



BOR DERGİSİ

JOURNAL OF BORON

<http://dergipark.gov.tr/boron>



Alternatif katkı maddesi olarak kullanılan bor oksitin fren balatasının sürtünme davranışına etkisinin incelenmesi

Gülşah Akıncioğlu^{1*}, Sıtkı Akıncioğlu², İlyas Uygur³, Hasan Öktem⁴

¹Düzce Üniversitesi, Gümüşova Meslek Yüksek Okulu, Makine Resim ve Konstrüksiyon Bölümü, Düzce, Türkiye
ORCID ID orcid.org/0000-0002-4768-4935

²Düzce Üniversitesi, Gümüşova Meslek Yüksek Okulu, Makine Resim ve Konstrüksiyon Bölümü, Düzce, Türkiye
ORCID ID orcid.org/0000-0003-4073-4837

³Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye ORCID ID orcid.org/0000-0002-8744-5082

⁴Kocaeli Üniversitesi, Hereke Meslek Yüksek Okulu, Kocaeli, Türkiye ORCID ID orcid.org/0000-0003-2526-8364

MAKALE BİLGİSİ

Makale geçmişi:

İlk gönderi 14 Mart 2018
Revize gönderi 30 Ekim 2018
Kabul 02 Ocak 2019
Online 16 Mart 2019

Araştırma Makalesi

DOI: [10.30728/boron.405788](https://doi.org/10.30728/boron.405788)

Anahtar kelimeler:

Fren balataları,
Bor oksit tozu,
Aşınma,
Sürtünme

ÖZET

Otomobillerin frenleme sistemlerinin en önemli parçalarından olan fren balatalarının içeriğinde onlarca farklı malzeme bulunmaktadır. Kompozit bir malzeme olan fren balatasından, iyi bir frenleme performansı, kararlı bir sürtünme katsayısı, yüksek aşınma direnci ve çevre dostu olması beklenmektedir. Özellikle son yıllarda, çevreye zararsız, doğal fren balata malzemesi arayışları hız kazanmıştır. Bu çalışmada dünya rezervlerinin büyük çoğunluğu ülkemizde bulunan bor oksit kullanılarak, fren balatası numunesi üretilmiştir. Alternatif toz ile üretilen fren balatasının performans testleri yapılmıştır. Bor oksit katkılı numuneden elde edilen performans test sonuçları borun fren balatalarında alternatif toz olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

Investigation of the effect of boron oxide on the friction behavior of brake pads as an alternative additive

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 March 2018
Revised form 30 October 2018
Accepted 02 January 2019
Available online 16 March 2019

Research Article

DOI: [10.30728/boron.405788](https://doi.org/10.30728/boron.405788)

Keywords:

Brake pads,
Boron oxide dust,
Wear,
Friction

ABSTRACT

Brake pads, which are one of the most important parts of automobile braking systems, contain dozens of different materials. Brake pads are composite materials and are expected to have good braking performance, a stable friction coefficient, high wear resistance and environmentally friendly. Especially in recent years, the search for natural brake pad material has gained speed. In this study, most of the world reserves in our country, using the boron oxide brake pad sample was produced. Performance tests of brake pad produced with alternative powder were performed. The performance test results obtained from the boron oxide added sample showed that boron oxide could be used as an alternative powder in brake pads.

1. Giriş (Introduction)

Fren balataları, otomobillerin frenleme sisteminin en önemli parçalarındandır ve içeriğinde onlarca farklı toz malzeme bulunmaktadır [1,2]. Fren balatasını oluşturan toz malzemeler, takviye edici elyaflar, bağlayıcılar, dolgu malzemeleri ve sürtünme ayarlayıcılar olarak sınıflandırılırlar. Farklı toz malzemeler kullanılarak üretilen fren balatalarından iyi bir frenleme per-

formansı, kararlı bir sürtünme katsayısı ve yüksek bir aşınma direnci istenmektedir. Bunlara ek olarak fren balatasının çevre dostu olması da gereklidir. 90'lı yıllara kadar fren balatalarında kullanılan asbest elyaflarının, zararlı olduğunun anlaşılıp yasaklanmasından sonra doğal malzeme araştırmaları artmıştır [3]. Çeşitli tarım ürünleri, bazı mineraller alternatif malzeme olarak denenmiştir [4,5]. Bazı çalışmalarda fındık kabuğu tozu katkısı kullanılarak balata performansları

