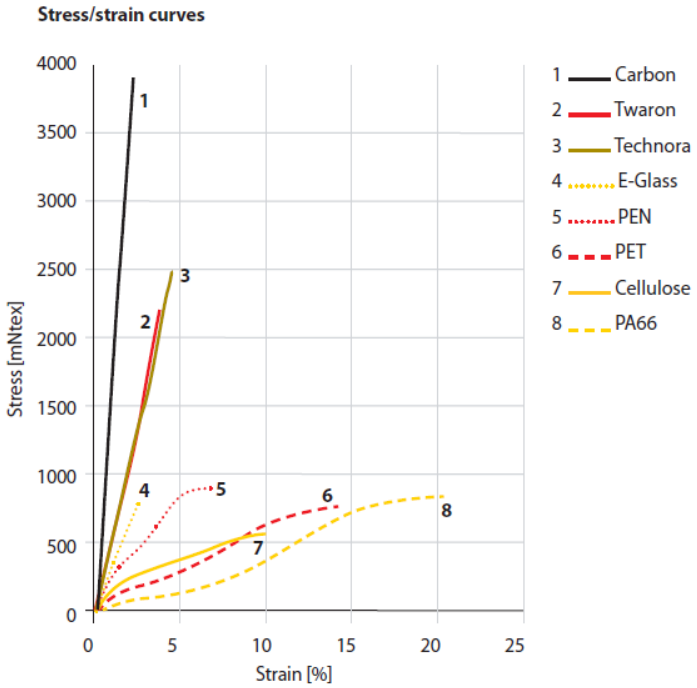
Twaron Tejin firmasının ana para- aramid ürünü olan yüksek performanslı sentetik bir elyaftır. Mükemmel dayanımı, kimyasal direnci ve termal istikrar açısından dengelenmiş bir performans sunması gibi mekanik özelliklerinden dolayı sanayi uygulamalarında oldukça yaygınlaşmıştır.

Balistik uygulamaları, ısı ve kesme koruma, petrol ve gaz endüstrisi, fiber optik kablo sanayi ve otomotiv endüstrisi gibi pek çok zorlu uygulama gerektiren alanda yaygın kullanım ağına sahiptir. Twaronun diğer sentetik liflerden ayıran temel özellikler başlıca aşağıdaki gibidir(Tejin 2015).

- Yüksek mukavemeti (mükemmel dayanım –ağırlık özellikleri)
- Yüksek modül
- Yüksek boyutsal kararlılık
- Mükemmel ısı, kesme ve kimyasal dayanımı
- Erime noktasına sahip olmaması
- Zor tutuşabilir olması
- İletken olmayışı



Şekil 4.1. Twaronun moleküler yapısı

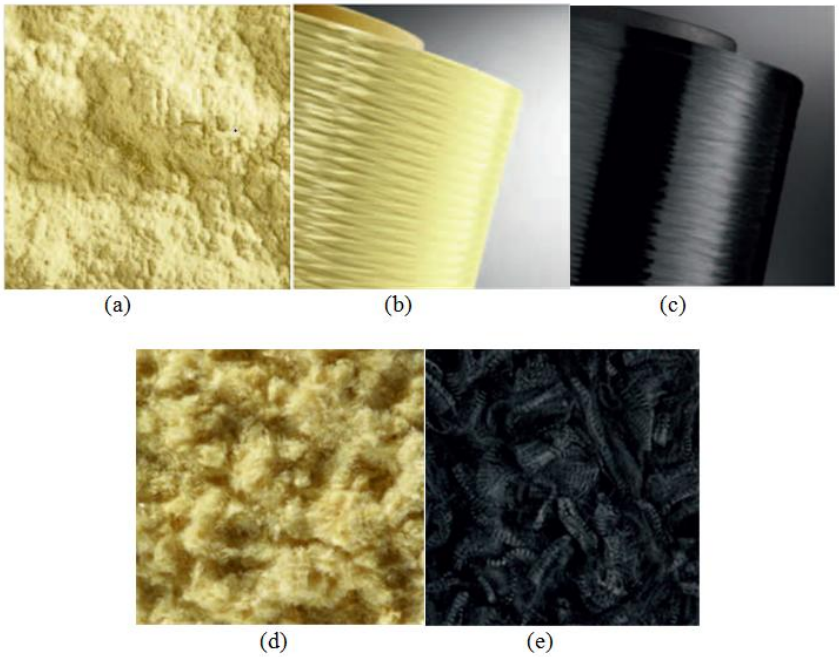


Şekil 4.2. Twaron ve diğer sentetik liflerin starin – stress grafiğinde karşılaştırılması

Çizelge 4.1. Twaronun bazı mekanik özellikleri

Özellik	Twaron
Yoğunluk (g/cm^3)	1.44-1.45
Kopma mukavemeti (GPa)	2.4-3.6
Çekme Dayanımı (N/tex)	1.65-2.5
Modül (GPa)	60-120
Kopma uzaması (%)	2.2-4.4
Nem (Wt%)	3.2-5

Twaron her monemerlerden üç aşamada üretilir. Bu aşamalar polimerizasyon, filament iplik eğirme ve dönüştürme aşamalarıdır.



Şekil 4.3. **(a)** Toz halinde üretilmiş twaron, **(b)** Doğal sarı renkteki twaron elyafı, **(c)** Eriyikten boyalı siyah twaron elyafı, **(d)**Kırpılmış sarı renkli twaron, **(e)** Kırpılmış siyah renkli twaron

Kalsiyum Karbonat

Kalsiyum karbonat, halk arasında kireç taşı olarak bilinen bir tür kimyasal bileşiktir. Bileşik formülü CaCO3 seklindedir. Baritin ucuz bir alternatifidir. Fakat yüksek sıcaklıklarda barit kadar kararlı davranış gösteremezler Kalsiyum karbonat plastiklerde sıklıkla dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kullanıldığı yere göre kompozitin mekanik dayanımını, elektriksel direncini ve rijitligini artırmaktadır. Ayrıca atmosfer basıncı altında kalsiyum karbonat 898ºC de ayrışarak karbon dioksit gazı açıga çıkarır. Kalsiyum karbonat düşük maliyetinden ve yüksek sıcaklıklara dayanımından ötürü balata sektöründe de dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Fenolik Reçine

Fenolik reçine genelde, fenol ve formaldehitten imal edilir. Bakalit olarak bilinen fenol ve formaldehit reçineleri, ısı ve basınç altında kalıplandıklarında, iyi ısıl ve kimyasal direnç, iyi elektrik kuvveti, iyi boyutsal kararlılık ve düşük maliyette kalıplaşabilme özelliğine sahip olurlar. Termoset reçine grubuna giren fenolik reçine genellikle yüksek basınç altında ve 140-180 ºC sıcaklıklarında kürlenir (Sulaiman, Yunus et al. 2008). En yaygın ve kuvvetli bağlayıcıdır. Çok fazla kullanıldığında yüksek sıcaklıklarda sürtünme katsayısında büyük oranda düşmeye neden olur. Polimer çapraz bağlanma derecesi, sürtünme davranışını etkiler (Spurr 1972).

Çizelge 4.2. Fenolik reçinenin bazı fiziksel özellikleri

Özellik	Fenolik Reçine
Saflık (%)	90
Max. Granül Boyutu (µm)	63
Max. Fenol Miktarı (%)	0,5

Alüminyum Oksit

Yoğunluğu 3,97 g/cm^3 arasında, Mohs sertliği 9 ve ortalama toz boyutu 120 µm civarındadır. Erime sıcaklığı 2050 ^{o}C ve ergime ısısı 5100–6000 cal/gr.mol olarak belirtilmiştir. Aşınma dayanımını artırmak için ve yüzey parlatıcı olmak üzere hidratlanmış şekilde balata ya bünyesinde yer alır. Abrasif etkisinden dolayı fade etkisi denilen; ısının artması sonucu balata performansını düşüren etkiye neden olabilir. Susuz hali daha aşındırıcı olmakla birlikte en aşındırıcı formu birleştirilmiş olanıdır.

Çizelge 4.3. alüminyum oksitin bazı fiziksel özellikleri

Özellik	Al_2O_3
Saflık (%)	98,5
Yoğunluk (g/cm^3)	3,45
1000 ^{o}C' deki ateş zayiatı (%)	1

Grafit

Grafit, karbonun çok yapılı şekillerinden biri olup tabakalı bir yapıya sahiptir. Tabakalar kendi aralarında zayıf ikincil bağlarla bağlı olduğundan birbirleri üzerinde kolayca kayar. Tabakaların kayma kolaylığı, grafite yağlayıcılık özelliği verir. Bu özeliğiyle grafit balatalarda sürtünme ayarlayıcı olarak kullanılır (Öztürk, Arslan et al. 2007). Sürtünme ayarlayıcı malzemeler arasında önemli bir yeri olan grafit, balata içerisinde yeterli miktarlarda ayarlandığında sürtünme katsayısının istenilen değerlerde olmasını sağlar.

