



BOR DERGİSİ

JOURNAL OF BORON

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



Üleksit ve boraks içeren fren sürtünme malzemelerinin tribolojik özellikleri

Banu Sugözü^{1*}, B. Barış Buldum², İlker Sugözü³

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye; ORCID ID orcid.org/0000-0002-7798-2677

²Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye; ORCID ID orcid.org/0000-0003-2855-2571

³Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye; ORCID ID orcid.org/0000-0001-8340-8121

MAKALE BİLGİSİ

Makale geçmişi:

İlk gönderi 13 Aralık 2017
Revize gönderi 22 Mayıs 2018
Kabul 29 Mayıs 2018
Online 05 Temmuz 2018

Araştırma Makalesi

DOI: [10.30728/boron.365196](https://doi.org/10.30728/boron.365196)

Anahtar kelimeler:

Sürtünme,
Aşınma,
Boraks,
Üleksit,
Fren balatası

ÖZET

Dünyada en büyük bor rezervlerine sahip olan ülke Türkiye'dir. Doğada 150'den fazla bor minerali olmasına rağmen boraks, kolemanit ve üleksit ticari açıdan daha çok değerlendirilir. Literatürde fren sürtünme malzemelerinde bor minerallerinin kullanımını araştıran çok az çalışma mevcuttur. Bu çalışmada, farklı miktarlarda (kütlece %4, %8 ve %12) boraks ve üleksit içeren üç fren balata numunesi üretilmiş ve gri dökme demir diskin kullanıldığı tam ölçekli bir fren balata cihazında test edilmiştir. Numunelerin yoğunluğu Arşimet prensibine göre, sertliği ise Rockwell (HRL) sertlik ölçme cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Her numunenin test öncesi ve sonrası ağırlıkları belirlenerek özgül aşınma oranı TSE 555 standardına göre hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, ağırlıkça % 12 üleksit ve boraks içeren numunenin sürtünme katsayısı 0,35, ağırlıkça % 8 üleksit ve boraks içeren numunenin sürtünme katsayısı 0,31 ve ağırlıkça % 4 üleksit ve boraks içeren numunenin sürtünme katsayısı ise 0,3 dür. Sonuçlara aynı zamanda boraks ve üleksitin sürtünme materyalleri üzerinde ideal uygulama etkisine sahip olduğunu ve sürtünme malzemeleri için yeni bir düzenleyici olduğunu ortaya koymuştur.

Tribological properties of brake friction materials containing ulexite and borax

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 December 2017
Received in revised form 22 May 2018
Accepted 29 May 2018
Available online 05 July 2018

Research Article

DOI: [10.30728/boron.365196](https://doi.org/10.30728/boron.365196)

Keywords:

Friction,
Wear,
Borax,
Ulexite,
Brake lining

ABSTRACT

Turkey has biggest boron reserves in the world. Although there are more than 150 boron minerals in nature, borax, colemanite and ulexite are more commonly used in commercial terms. There are very few studies in the literature investigating the use of boron minerals in brake friction materials. In this study, three brake lining samples containing borax and ulexite differing in amount (4, 8 and 12 wt.%) were produced and tested on a full scale brake dynamometer with a gray cast iron rotor disc. The density of the samples was determined according to the Archimedes principle and the hardness was determined using the Rockwell (HRL) hardness tester. The weights of each specimen was taken before and after the friction test, and the specific wear rate was determined in accordance to a TSE 555 (1992) standard. According to results, the friction coefficient of sample containing 12% by weight ulexite and borax is 0,35, the friction coefficient of sample containing 8% by weight ulexite and borax is 0,31 and the friction coefficient of sample containing 4% by weight ulexite and borax is 0,3. The results also indicated that borax and ulexite have ideal application effect in friction materials and is a kind of novel modifier for friction materials.