*Sorumlu yazar: gulsahakincioglu@gmail.com

değerlendirilmiştir [6,7]. Çalışmalarında Ma ve ark. [8] bambu elyafını takviye edici malzeme olarak kullanmışlardır. İçeriğinde bambu elyafı olan fren balatalarının sürtünme performansının içeriğinde bambu olmayan numunelere göre daha iyi olduğunu gözlemlemiştirlerdir.

Ülkemiz bor rezervi açısından Dünya'da ilk sıradadır. Bor elementi son yıllarda birçok çalışmada ve fren balatası kompozisyonlarında katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Wan Nik ve ark. bor elementi kullanarak ürettikleri fren balatalarının sürtünme performansını araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda bor katılan fren balataları ile ticari fren balataları arasında sürtünme katsayılarında, sertliklerinde ve fren feydi miktarlarında büyük gelişme gözlemlemiştirler [9]. Mutlu ve ark. [10] takviye edici elyaflar kompozitlerin maliyetini arttırdığı için çalışmalarında elyaf kullanmamışlardır. Elyaf yerine; bakır tozu, borik asit, barit, alümina, kaşhev, grafit kullanarak kompozisyonu oluşturmuşlardır. Borik asit eklenmiş balataların frenleme üzerine olumlu etkiler yaptığını ortaya çıkarmışlardır. Yi ve Yan çalışmalarında [11], bor nitrür ve düşük maliyetli olması sebebiyle, sönmüş kok katarak, fenolik reçineli sürtünme malzemeleri üretmişlerdir. Sonuç olarak bor katkısının aşınma oranını düşürmeye etki ettiğini gözlemlemiştirler. Bor mineralleri, bor türevleri (borik asit, boraks, üleksit, kolemanit) ve sedir çamı kozalak tozu kullanarak, yeni balata kompozisyonları ürettiği çalışmasında Sugözü [12], numunelerin frenleme performanslarını incelemiştir ve standart aralıklarda sürtünme katsayısı değerleri elde etmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde bor oksitin fren balatalarında kullanılması ile ilgili fazla çalışma bulunmamaktadır. Yapılacak çalışmalarla bor mineralinin fren balatalarında daha yaygın olarak kullanılmasının sağlanması durumunda ülke ekonomisinde büyük katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada ülkemizde zengin rezervleri bulunan bor elementinin bir türevi olan bor oksit tozu (B_2O_3) %6 oranında kullanılarak fren balatası numunesi üretilmiştir. Üretilen fren balatalarının sürtünme katsayısının tespiti için pin-on-disk test cihazı kullanılmıştır. Numunelerin sertlikleri, yoğunlukları ısı iletkenlikleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar içeriği bor katkılı numune ile ortak olan ticari fren balatası referans alınarak değerlendirilmiştir.

2. Malzemeler ve yöntemler (Materials and methods)

2.1. Fren balatalarının üretimi (Production of brake pads)

Bor türevleri asbeste alternatif malzeme olan cam elyafın üretiminde, ısı dayanım kazandırmak için borcam üretiminde ve aşınmaya karşı sert yüzey oluşturmak için seramik endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı fren balatalarında da kullanılmıştır [12]. Bor oksit katkılı fren balatalarının üretimi toz metalürjisi yöntemiyle ve sıcak presleme ile yapılmıştır. Fren balatası kompozitinin içeriğinde bulunan tozlar hassas terazi yardımıyla tartıldıktan sonra sanayi tipi bir mikserle karıştırılmıştır. Fren balatası numunesinde

kullanılan tozların ağırlıkça yüzde oranları Çizelge 1'de verilmiştir. Kıyaslama için kullanılan ticari fren balatası numunesinin içeriğinde de bor oksit haricinde aynı malzemeler bulunmaktadır.