Çizelge 4.4. Grafitin bazı fiziksel özellikleri

Özellik	Grafit
Saflık (%)	85
Nem (%)	1,5

Kullanılan malzemeler toz halinde temin edilmiş olup literatür incelenerek baz formül belirlenmeye çalışılmıştır. Baz formülün belirlenmesi için birkaç farklı içerikte üretim yapılmış ve nihayetinde aşağıdaki kompozisyonda karar kılınmıştır.

Çizelge 4.5. Twaron esaslı üretilen fren balata numunelerinin kompozisyon aralığı

FONKSİYON	MALZEME	AĞIRLIKÇA MİKTAR (%)
Bağlayıcı	Fenolik reçine	25
Dolgu	$CaCO_3$	30-45
Takviye	Twaron	5-20
Katı yağlayıcı	Grafit	10
Abrasif	Al_2O_3	15

Takviye olarak kullanılan twaronun içeriği %5 değiştirilerek %5-%20 arasında Twaron içeren 4 farklı grupta balata numuneleri üretilmiştir. Takviye oranının değişiminin dengelenmesi amacıyla dolgu malzemesinin oranı da değiştirilmiş olup diğer malzeme gruplarının oranı sabit tutulmuştur. Twaronun balata malzemesi olarak etkilerinin belirlenmesi için oranı değiştirilmiş olup dengeleyici olarak dolgu malzemesinin tercih edilmesi, dolgu malzemelerinin balata özelliklerini etkilemeyecek olmasıdır (Mutlu, Oner et al. 2007).

Numune gruplarının içerdikleri Twaron miktarına göre Tw5, Tw10, Tw15, Tw20 olarak kodlanmıştır. Numune gruplarının içeriği aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

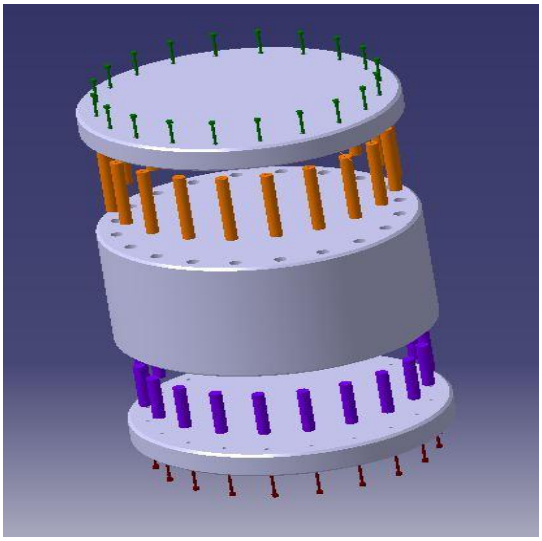
Çizelge 4.6. Üretilen Numunelerin Kimyasal Kompozisyonları

	Kompozisyon içerisindeki oran (ağırlıkça %)			
Malzeme	**Tw5**	**Tw10**	**Tw15**	**Tw20**
Fenolik reçine	25	25	25	25
$CaCO_3$	45	40	35	30
Twaron	5	10	15	20
Grafit	10	10	10	10
Al_2O_3	15	15	15	15

Tw5-Tw20 aralığından deneysel sonuçların bilimsel analizi için her gruptan 12 tane olmak üzere toplam 48 adet numune üretilmiştir.

4.2. Karışımın Hazırlanışı ve Numune Üretimi

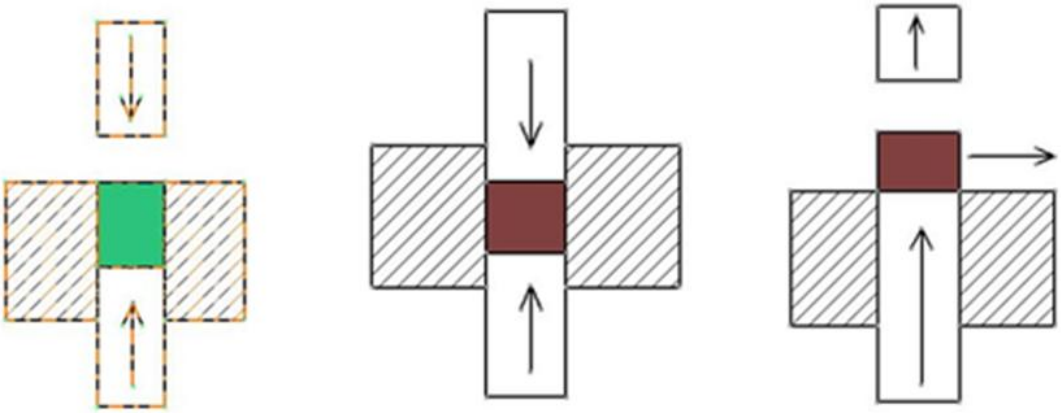
Malzeme bileşiminin oranı kütlesel olarak ele alınmıştır. Bunun nedeni oranları belirlemede hesap kolaylığı sağlamasıdır. Kompozisyonları sağlamak için toz halindeki numuneleri 0,001 gr hassasiyetindeki elektronik hassas teraziyle tartılmış yine 1000 d/dk ya sahip elektronik bir karıştırıcıya alınmıştır. Bu karıştırıcı içerisinde homojenliği sağlamak için tozlar 10 dk süre ile karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra yeniden hassas teraziyle tartım işlemi yapılmış ve kalıbın her bir boşluğuna 6gr olacak şekilde presleme işlemi için kalıba alınmıştır.



Şekil 4.4. Preste kullanılan kalıbın şematik görüntüsü

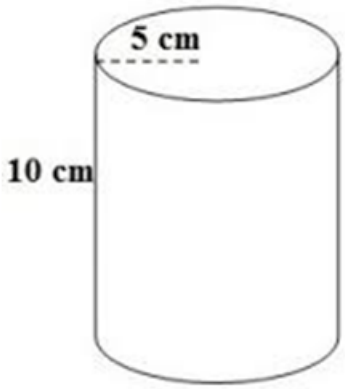
4.2.1. Presleme İşlemi

Malzeme seçimi balata performansını etkileyen önemli bir faktördür. Ancak bunun yanında üretim parametrelerinin de performansa büyük etkisi vardır (Kuş. R. 2010). Bu parametrelerin başında presleme esnasında uygulanan basınç, presleme süresi ve presleme sıcaklığı gelir. Üretilmesi amaçlanan numunelerin içeriğinde bağlayıcı olarak fenolik reçine seçildiğinden sıcak presleme yöntemi kullanılmıştır. Literatürde gerek sıcaklıkla ve gerekse uygulanan presleme basıncına dair bilgiler bulunmaktadır. Yaptığımız çalışmada, birkaç üretim denemesinden sonra 160^{o}C de, 100 MPa basınçta ve 10 dk. süre ile çalışılmasının uygun olduğu kanaatine varılmıştır. Presleme işlemi sırasında kalıp ısıtılıp, sıcaklığın homojen şekilde ısıtıcıdan kalıba dağılması için bir süre beklenmiştir.



Şekil 4.5. Kullanılan presin şematik görüntüsü

Presleme işlemi sonrasında balata numunelerinin özelliklerini iyileştirmek ve içerisinde bağlayıcı olarak kullanılan fenolik reçinenin bağlama özelliğini artırmak için numuneler 6sa. süre ile 160^{o}C de etüv fırınında kürlenmiştir (Singh, Patnaik et al. 2016).



Şekil 4.6. Numune ebatlarının şematik gösterimi

4.3. Uygulanan Testler

4.3.1. Sertlik Testi

Sertlik, bir metalin kalıcı (yoğruk) biçim değiştirmeye veya plastik deformasyona karşı direncinin bir ölçüsüdür (Smith 2001). Malzemelerin sertlik deneyi, genellikle kendisinden daha sert bir malzemeden yapılmış olan bir batıcının malzeme yüzeyine batırılmasıyla yapılır. Batırma işleminden sonra bu batıcının bıraktığı izin batırma derinliği veya batma kesiti alanı esas alınarak sertlik değeri belirlenir. Bu batıcılar genellikle küre, piramit veya koni şeklindedir.

Sertlik deneyi malzemenin mekanik özellikleri hakkında genel bir bilgi edinilmesini sağlayan en basit ve en genel yöntemlerdendir. Malzemelerin sertliği onların kalıcı biçim değiştirme kolaylığıyla doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden malzemenin sertlik değerinin belirlenmesi ile, onun mukavemeti hakkında bilgi edinmek mümkündür.

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında, Digirock RBOV marka deney cihazı kullanılarak deney gerçekleştirilmiştir. Malzeme içeriği ve literatür göz önünde bulundurularak numunelerin sertlik ölçümleri Rockwell ‘R’ skalası esas alınarak yapılmıştır. Her kompozisyondan 3’er adet numuneden 3 ‘er kez sertlik alınarak deney tekrar edilmiştir.