1. Giriş (Introduction)

Fren sürtünme malzemeleri genel olarak bağlayıcılar, fiberler, sürtünme düzenleyiciler ve dolgu malzemeleri olmak üzere dört grupta sınıflandırılabilir. Bağlayıcılar, yüksek sıcaklıklara karşı oksidasyon direnci ve termal kararlılığı yüksek olan sıvı veya toz formundaki yapıştırıcılar. Fiberler, takviye malzemeleri veya güçlendiriciler olarak da bilinir. Sürtünme düzenleyiciler aşındırıcı (abrazif) olan ve aşındırıcı olmayan olarak ikiye ayrılır ve balataların sürtünme ve mekanik özelliklerini artırma veya iyileştirme görevi yaparlar. Dolgu malzemeleri ise balataların üretilebilirliğini arttırmak ve maliyeti azaltmak için kullanılır.

Bor, gübre sanayisinden ilaç sanayisine, kimya sanayisinden otomobil sanayisine kadar nükleer endüstri dahil pek çok alanda kullanılan önemli bir madendir. Dünyada bor rezervlerinin %65'ine sahip olan ülkemiz, dünya üretiminin %32'sini gerçekleştirmektedir. Bor elementinin yaklaşık 150 minerali olmasına rağmen ticari açıdan boraks, kolemanit, üleksit, kernit, probertit ve szaibelyite daha çok kullanılmaktadır [1].

Literatürde fren sürtünme malzemeleri olarak çok çeşitli malzemelerin kullanılabilirliği araştırılmasına rağmen bor ürünleri ile ilgili çalışmalar nispeten azdır. WanNik ve arkadaşları [2] fren balatalarının performansında sürtünme düzenleyici olarak borun etkileri

*Sorumlu yazar: banusugozu@mersin.edu.tr

adlı çalışmalarında farklı miktarlarda bor ilave ederek ürettikleri numuneleri test etmişler ve sürtünme performansı açısından en iyi kombinasyonu belirlemeye çalışmışlardır. Başar ve arkadaşları [3] bir çalışmalarında kolemanit ve boraks takviyeli polimer matrisli fren balata malzemelerinin tribolojik özelliklerini araştırmışlar ve % 4 kolemanit ve boraks takviyeli sürtünme malzemesinin sürtünme katsayısı açısından en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir, başka bir çalışmalarında ise [4] üleksit ve kolemanit katkılı fren balata malzemelerinin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Mutlu ve arkadaşları [5] fren balatalarında boraks ve borik asidin etkilerini deneysel olarak incelemişler ve borik asit ile boraksın fren balatası komponenti içerisine katılması durumunda asbestin özelliklerini karşılayan alternatif malzeme olabileceğini belirtmişlerdir. Kuş ve arkadaşları [6] sıcak presleme yöntemi ile ürettikleri kütlece % 6 uçucu kül takviyeli bronz matrisli fren balata malzemesine farklı oranlarda (% 0,5, %1, %2 ve %4) kolemanit ilave ederek tribolojik özelliklerini araştırmışlar, aşınma direnci açısından en iyi sonucu kolemanit ilavesiz sürtünme malzemesinin verdiği, sürtünme katsayısı açısından ise en iyi sonucu % 0,5 kolemanit ilaveli sürtünme malzemesinin verdiği sonucuna varmışlardır. Literatürde bor minerallerinin fren sürtünme malzemelerinde kullanımı ile ilgili çeşitli çalışmalarını mevcuttur [7-14].

Bu çalışmada bor minerallerinden boraks ve üleksitin fren sürtünme malzemeleri olarak kullanılabilirliği deneysel çalışmalar yapılarak araştırılmıştır. Üç farklı miktarda (kütlece %4, %8 ve %12) boraks ve üleksit ikilisini içeren numuneler üretilmiş ve tam ölçekli bir fren balata cihazında test edilmiştir.

2. Malzemeler ve yöntemler (Materials and methods)

Fren balata kompozitlerini oluşturmak için kullanılan malzemelerin cinsi, şekli, boyutu ve miktarının doğru seçimi aşınma ve sürtünme özelliklerini belirlemede önemli rol oynamaktadır. Öncelikle fren balata numunelerini oluşturan malzemeler belirlenmiştir. Malzemeler belirlenirken literatür, maliyet ve temin etme kolaylığı göz önüne alınmıştır. Kullanılan malzemelerin % kütleli miktarları Çizelge 1'de gösterilmiştir. ÜB4, ÜB8 ve ÜB12 numune isimleridir.