Çizelge 1. BOB fren balatasının içeriğinde bulunan toz malzemeler (Powder materials contained in BOB brake pad).

Sıra	Toz Malzeme Adı	Ağırlıkça Oran (%)
1	Çelik Yünü	15-20
2	Kaya Yünü	3-6
3	Kevlar	0,5-2
4	Grafit	5-7
5	Fenolik Reçine	6-8
6	Vermikülit	6-8
7	Pirinç Talaşı	4-6
8	Kalsiyum Hidroksit	7-9
9	Zirkonyum Silikat	3-5
10	Kükürt	0,5-1
11	Siyah Demir Oksit	1-3
12	Lastik Tozu	4-6
13	Barit	6-8
14	Kauçuk	2-4
15	Bor oksit	6

Homojen olarak karıştırılan tozlar 180 °C'de, 100 kg/cm² basınçta 6 dk. boyunca preslenmiştir. Presleme esnasında 3 defa 10 s ara verilerek kalıpta oluşan gazların fren balatasından çıkması sağlanmıştır. Bor oksit katkılı balata "BOB" ticari balata ise "TİB" olarak kodlanmıştır.

2.2. Sertlik testi (Hardness test)

Fren balatası numunelerinin sertlik ölçümleri için Shore D tipi test cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçümü yapılırken numune üzerindeki 5 farklı noktadan değerler alınmış ve bu değerlerin ortalamasına göre sonuç elde edilmiştir.

2.3. Yoğunluk testi (Density test)

Yoğunluk testi, ASTM D792'ye göre Archimed prensibi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fren balatalarının yoğunluk ölçümü için yoğunluk kiti olan bir hassas terazi kullanılmıştır. Numuneler kite sığacak boyutlarda kesilmiştir. Yoğunluk ölçümü için kesilen numuneler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yoğunluk ölçümü için kesilen numuneler (Cut samples for density measurement).

2.4. Suda ve yağda bekletme testleri (Water and oil absorption tests)

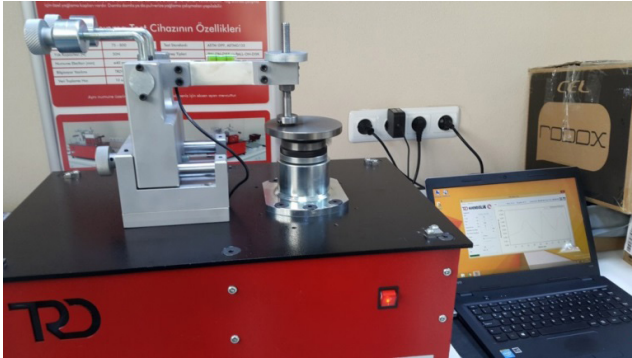
Otomobillerin fren balataları, gerçek kullanım şartlarında yağmur toz ve yağ gibi ortamlarda çalışmaktadır. Su ve yağa maruz kalan fren balataları, frenleme esnasında diskle balata arasında film oluşturarak sürtünme performansını etkilemektedir [13]. Fren balatalarının tüm bu şartlarda fazla değişiklik göstermemesi performansının sürekliliği açısından önemlidir. Ayrıca yağ ve su ortamında sertliğinin ve boyutsal bütünlüğünün değişmemesi gerekmektedir. Bu nedenlerle fren balatası kompozisyonlarının su ve yağ ortamlarındaki değişimlerini gözlemlemek için su ve yağ emilimi testi uygulanmıştır. Bu testler ASTM D 570-98 standardına göre yapılmıştır [14]. Fren balataları suda ve yağda 24 saat süre ile bekletilmiştir. Ardından fren balatalarında meydana gelen fiziksel değişimler incelenmiştir.

2.5. Isıl iletkenlik testleri (Thermal conductivity tests)

Bor oksit katkılı ve ticari fren balatalarının ısıl iletkenlik katsayısı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler için C-Therm TCI model analiz cihazı kullanılmıştır.