Şekil 4.7. Kullanılan sertlik ölçme cihazının görüntüsü

4.3.2. Basma Testi

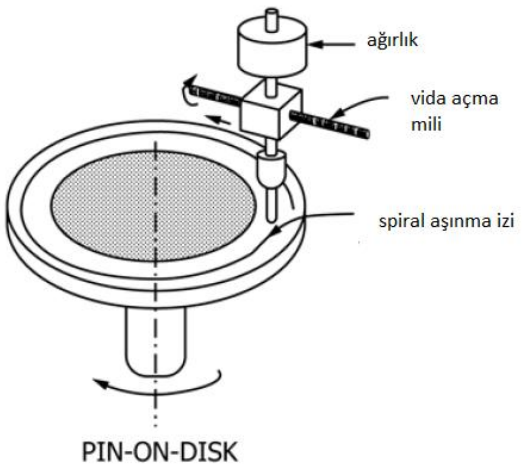
Basma testi her farklı kompozisyon grubundaki 3 adet numuneye uygulanacak şekilde, toplamda 12 adet numuneye uygulanmıştır. Test yapılırken test yapılacak cihazın ve özellikle tablanın temiz olmasına dikkat edilmiştir. Numuneler teste başlamadan önce test cihazının tablasının merkezine gelecek şekilde yerleştirilip cihazın göstergesi sıfırlanarak teste başlanmıştır. Uygulanan basma testleri neticesinde numunelere uygulanan maksimum yük değerleri kayıt edilmiştir. Aynı kompozisyona sahip numunelerin ortalama test sonuçları alınarak değerlendirilmiştir.

4.3.3. Pin- on Disk sürtünme testi

Pin on Disk aşınma testi ASTM nin ilgili standartları olan ASTM G99-95 baz alınarak Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında yer alan Pin-on Disk test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan test cihazının karşı aşınma malzemesi olan disk gri dökme demirden imal edilmiş olup sertliği 197 HB'dir, ayrıca kimyasal kompozisyonu aşağıdaki grafikte verilmiştir.

Çizelge 4.7. Pin on disk deneyinde kullanılan diskin kimyasal bileşimi

Element	C	Si	Mn	S	P	Cr
İçerik (%)	3,81	1,85	0,87	0,045	0,084	0,04



Şekil 4.8. Pin on disk test düzeneğinin şematik görüntüsü

Aşınma deneyi 30N- 40N- 50N aralığında değişen yüklerde, sabit 1m/s hızda ve 1000m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Her farklı kompozisyon grubundan numune ve ticari bir fen balatası deneye tabi tutulmuş ve bilimsel olarak sonuçların yorumlanması için testler 3 er kez tekrarlanmıştır. Çıkan sonuçlar grafik halinde sonuçlar bölümünde verilmiş ve yorumlanmaya çalışılmıştır.

4.3.4 Pürüzlülük

Selçuk üniversitesi Teknoloji Fakültesinde Mahr M400 markalı yüzey pürüzlülük cihazı ile gerek numunelerden gerekse aşınma deneyi kullanılan pin-on-disk cihazının diskinden sürtünme yüzeylerinden ve sürtünmemiş bölgelerden değerler ölçülmüştür.

4.3.5. SEM görüntüleri optik mikroskop ve stereo mikroskop görüntüleri

Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji araştırma ve uygulama merkezinde numunelerin aşınan yüzeylerinin farklı yakınlaştırma aralığındaki görüntüleri alınmıştır. Alınan bu görüntüler sonuçlar kısmında verilmiş olup, yorumlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'nde Canon MAA 100 markalı optik mikroskoptan numunelerin aşınma yüzeylerinin görüntüleri, ve aşınma izlerinin karakterini anlamak için subsurface görüntüleri alınarak incelenmiştir. Numunelerin aşınma yüzeylerinin görüntüleri Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'nde Vision SX 80 markalı stereo mikroskopla alınarak incelenmiştir.

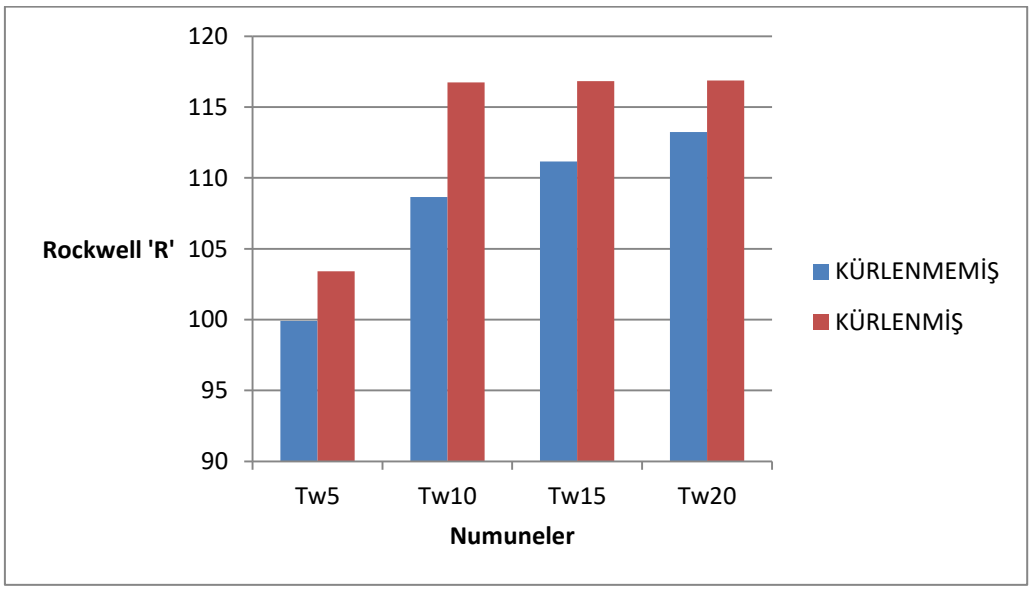
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1 Sertlik Testi Sonuçları

Sertlik testi numuneleri kürlemeden önce ve kürlendikten sonra tekrarlanmıştır. Aynı kimyasal bileşimdeki her numune için yüzeylerinin farklı noktalrında sertlik değerleri alınarak, alınan değerlerin ortalamaları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.1. Sertlik Değerleri tablosu

ORTALAM SERTLİK DEĞERLERİ (ROCKWELL 'R')				
Numuneler	**Tw5**	**Tw10**	**Tw15**	**Tw20**
Kürlenmemiş	99,9	108,66	111,16	113,24
Kürlenmiş	103,4	116,73	116,82	116,88
Ticari Fren Balatası	105			

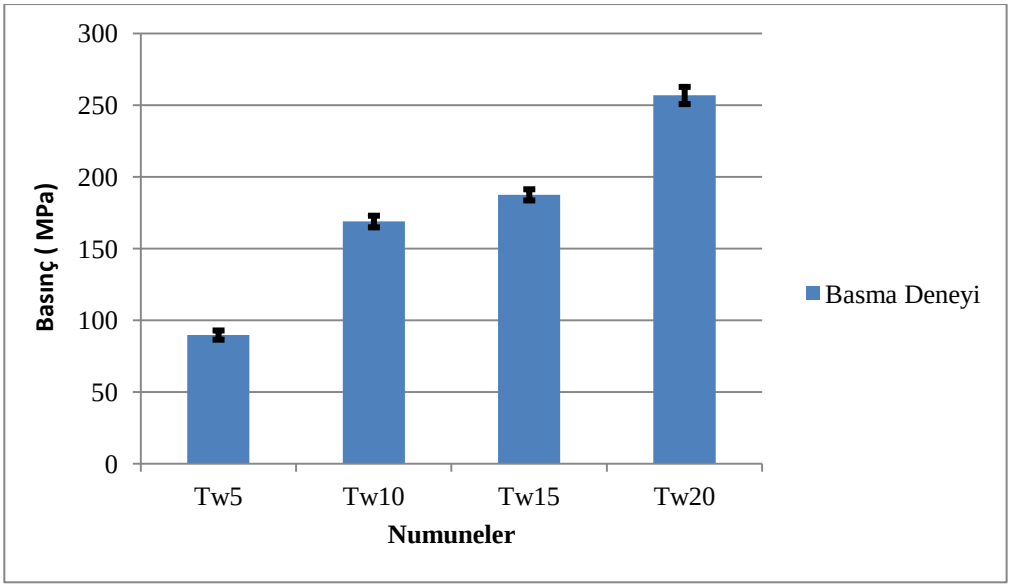


Şekil 5.1. Numunelerin Sertlik değerleri grafiği

Sertlik değerleri numunelerin kürlenmesiyle beraber beklendiği üzere artış göstermiştir. Numunelerin içerdiği Twaron miktarı arttıkça sertlik değerleri artmakla birlikte aralarındaki farkın çok az olduğu görülmüştür. Numunelerin sertlik değerlerinin literatürde yapılan benzer çalışmalarla mukayese edildiğinde benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Singh, Patnaik et al. 2016).

5.2 Basma Testi Sonuçları

Numunelerin basma mukavemetini belirlemek için yapılan basma deneyinde, aynı kompozisyona sahip numunelerde deney 3'er kez tekrar edilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, aynı kompozisyona sahip numunelerin basma deneyi verilerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Elde edilen verilerden oluşturulan grafikte farklı kompozisyonlara sahip numuneler bir arada verilerek kıyaslanmaya çalışılmıştır. Ayrıca numunelere uygulanan maksimum basınç değerlerinin aritmetik ortalamaları kullanılarak bir tablo oluşturulmuş ve aşağıda verilmiştir.