2.6. Sürtünme testleri (Friction tests)

Fren balatalarının sürtünme katsayısını tespit etmek için TRD Wear marka pin-on-disk aşınma test cihazı kullanılmıştır. Pin on disk testlerinin yapıldığı test cihazı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Pin-on-disk test cihazı (Pin-on-disk test device).

Fren balatalarının sürtünme testi ASTM G99'a göre yapılmıştır. Sürtünme testi için deney numuneleri $\varnothing 10 \times 15$ ebatlarında hazırlanmıştır. Pin-on-disk testlerinde;

devir sayısı 879 dev/dk., yol 5000 m, hız 2,3 m/s ve yük ise 20 N olarak belirlenmiştir. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar ve tartışma (Results and discussion)

3.1. Mikro yapı (Microstructure)

Fren balatası numuneleri %6 oranında bor oksit tozu katkısı ile üretilmiştir. Sıcak presleme işlemi ile fren balatalarının imalatı sorunsuz şekilde gerçekleştirilmiştir. Üretilen fren balatalarının mikroskop görüntüleri incelenmiştir. BOB ve TİB numunelerine ait mikroskop görüntüleri Şekil 3'te gösterilmiştir.

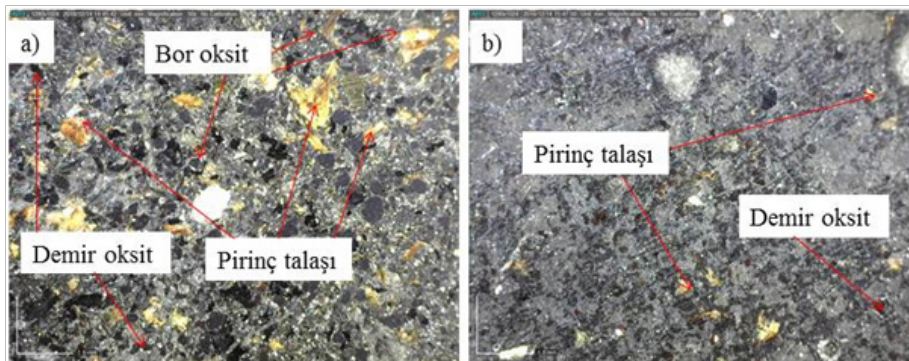
Numunelere ait mikroskop görüntüleri incelendiğinde kompoziti oluşturan tozların homojen dağıldığı görülmektedir. Bahari ve ark. çalışmalarında elde ettikleri numunenin homojen bir dağılım sergilediğini gözlemişlerdir [15]. Ayrıca BOB numunesinde beyaz renginden dolayı bor oksit taneleri de gözlenmektedir. Ticari fren balatası ile kıyaslandığında BOB fren balatalarının benzer mikro yapıda oldukları görülmektedir. Fren balatalarını oluşturan malzemelerden, pirinç talaşlarının ve demir oksit tozlarının, diğer tozlara göre renklerinden dolayı daha belirgin olduğu görülmektedir. Kompozitin içeriğinde bulunan diğer tozlar, renkleri ve boyutları dolayısıyla çok belirgin değildir. Bor oksit tozlarının kompozisyona homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Ayrıca mikro yapılarda herhangi bir çatlak veya boşluklara rastlanmamıştır. Bu da karışımın ve presleme işleminin uygun olduğunu göstermektedir.

3.2. Sertlik testi (Hardness test)

Fren balatası numunelerinin Shore D cihazı ile ölçülen sertlik değerleri BOB numunesinde 92 shore D, TİB numunesinde 86 Shore D olarak elde edilmiştir. Bor oksit katkısı kompozitin sertliğini arttırmıştır. İki numune arasında yaklaşık olarak %7 oranında bir sertlik değeri farkı vardır. Bor oksit tozu ticari balataya göre %7 sertlik artışına sebep olmuştur. Bahari ve ark. doğal katkılı olarak ürettikleri kompozit malzemelerinde, doğal katkının sertliği arttırdığını gözlemişlerdir [15].