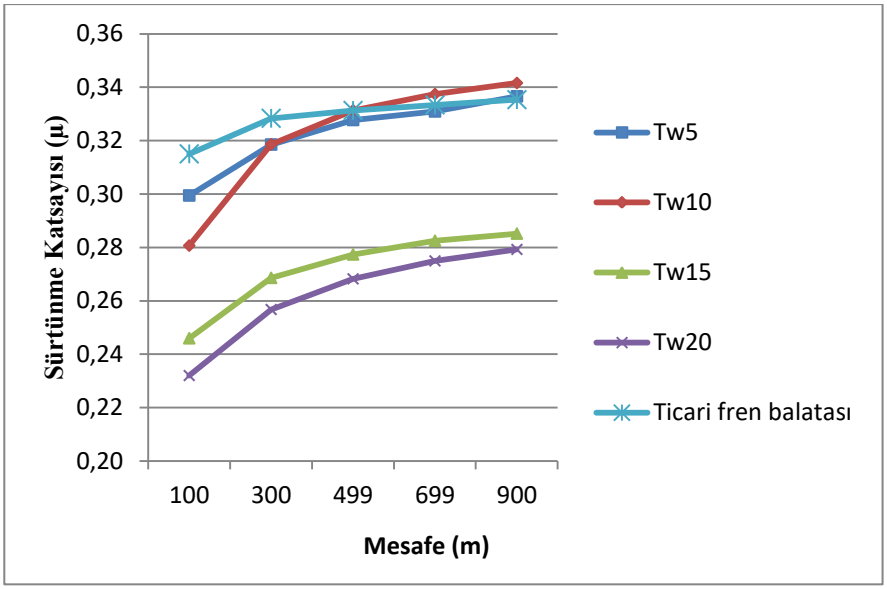
Şekil 5.2. Basma Deneyi Verilerinin Aritmetik Ortalamalarının Karşılaştırılması

Yapılan çalışma sonucunda twaron oranı en yüksek olan Tw20'nin en iyi değere sahipken Tw5 en düşük değere sahiptir. Twaron oranı arttıkça numunelerin basma mukavemeti artmıştır.

5.3. Pin - on- Disk Sürtünme Test Sonuçları

Deney 1000 m sabit kayma mesafesinde ve 1m/s sabit hızda gerçekleştirilmiştir. Deneyde 30N - 40N - 50N olmak üzere üç farklı yük uygulanmıştır. Her farklı kompozisyona sahip numune grupları için her yükte deney 3'er kez tekrar etmek suretiyle deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde, seçilen bir ticari fren balatasından numune hazırlanarak bu farklı yüklerde, her yük için 3'er kez denenerek test edilmiştir. Deney düzeneğine bağlı bir bilgisayar yardımıyla veri alınarak kaydedilmiştir. Bu verilerden sürtünme katsayıları hesaplanmış sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

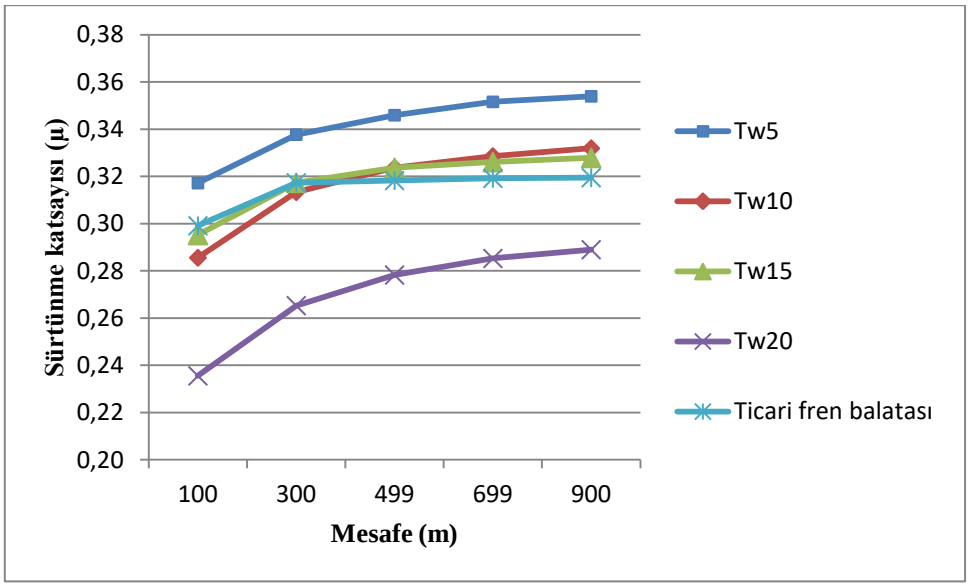
i) 30N Yükteki Deney Grafikleri



Şekil 5.3. 30N yükte Tw5,Tw10,Tw15,Tw20 kodlu numunelerin ve ticari fren balatasının sürtünme katsayısı- mesafe grafiği

Deney verilerinden elde edilen sonuçlardan çizilen yukarıdaki sürtünme katsayısı mesafe grafiğinden Tw5,Tw10 kodlu numunelerin ve ticari fren balatasının 30N yükteki sürtünme katsayı değerleri birbirlerine çok yakın olmakla beraber Tw15 ve Tw20 kodlu numunelerin sürtünme katsayıları daha düşük değerlere ulaşmıştır.

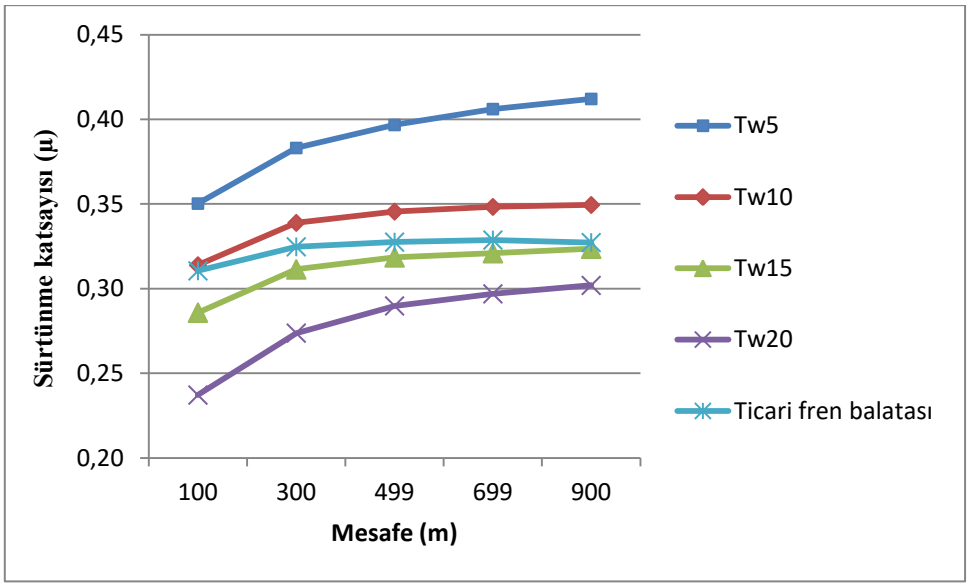
ii) 40N yükteki Deney Grafikleri



Şekil 5.4. 40N yükte Tw5,Tw10,Tw15,Tw20 kodlu numunelerin ve ticari fren balatasının sürtünme katsayısı- mesafe grafiği

Deney verilerinden elde edilen sonuçlardan çizilen yukarıdaki sürtünme katsayısı mesafe grafiğinden, Tw5 kodlu numunenin diğer numunelere ve ticari fren balatasına göre daha yüksek değere sahip olduğu ve Tw10 ve Tw15 kodlu numunelerin ticari fren balatasına çok yakın değerlere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte Tw20 kodlu numunenin sürtünme katsayısı değeri daha düşük değerlere ulaşmıştır.