3.3. Yoğunluk testi (Density test)

Fren balatalarının yoğunlukları, içeriğini oluşturan malzemelerin yoğunlukları ve malzemelerin oranlarıyla



Şekil 3. Fren balatası numunelerinin mikroskop görüntüleri, a) BOB fren balatası, b) TİB fren balatası (Microscope images of brake pad samples, a) BOB brake pad, b) TİB brake pad).

doğrudan bağlantılıdır. Kompozisyona, yoğunluğu yüksek bir malzeme eklendiğinde, fren balatasının yoğunluğu da artmaktadır. Ayrıca yoğunluğu etkileyen bir diğer etmen ise fren balatasının üretim şeklidir. Üretim esnasında uygulanan ısı ve basınç uygun belirlenmediği takdirde fren balatası içerisinde oluşan gözenekler yoğunluğu etkilemektedir. Üretilen fren balatlarının yoğunluk ölçüm sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Fren balatalarının yoğunlukları (Density of brake pads).

Sıra	Fren Balatası Kodu	Yoğunluk (g/cm^3)
1	BOB	2,096
2	TİB	2,470

Yoğunluk sonuçlarına göre bor oksit katkılı numunenin yoğunluğu ticari numuneye göre daha düşüktür. Bu durumda bor oksit katkısının yoğunluğu azalttığı ve bor oksitin kendi yoğunluğunun düşük olduğu söylenebilir. Mutlu ve ark. [10] ürettikleri %10 borik asit katkılı fren balatalarının yoğunluğunu 1,96 ve 2,07 g/cm^3 olarak ölçmüştür. Bulunan değerler bor oksit katkılı BOB numunesinin yoğunluk değerine benzerdir.

3.4. Suda ve yağda bekletme testleri (Water and oil absorption tests)

Fren balataları, gözeneklilik değerlerinin tespiti ve sürtünme katsayısına etkisini belirlemek için 24 saat suda ve yağda bekletilmiştir. Fren balatalarının 24 saat suda bekletilerek elde edilen boyutsal değişimleri Çizelge 3'te verilmiştir.

BOB numunesi %0,44 oranında, TİB numunesi %0,19 oranında su almıştır. Bor oksit katkılı numunenin daha fazla su alması içeriğinde daha fazla mikro boşluk olduğunu göstermektedir. Bor oksitli numunede su emiliminin fazla olmasından dolayı, bor oksitin gözenekliliği arttırdığı söylenebilir. Ayrıca BOB numunesinin yoğunluğunun da TİB numunesine göre daha düşük olması gözenekliliğin fazla olmasıyla açıklanabilir. Fren balatalarının 24 saat suda ve yağda bekletilerek elde edilen boyutsal değişimler Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. Suda bekleyen fren balatalarının boyutsal değişimleri ve sertlik değerleri (Dimensional changes and hardness values of brake pads waiting in water).

Sıra	Numune	Ağırlık (g)		En (mm)		Boy (mm)		Kalınlık (mm)		Sertlik (Shore D)	
		Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra
1	BOB	240,184	241,242	43,92	43,96	92,90	92,94	16,93	16,95	92	87
2	TİB	225,024	225,450	44,09	44,09	92,95	92,96	17,63	17,64	86	82

Çizelge 4. Yağda bekleyen fren balatalarının boyutsal değişimleri ve sertlik değerleri (Dimensional changes and hardness values of brake pads waiting in oil).

Sıra	Numune	Ağırlık (g)		En (mm)		Boy (mm)		Kalınlık (mm)		Sertlik (Shore D)	
		Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra
1	BOB	237,948	239,563	44,06	44,18	92,83	92,86	16,95	16,98	92	88
2	TİB	250,677	251,533	43,95	43,98	92,98	92,99	17,73	17,74	86	85

Fren balatalarının yağda bekletilme işlemi önemli testlerdendir. Fren balatalarının emdikleri yağ oranının artması balataların sürtünme katsayısını etkilemektedir [16]. Bor oksit katkılı numune 1,615 g yağ alırken, ticari numune 0,86 g yağ almıştır. Su emme oranında olduğu gibi, bor oksit katkılı numunenin yağ emme oranı daha fazladır. BOB numunesinin TİB numunesine göre daha gözenekli olduğu düşünülebilir.