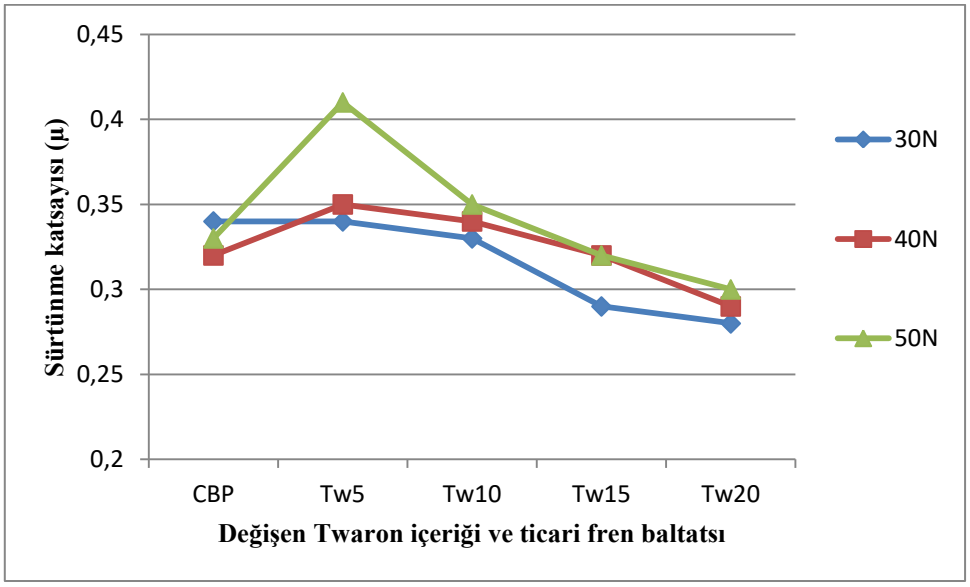
iii) 50N Yükteki Deney Grafikleri



Şekil 5.5. 50N yükte Tw5,Tw10,Tw15,Tw20 kodlu numunelerin ve ticari fren balatasının sürtünme katsayısı- mesafe grafiği

Deney verilerinden elde edilen sonuçlardan çizilen yukarıdaki sürtünme katsayısı mesafe grafiğinden, Tw5 kodlu numunenin sürtünme katsayısı değeri tüm numunelerden daha yüksek olmakla beraber Tw10 kodlu numunenin sürtünme katsayısı ile beraber ticari fren balatasının sürtünme katsayısı değerinden daha yüksektir. Tw15 kodlu numunenin ticari fren balatasının sürtünme katsayısı değerine yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür. Yine bu sonuçlardan Tw20 kodlu numunenin en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu anlaşılmaktadır.

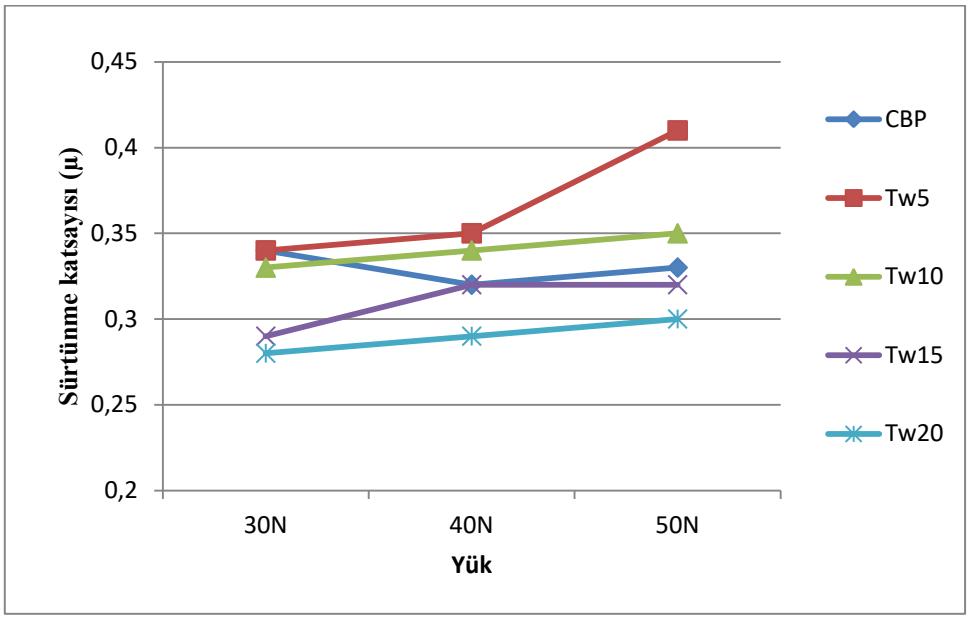
iv) Sürtünme katsayısı – Twaron içeriği



Şekil 5.6. 900m mesafede değişen twaron içeriğinde sürtünme katsayısı dağılımı

Değişen twaron içerine karşın sürtünme katsayısı dağılımı grafiği incelendiğinde Tw5 kodlu numunenin sağladığı sürtünme katsayısı değerleri diğer numunelere ve ticari fren balatasına göre daha yüksek değerler içerirken Tw10 kodlu numunenin sürtünme katsayısı dağılımı ticari fren balatasına yakın değerler sergilemektedir. Tw15 veTw20 kodlu numunelerin sürtünme katsayısı değerleri daha düşük bir eğilim göstermiştir. Para aramid türü elyafların yağlayıcı özelliğe sahip olmaları genel olarak twaron miktarının artışıyla sürtünme katsayılarındaki düşüşü açıklamaktadır.

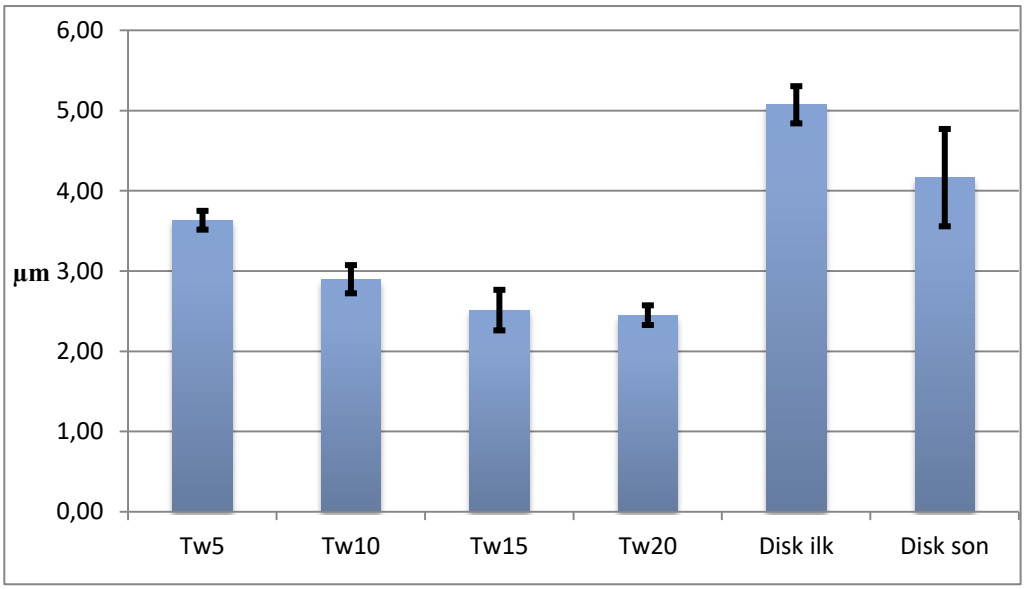
v) Sürtünme katsayısı- yük değişimi



Şekil 5.7. 900m mesafede değişen yüklerde sürtünme katsayısı dağılımı

Değişen yüklerde numunelerin ve ticari fren balatasının sürtünme katsayılarının değerleri incelendiğinde tüm numunelerin ve ticari fren balatasının artan yüklerde sürtünme katsayıları artmıştır. Bununla beraber Tw10 kodlu numunenin sürtünme katsayısı değerleri artan yüklerde diğer numunelere nispeten daha kararlı değerler göstererek ticari fren balatasına bu bağlamda daha yakın bir değer aralığı sergilemiştir.

5.4. Pürüzlülük Sonuçları

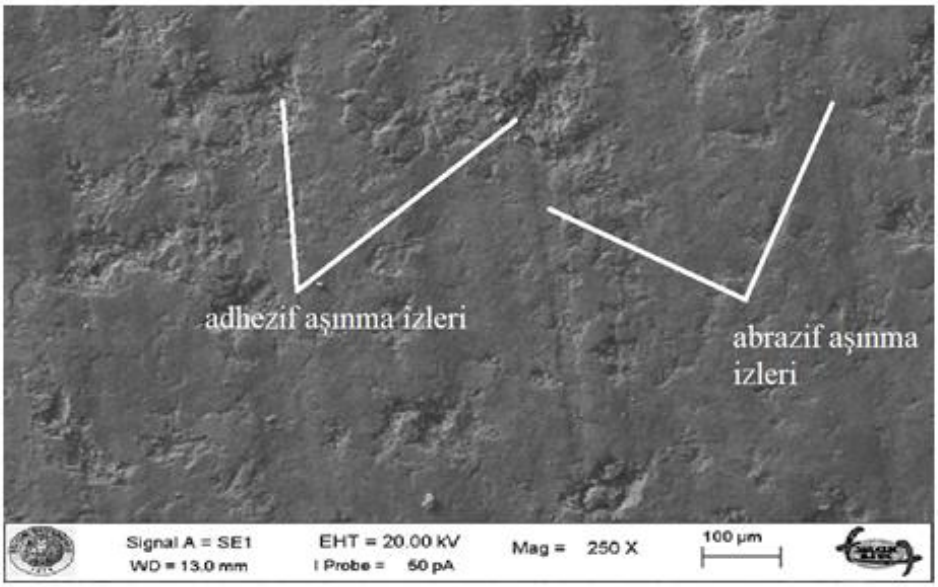


Şekil.5.6. Numunelerin ve pin- on disk deneyinde kullanılan diskin ortalama pürüzlülük değerleri

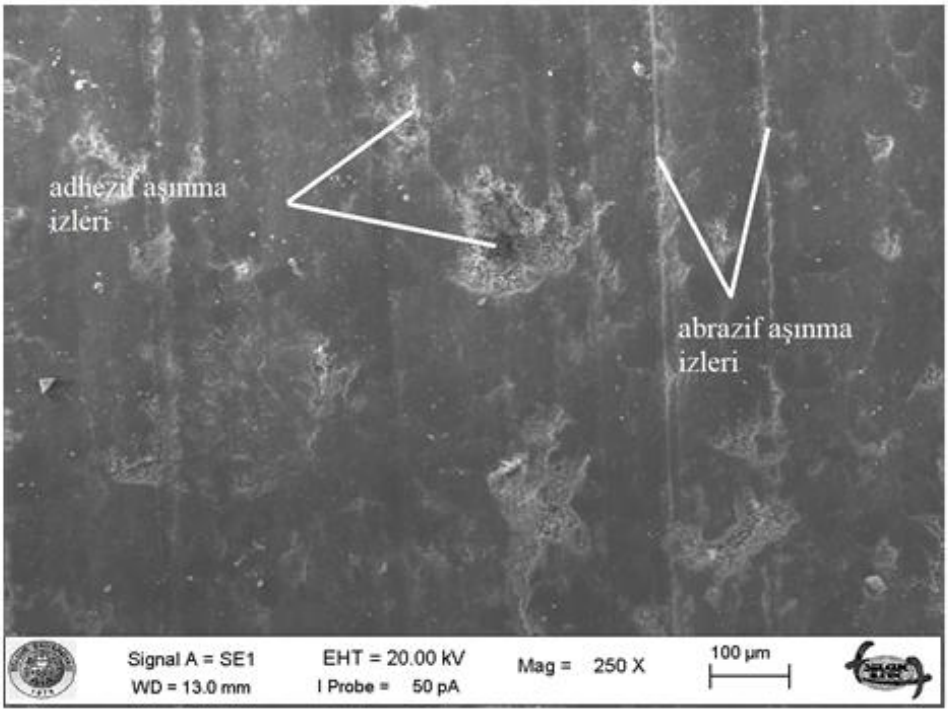
Numunelerin yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına bakıldığında twaron içeriği arttıkça, deney sonrası yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Yüzey pürüzlülük değerlerinin sertlik testi sonuçlarıyla arasında bir bağlantı kurmak gerekirse artan sertlik değeri aşınmaya karşı direncin artmasına neden olduğu söylenebilir.

Pin- on Disk sürtünme testinde karşı yüzey olarak kullanılan diskin aşınmadan önceki (disk ilk) ve sonraki (disk son) değeri ölçülmüş ve sonuçlara göre aşınma sonrası diskin yüzey pürüzlülüğünde düşüş olduğu görülmüştür. Bu durumda aşınma sırasında numunelerin diskin yüzeyinde yağlama yaptığı sonucuna ulaşılmıştır.

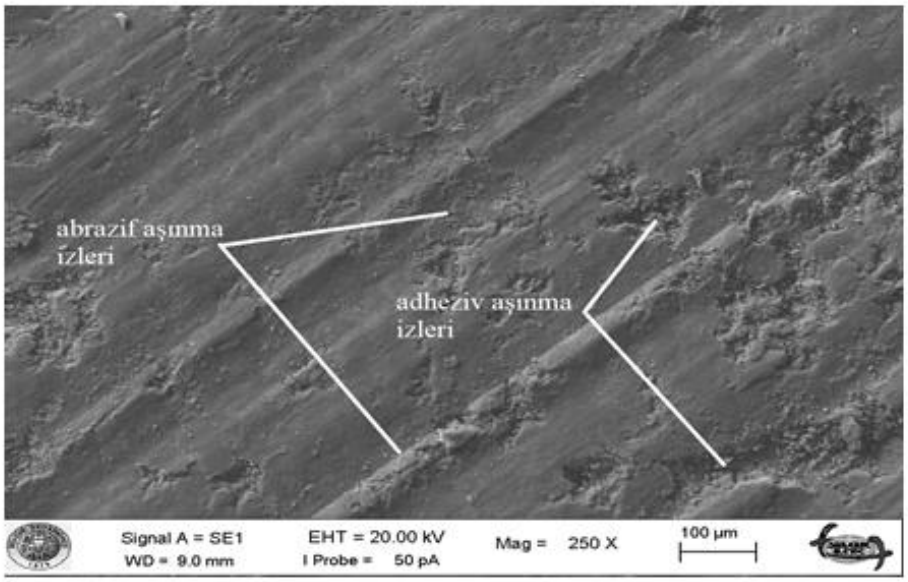
5.5. SEM Analizi , Optik ve Stereo Mikroskop Görüntüleri



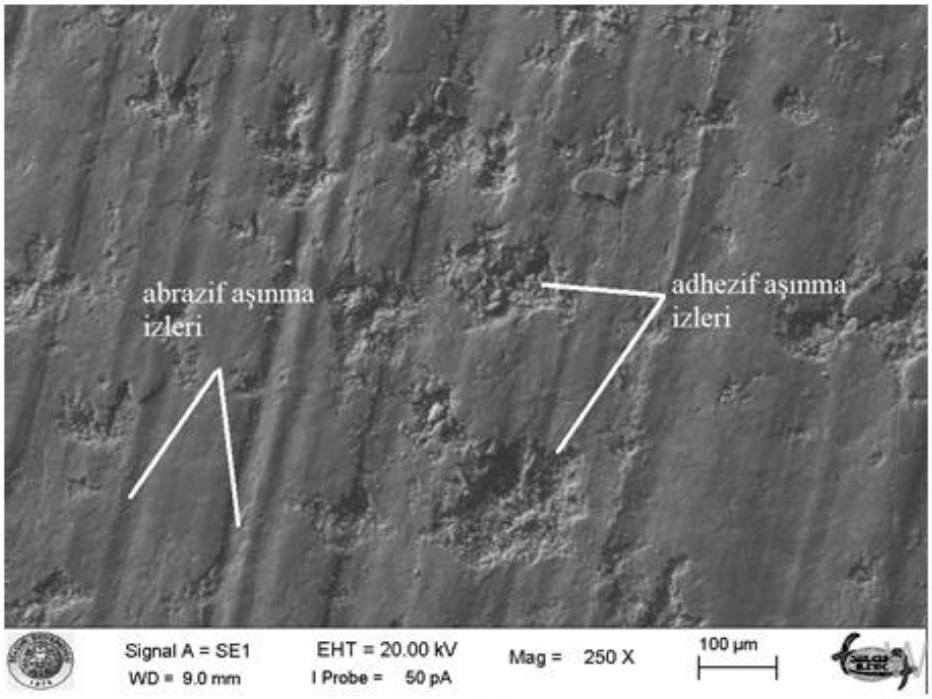
(a)



(b)



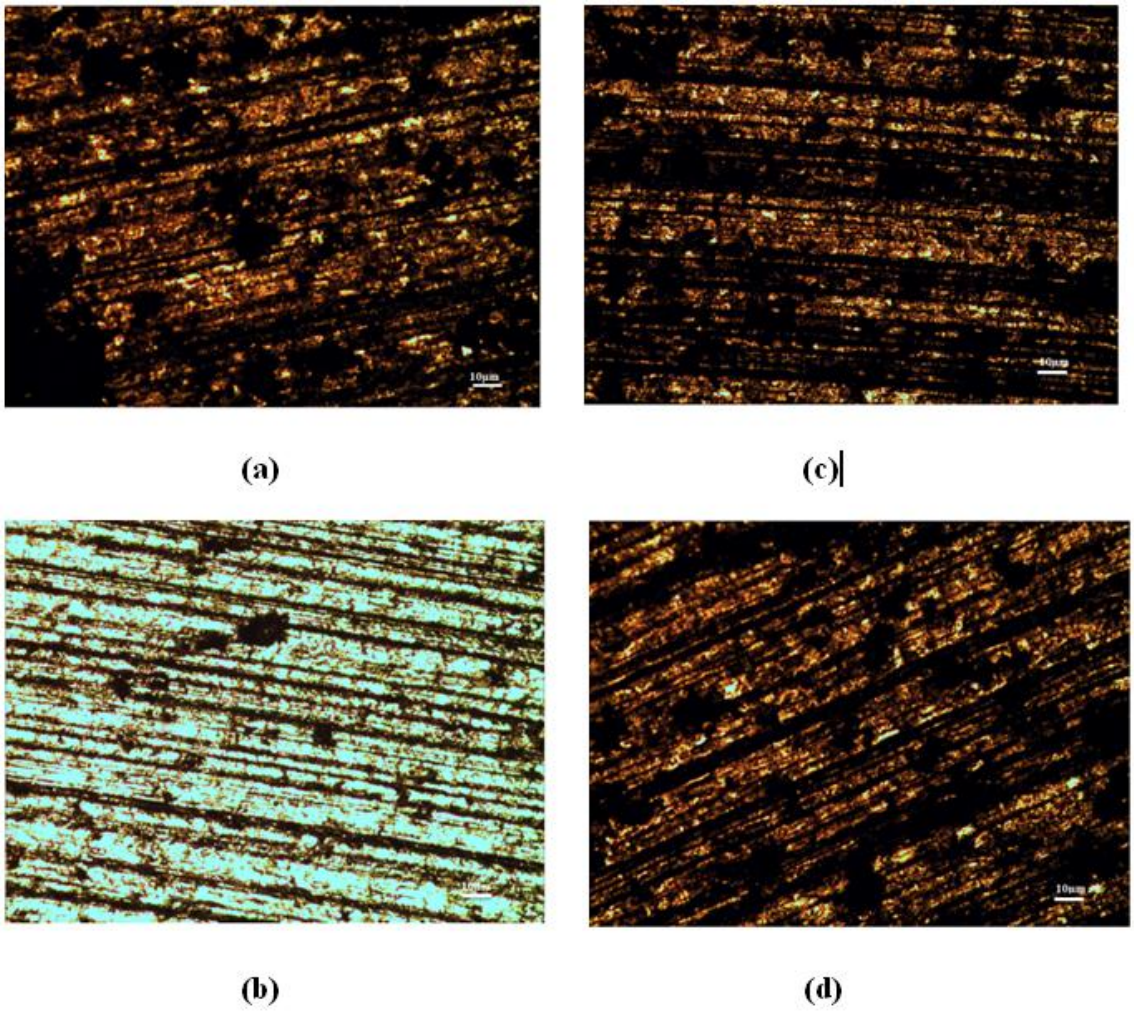
(c)