Fren balatalarının suda ve yağda bekledikten sonraki sertlik değişim oranları genel olarak değerlendirildiğinde (Çizelge 3 ve 4) suda bekleyen fren balatalarının yağda bekleyen fren balatalarına kıyasla daha fazla sertlik kaybına uğradığı görülmüştür. Suyun yoğunluğu yağda bekleyen fren balatalarına kıyasla daha fazla nüfuz ederek sertliklerinin azalmasına neden olmuştur. Yağda bekleyen fren balatalarında sertlik kaybı daha az olmuştur.

3.5. Isıl iletkenlik testleri (Thermal conductivity tests)

Sürtünmeli kompozitlerin ısı iletkenliği, kompozitlerin performansında önemli bir rol oynamaktadır. Düşük ısı iletkenlik, sürtünme ara yüzeyinde sıcaklık artışına sebep olarak organik bileşenlerin yumuşamasına ve fren balatalarının deformasyonuna yol açar. Fren balatalarının üzerinde ısı artınca, sürtünme ile birlikte sıcaklık arttığında feyd dayanımı azalır ve sürtünme katsayısı düşer. Bu durum frenleme kabiliyetini olumsuz yönde etkiler. Öte yandan, yüksek ısı iletkenlik, fren sıvısı üzerinde olumsuz etkilere neden olur. Isıl iletkenliğin standartlara uygun olması, sürtünme sıcaklığının daha verimli dağılmasını sağlar. Dolayısıyla sıcaklığın artması kompozitin içindeki organik bileşenlerin bozulmasına sebep olmaz [17]. TS 555'e göre ısı iletkenlik deneyi sonucunda bulunan değer en çok 2,33 W/m.K (2 kcal/m.h°C) olmalıdır [18]. Numunelerin ısı iletkenlik değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Fren balatalarının ısı iletkenlik değerlerinin tamamı, olması gereken maksimum standart değerinden (2,33 W/m.K) düşük ölçülmüştür. Isıl iletkenlik değerleri arasında çok ciddi bir fark bulunmamaktadır. Her iki numuneden, elde edilen değerler istenilen ölçülerdedir.

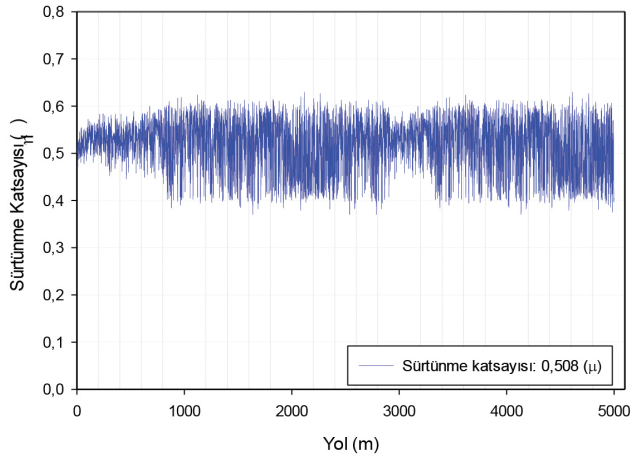
Çizelge 5. Numunelerin ısı iletkenlik değeri (Thermal conductivity values of samples).

Sıra	Numune	Verimlilik $\frac{W^{*}(s)}{(m^{*}2)*K}$	İletkenlik (W/mK)
1	BOB	1,485	1,152
2	TİB	1,532	1,236

Aranganathan ve ark. [19] ürettikleri çevre dostu balata numunelerinin ısı iletkenliğini ölçmüş ve benzer değeri elde etmiştir.

3.6. Sürtünme testleri (Friction tests)

Bor katkı olarak hazırlanan fren balatalarının sürtünme katsayısını tespit etmek için pin-on-disk test cihazında elde edilen sürtünme katsayısı değerlendirilmiştir. Bor oksit katkısı ile üretilen BOB fren balatasına ait sürtünme katsayısı grafiği Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. BOB fren balatasına ait sürtünme katsayısı grafiği (Graph of friction coefficient of BOB brake pad).

BOB fren balatasına ait sürtünme katsayısı değeri 0,508 μ olarak hesaplanmıştır ve standarda göre gene "G" türüne karşılık gelmektedir. TİB numunenin ise sürtünme katsayısı 0,418 μ olarak hesaplanmıştır. Numunelerden elde edilen sürtünme katsayısı değerlerine göre, bor oksit katkı numunenin sürtünme katsayısı ticari numunenin sürtünme katsayısından yüksektir. Fren balatası numunelerinin pin-on-disk cihazından elde edilen sürtünme katsayısı sonuçları TS 555 standardının göre kabul edilebilir değerlerdedir [18]. TS 555 standardına göre harf sınıflandırılması "G" türündedir. Sürtünme katsayısı, ortalama olarak 0,418 μ elde edilen ticari balata numunesinde standarda göre "F" türüne karşılık gelmektedir. Sugözü yapmış olduğu çalışmada [12], E, F ve G sürtünme katsayısı sınıfını TS 555'e göre yol taşıtlarının fren balatalarında uygun olduğunu belirtmiştir. Ayrıca BOB numunesinde bulunan %6 oranındaki bor oksit katkısı, sürtünme katsayısının artmasını sağladığı söylenebilir. Yi ve Yan [11] bor oksit katkı balatalarını pin-on-disk cihazında denemiştir. Sürtünme katsayısı değerlerini 0,350 μ ve 0,550 μ aralığında elde etmişlerdir. Eriksson ve ark. organik bir bağlayıcı kullanarak ürettikleri numunelerini

pin-on-disk cihazında deneyerek, yaklaşık 0,35-0,55 aralığında sürtünme katsayısı değeri elde etmişlerdir [20]. Sonuç olarak bor oksit katkı numunelerin iyi bir aşınma direncine ve kararlı bir sürtünme katsayısına sahip olduğunu gözlemişlerdir. Pin-on-disk cihazıyla yapılan testler oda sıcaklığında olduğu için sıcak sürtünme katsayısı değeri elde edilememiştir. Her iki numunenin soğuk sürtünme katsayısı değeri standartlara uygundur.

4. Sonuçların değerlendirilmesi (Conclusions)

Alternatif katkı malzemesi olarak bor oksit kullanılarak üretilen fren balatası üretilmiştir. Yeni üretilen fren balatasının performansını değerlendirmek için ticari fren balatası referans alınmıştır. Çalışmanın sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Mikro yapı incelemelerinde bor oksit tozunun kompozisyon içerisinde homojen dağıldığı tespit edilmiştir.
- Bor oksit katkısı fren balatasının sertliğini az miktar arttırmıştır. Bor oksit tozu ticari balataya göre %7 daha serttir.
- Yoğunluk sonuçlarına göre bor oksit katkı numunenin yoğunluğu ticari numuneye göre daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.
- Fren balatalarının su emme testine göre BOB numunesi %0,44 oranında, TİB numunesi %0,19 oranında su almıştır. Bor katkısının fren balatasının su emme eğilimini arttırdığı görülmüştür. Bor oksit katkı numunenin yağ emme oranı da TİB fren balatasına göre daha fazladır.
- Fren balatalarının suda ve yağda bekledikten sonraki sertlik değişim oranlarına göre suda bekleyen fren balatalarının yağda bekleyen fren balatalarına kıyasla daha fazla sertlik kaybına uğradığı görülmüştür.
- Fren balatalarının ısı iletkenlik değeri TS 555 standardına uygundur.
- Sürtünme katsayısı sonuçlarına göre, bor oksit katkı numunenin sürtünme katsayısı ticari numunenin sürtünme katsayısından yüksektir. Bor oksit katkı fren balatalarının taşıtların fren balatası olarak kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.
- İlerleyen süreçte, bor oksit katkısının oranları değiştirilerek yeni kompozisyonlar denenebilir.
- Numunelerin aşınma sürtünme testleri, sıcak sürtünme katsayısının elde edildiği cihazlarda yapılabilir.