(d)

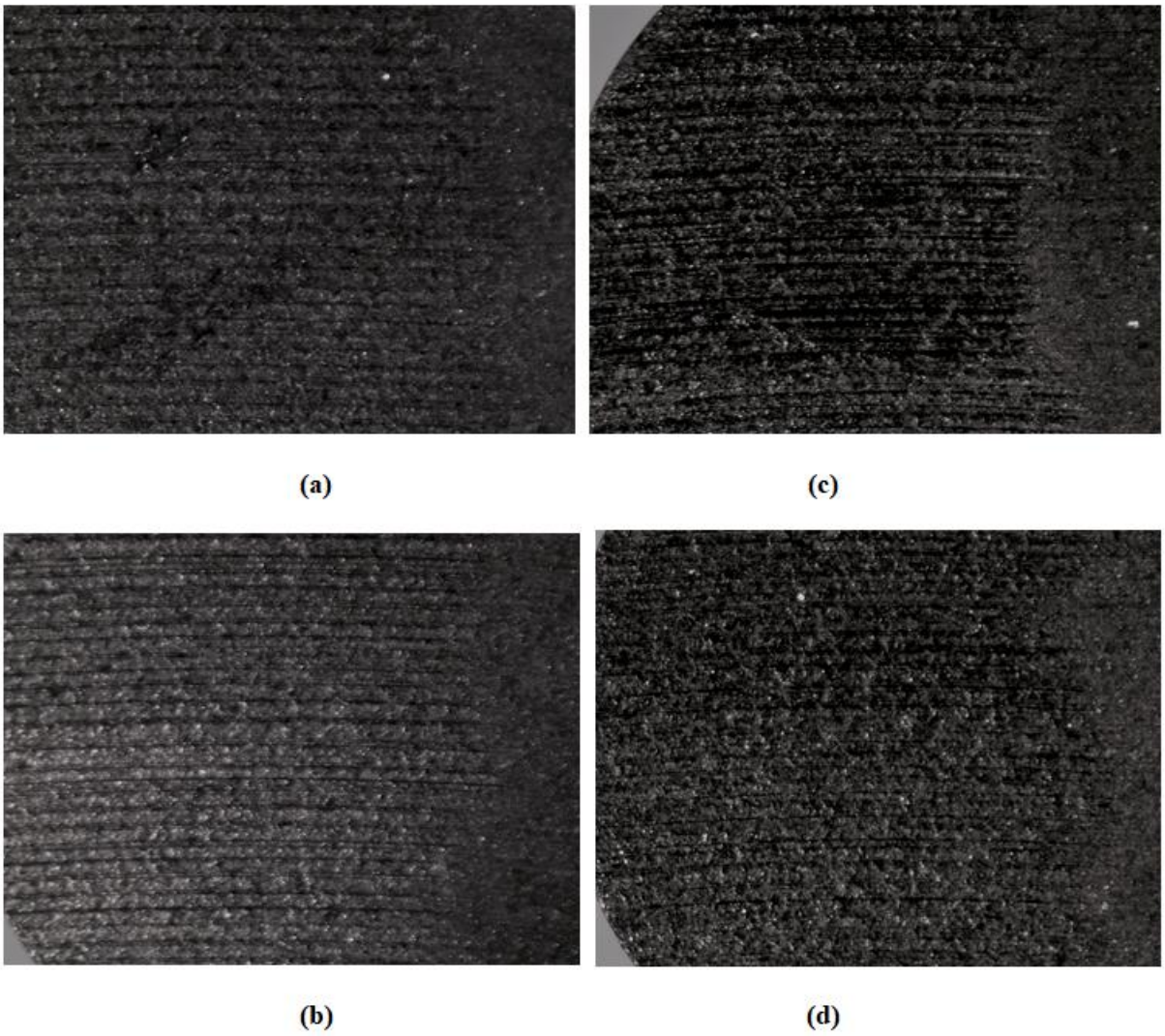
Şekil 5.7. (a) Tw5 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, **(b)** Tw10 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, **(c)** Tw15 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü, **(d)** Tw20 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.

Balata numunelerinin sürtünme testi sonrası aşınma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, numune bileşenlerinden grafitin yağlayıcı etkisi neticesinde kazınma (abrazif) türü aşınma meydana geldiği anlaşılmaktadır. Sürtünme testinde kullanılan diskin yüzey pürüzlülüğü sonuçları da bu kanıyı desteklemektedir. Ayrıca numunelerin kürleme işlemi sonrası, sıcaklığın etkisiyle bünyesinden bulunan fenolik reçinenin uzaklaşmasının bu durumu ortaya çıkarabileceği düşünülmektedir. Numunelerin aşınma yüzeylerindeki çukurlaşmalarında adheziv türü aşınmanın sonucunda meydana geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.8. (a) Tw5 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin x50 büyütmede optik mikroskop görüntüsü, **(b)** Tw10 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin x50 büyütmrde optik mikroskop görüntüsü, **(c)** Tw15 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin x50 büyütmede optik mikroskop görüntüsü, **(d)** Tw20 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin x50 büyütmede optik mikroskop görüntüsü

Optik mikroskoptan alınan aşınma yüzeyinin görüntüleri incelendiğinde numunelerin yüzeylerindeki abrazif aşınma izleri net olarak görülebilmektedir. Bu görüntülerde siyah olarak görülen bölgeler adheziv aşınması sonucu yüzeyden kopan parçaların oluşturduğu boşluklardır.



Şekil 5.9. (a) Tw5 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin x20 büyütmede stereo mikroskop görüntüsü, **(b)** Tw10 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin x20 büyütmede stereo mikroskop görüntüsü, **(c)** Tw15 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin x20 büyütmede stereo mikroskop görüntüsü, **(d)** Tw20 kodlu numunenin aşınma yüzeyinin x20 büyütmede stereo mikroskop görüntüsü

Stereo mikroskop görüntüleri incelendiğinde Tw5'den Tw20'ye doğru gidildikçe aşınma izlerinin arasındaki boşlukların daraldığı anlaşılmaktadır. Ancak genel olarak numunelerin aşınma karakteristiklerinin farkına dair belirgin bir bulgu saptanamamış ve benzer aşınma karakteristiğine sahip olduğu kanısına varılmıştır.

6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında sentetik bir para- aramid türü olan twaronun kompozit fren balatalarında, takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaca uygun olarak yeni bir kimyasal bileşim geliştirilmiştir. Bu kimyasal bileşime göre twaron ağırlıkça %5 içerikle % 20 içerikte kullanılmıştır. Ayrıca sürtünme düzenleyici olarak ağırlıkça %10 grafit ve %15 Al_2O_3, bağlayıcı olarak %25 fenolik reçine ve dolgu malzemesi olarak %30 ile %45 arası $CaCO_3$ fren balatası numunelerinin üretiminde kullanılmıştır. Bütün bileşenler toz halinde temin edilerek, ağırlıkça hesaplanan oranlarda bir karıştırıcı içerisinde 10dk süre ile karıştırılmıştır. Karıştırmadan sonra çift yönlü bir pres vasıtasıyla 100 MPa basınçla preslenmiş ve preslemeden sonra numuneler 160 ^{0}C' de 6sa süre ile kürlenmiştir. Üretim sonrası, üretilen numuneler sertlik, basma ve Pin-on Disk sürtünme deneylerine tabi tutulmuştur. Pin- on Disk sürtüne deneyi sonunda numunelerin aşınma yüzeyleri SEM ve optik mikroskopta incelenmiştir.

Presleme işlemi sonunda ve preslemeden sonra gerçekleştirilen kürleme işleminden sonra numunelerin sertlik değerleri ölçülmüştür. Alınan değerlerden anlaşıldığı üzere kürleme sonucunda numunelerin sertlik değerlerinde artış meydan gelmiştir. Ayrıca sertlik değeri sonucunda numunelerin ağırlıkça twaron içeriği arttıkça sertlik değerlerinin arttığı anlaşılmaktadır. Buna göre en yüksek sertlik değerini Tw20 kodlu ağırlıkça %20 twaron içeriğine sahip numune sağlarken (116,88 Rockwell- R), en düşük sertlik değeri Tw5 kodlu ağırlıkça %5 twaron içeriğine sahip numune de (103,4 Rockwell-R) görülmüştür. Ticari fren balatasından alınan sertlik değerine göre (105 Rockwell-R) numunelerin sertliklerinin ticari fren balatasından kısmen daha yüksek sertliğe sahip oldukları anlaşılmaktadır.

Pin- on Disk sürtünme testi sonucunda, üretilen tüm numunelerin TS 555' e göre balatalar için belirlenen sürtünme katsayısı değer aralığına sahip olduğu görülmüştür. Bunun la beraber, numuneler arası en yüksek sürtünme katsayısı değerini ağırlıkça %5 twaron içeriğine sahip Tw5 kodlu numune sağlamıştır. Deney sonuçları ağırlıkça %5-%20 aralığında twaron içeriği arttıkça sürtünme katsayısının düştüğünü göstermiştir.

Üretilen twaron takviyeli numunelerle ticari fren balatasının sürtünme testi sonuçları kıyaslandığında artan yükle beraber Tw5 kodlu numune kısmen daha iyi sonuç verirken, Tw10 ve Tw15 kodlu numuneler ticari fren balatasıyla benzer sonuçlar göstermiştir. Ancak Tw20 kodlu numune ticari fren balatasından daha düşük özellik

gösterdiği anlaşılmıştır. Tw 10 kodlu %10 twaron içeriğine sahip numunenin farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı değerleri ticari fren balatasının değerlerine yakın değerler sergilemekle beraber, sürtünme katsayısı değerlerinin diğer numunelere kıyasla daha stabil olduğu ve bu nedenle ticari fren balatasına bu bakımdan daha yakın özellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Üretilen numunelerdeki twaron içeriğinin artmasıyla yapılan Pin- on disk testi sonuçlarında sürtünme katsayılarının azalmış olduğu görülmektedir. Bu durum twaronun yağlayıcı bir özelliğe sahip olduğu kanısını oluşturmuştur.

Yapılan çalışmalardan elde edilen verilerin ışığında twaronun takviye malzemesi olarak kullanılabilirliğinin tam olarak anlaşılabilmesi için farklı içeriklerde kullanımının da değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Zira yapılan çalışmada kullanılan twaronun ağırlıkça içeriği arttıkça sürtünme katsayısında azalma görülmüştür. Bundan dolayı ileride yapılacak çalışmalarda daha düşük oranlarda twaron kullanımının (örneğin, ağırlıkça %2-%10) ve ağırlıkça birbirine yakın içerikteki özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca numune üretiminde farklı bağlayıcıların kullanımının değerlendirilmesi numunelerin mekanik özellikler açısından farklılık oluşturabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akbarian, M., S. Hassanzadeh and M. Moghri (2008). "Short Twaron aramid fiber reinforced thermoplastic polyurethane." Polymers for Advanced Technologies **19**(12): 1894-1900.

Anderson, A. E. (1992). Friction and Wear of Automotive Brakes, Frictions, Lubrications and Wear Technology. New York, ASM Handbook.

Anlaş, İ. (1988). Şasi Temel Ders Kitabı. İstanbul, M.E.B yayınları.

Belhocine, A., A. R. Abu Bakar and M. Bouchetara (2016). "Thermal and structural analysis of disc brake assembly during single stop braking event." Australian Journal of Mechanical Engineering **14**(1): 26-38.

Bernardo, L. F. A., A. P. B. M. Amaro, D. G. Pinto and S. M. R. Lopes (2016). "Modeling and simulation techniques for polymer nanoparticle composites – A review." Computational Materials Science **118**: 32-46.

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

Callister, W. D. and D. G. Rethwisch (2007). Materials science and engineering: an introduction, Wiley New York.

Campbell, F. C. (2010). Structural composite materials, ASM international.

Chan, D. and G. Stachowiak (2004). "Review of automotive brake friction materials." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering **218**(9): 953-966.

Ellis, K. (1998). "The effect of cast iron disc brake metallurgy on friction and wear characteristics." Automotive Braking: 191-203.

Gay, D. (2014). Composite materials: design and applications, CRC press.

Gurunath, P. and J. Bijwe (2007). "Friction and wear studies on brake-pad materials based on newly developed resin." Wear **263**(7): 1212-1219.

Gurunathan, T., S. Mohanty and S. K. Nayak (2015). "A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives." Composites Part A: Applied Science and Manufacturing **77**: 1-25.

Harris, B. (1986). Engineering composite materials, Institute of metals London.

Katz, H. S. and J. V. Milewski (1978). Handbook of fillers and reinforcements for plastics, Van Nostrand Reinhold Co.

Kus, R. and M. Unaldi (2012). "The Effect Of Carbon Nanotube on Densıty and Wear in a Brass Based Brake Lınıng." International Journal of Arts & Sciences **5**(4): 53.

Kuş. R., Ç. B. (2010). "Fren Balatalarında Cam Elyaf Kullanımının Sürtünme Özelliklerine Etkisinin Araştırılması
" Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED) **2**(2): 35-41.

Liew, K. and U. Nirmal (2013). "Frictional performance evaluation of newly designed brake pad materials." Materials & Design **48**: 25-33.

Liew, K. W. and U. Nirmal (2013). "Frictional performance evaluation of newly designed brake pad materials." Materials & Design **48**: 25-33.

Morshed, M. M. and A. S. M. A. Haseeb (2004). "Physical and chemical characteristics of commercially available brake shoe lining materials: a comparative study." Journal of Materials Processing Technology **155**: 1422-1427.

Mutlu, I., C. Oner and F. Findik (2007). "Boric acid effect in phenolic composites on tribological properties in brake linings." Materials & design **28**(2): 480-487.

Nas, E., H. Gökkaya and G. Sur (2013). "Sıcak Presleme Yöntemi Kullanılarak Kompozit Malzemelerin Üretilebilirliği Üzerine Bir Değerlendirme." Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi **3**(2): 56-65.

Österle, W., C. Deutsch, T. Gradt, G. Orts-Gil, T. Schneider and A. Dmitriev (2014). "Tribological screening tests for the selection of raw materials for automotive brake pad formulations." Tribology International **73**: 148-155.

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

Pujari, S., A. Ramakrishna and M. S. Kumar (2014). "Comparison of Jute and Banana Fiber Composites: A Review." International Journal of Current Engineering and Technology(2): 121-126.

Pujari, S., A. Ramakrishna and M. Suresh Kumar (2014). "Comparison of Jute and Banana Fiber Composites: A Review." International Journal of Current Engineering and Technology.

Reinsch, E. (1970). Sintered metal brake linings for automotive applications. Perspectives in Powder Metallurgy Fundamentals, Methods, and Applications, Springer**:** 9-21.

Singh, T., A. Patnaik and R. Chauhan (2016). "Optimization of tribological properties of cement kiln dust-filled brake pad using grey relation analysis." Materials & Design **89**: 1335-1342.

Singh, T. J. and S. Samanta (2015). "Characterization of Kevlar fiber and its composites: A review." Materials Today: Proceedings **2**(4): 1381-1387.

Smith, W. F. (2001). Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. İstanbul, Literatür Yayıncılık.

Spurr, R. (1972). "Fillers in friction materials." Wear **22**(3): 367-372.

Sugözü, İ., İ. Mutlu and C. Öner (2011). "Fren Balatası Üretiminde Sıcak Presleme Süresinin Frenleme Karakteristiğine Etkisinin Araştırılması."

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

T.S.E. (1992). TS555, Karayolları, Taşıtları Fren Sistemleri, Balatalar ve Sürtünmeli Frenler

Tejin (2015). Twaron Product.

Timur, M. and H. Kılıç (2013). " Marble Waste Using Produced of Automotive Brake Pad of Friction Coefficient Dıffrent Pad Brake Pads With Comprasion." Pamukkale University Journal of Engineering Sciences **19**(1).

Unaldi, M. and R. Kus (2014). Effect of Pressing Pressure on Density and Hardness of Powder Miscanthus Reinforced Brake Pads. Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publ.

Vishwanath, B., A. Verma and C. K. Rao (1993). "Effect of reinforcement on friction and wear of fabric reinforced polymer composites." Wear **167**(2): 93-99.

Wang, R.-M., S.-R. Zheng and Y. G. Zheng (2011). Polymer matrix composites and technology, Elsevier.

Yaldızci, E. Ş. (2016). Kumaş Atıklarının Polyester Esaslı Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahraman Maraş Sütçü İmam Üniversitesi.

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