Kaynaklar (References)

- [1] Hong U., Jung S., Cho K., Cho M., Kim S., Jang H., Wear mechanism of multiphase friction materials with different phenolic resin matrices, Wear, 266, 739-744, 2009.

- [2] Eriksson M., Lord J., Jacobson S., Wear and contact conditions of brake pads: Dynamical in situ studies of pad on glass, *Wear*, 249, 272-278, 2001.
- [3] Chan D., Stachowiak G., Review of automotive brake friction materials, *Proc. Inst. Mech. Eng., Part D*, 218, 953-966, 2004.
- [4] Idris U., Aigbodion V., Abubakar I., Nwoye C., Eco-friendly asbestos free brake-pad: Using banana peels, *J. King Saud Univ. Eng. Sci.*, 27, 185-192, 2015.
- [5] Lagel M., Hai L., Pizzi A., Basso M., Delmotte L., Abdalla S., Automotive brake pads made with a bioresin matrix, *Ind. Crops Prod.*, 85, 372-381, 2016.
- [6] Qi S., Fu Z., Yun R., Jiang S., Zheng X., Lu Y., et al., Effects of walnut shells on friction and wear performance of eco-friendly brake friction composites, *Proc. Inst. Mech. Eng., Part J*, 228, 511-520, 2014.
- [7] Akıncioğlu G., Öktem H., Uygur I., Akıncioğlu S., Determination of friction-wear performance and properties of eco-friendly brake pads reinforced with hazelnut shell and boron dusts, *Arabian J. Sci.Eng.*, 1-11, 2018.
- [8] Ma Y., Shen S., Tong J., Ye W., Yang Y., Zhou J., Effects of bamboo fibers on friction performance of friction materials, *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, 26, 845-859, 2013.
- [9] Wannik W., Ayob A., Syahrullail S., Masjuki H., Ahmad M., The effect of boron friction modifier on the performance of brake pads, *Int. Journal Mech. Mater. Eng.*, 7, 31-35, 2012.
- [10] Mutlu I., Oner C., Findik F., Boric acid effect in phenolic composites on tribological properties in brake linings, *Mater. Des.*, 28, 480-487, 2007.
- [11] Yi G., Yan F., Effect of hexagonal boron nitride and calcined petroleum coke on friction and wear behavior of phenolic resin-based friction composites, *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 425, pp. 330-338, 2006.
- [12] Sugözü İ., Bor katkılı asbetsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin incelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi*, 2009.
- [13] Blau P., McLaughlin J., Effects of water films and sliding speed on the frictional behavior of truck disc brake materials, *Tribol. Int.*, 36, 709-715, 2003.
- [14] A. D., Standard test method for water absorption of plastics, ed, 570-98, 2010.
- [15] Bahari S. A., Isa K. H., Kassim M. A., Mohamed Z., Othman E. A., Investigation on hardness and impact resistance of automotive brake pad composed with rice husk dust, *AIP Conference Proceedings 2nd*, 155-161, 2012.
- [16] Maleque M., Atiqah A., Talib R., Zahurin H., New natural fibre reinforced aluminium composite for automotive brake pad, *Int. J. Mech. Mater. Eng.*, 7, 166-170, 2012.
- [17] Bijwe J., Kumar M., Optimization of steel wool contents in non-asbestos organic (NAO) friction composites for best combination of thermal conductivity and tribo-performance, *Wear*, 263, 1243-1248, 2007.
- [18] T. 555, Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri- Balatalar-Sürtünmeli Frenler için, Ed: TSE, 1992.
- [19] Aranganathan N., Bijwe J., Development of copper-free eco-friendly brake-friction material using novel ingredients, *Wear*, 352, 79-91, 2016.
- [20] Eriksson M., Bergman F., Jacobson S., On the nature of tribological contact in automotive brakes, *Wear*, 252, 26-36, 2002.