Çizelge 1. Balata numunelerinde kullanılan malzemelerin miktarları (% kütleli) (The composition of the brake friction material samples).

Malzeme	Miktar (% kütleli)		
	ÜB4	ÜB8	ÜB12
Reçine	20	20	20
Çelik yünü	5	5	5
Maun cevizi tozu	10	10	10
Pirinç talaşı	5	5	5
Grafit	3	3	3
Bakır talaşı	6	6	6
Alümina	8	8	8
Üleksit	4	8	12
Boraks	4	8	12
Barit	35	27	19

Balatayı oluşturan her bir malzemenin fonksiyonu vardır. Bu çalışmada kullanılan malzemelerin fonksiyonları Çizelge 2'de belirtilmiştir.

Çizelge 2. Balata numunelerinde kullanılan malzemelerin fonksiyonları (The function of brake friction materials).

Malzeme	Fonksiyon
Reçine	Bağlayıcı malzeme (yapıştırıcı)
Çelik yünü	Takviye malzemesi (elyaf)
Maun cevizi tozu	Sürtünme düzenleyici
Pirinç talaşı	Sürtünme düzenleyici
Grafit	Katı yağlayıcı
Bakır talaşı	Sürtünme düzenleyici
Alümina	Aşındırıcı (Abrazif)
Üleksit	Sürtünme düzenleyici
Boraks	Sürtünme düzenleyici
Barit	Dolgu malzemesi

Otomotiv fren balatası, farklı özelliklere sahip malzemelerin toz haline getirilip preslenmesi ile oluşan kompozit bir malzemedir. Kimyasal ve mekanik özellikleri, içerdiği malzeme oranlarına göre değişmektedir. Bu yüzden bir balata malzemesi tasarımında, kompozisyonu oluşturan malzemelerin ve oranlarının tespiti oldukça önemli ve karmaşık bir konudur. Fren balatasının üretimi de en az kompozisyonu kadar özelliklerin tespitinde ve değişiminde rol oynar. Çünkü üretim esnasında malzeme özellikleri değişmekte ve kompozisyonlar aynı olsa bile farklı üretim parametreleri ile üretilen balatalar çok farklı özellikler sergileyebilmektedir [14].

Üretim işleminden önce Çizelge 1'de miktarları verilen toz malzemeler 0,001 g hassasiyetindeki terazi kullanılarak belirlenmiştir. Tartılan malzemeler toz karıştırma cihazının haznesine aktarılmıştır. Karışımın homojenliğini sağlamak için numune içeriği, özel olarak imal edilmiş toz karıştırma cihazında 150 rpm de 10 dakika boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen karışım, 25,4 mm çapındaki soğuk pres kalıbına dikkatli bir şekilde yerleştirilerek oda sıcaklığında 8000 kPa basınç altında 2 dakika boyunca preslenmiştir. Sıcak presleme aşamasında numuneler 10 dakika boyunca hidrolik pres yardımıyla 10000 kPa basınçta maruz bırakılmıştır. Sıcak pres kalıpları alt ve üst tablalardan elektrik enerjisi kullanılarak 150 °C sıcaklık elde edilene kadar ısıtılmıştır. Üretilen numunelerin üretim parametreleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Balata numunelerinin üretim parametreleri (Manufacturing procedure for brake lining samples).

	Süre (min)	Basınç (kPa)	Sıcaklık (°C)
Karıştırma	10	-	-
Ön şekillendirme	2	8000	ortam sıcaklığı
Sıcak presleme	12	10000	150

Numunelerin sertlik ölçümleri Rockwell (HRL) sertlik ölçüm cihazı ile tespit edilmiştir. Sertlik ölçme işlemleri batıcı uç olarak 6,35 mm çapında çelik bilya ile ön yüklem olarak 10 kgf ve tam yüklem olarak 60 kgf

yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yoğunluk ölçümleri, su içerisinde Arşimet prensibi kullanılarak belirlenmiştir.

Deneyler sırasında balatanın fren diskinde sürtünmesi sonucunda sürtünme yüzeyi sıcaklığı artmaktadır. Sıcaklık artışının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla temassız (infrared) termometre ile balatanın diske sürtünme yüzeyinden yaklaşık 2 cm mesafeden diskin yüzey sıcaklığı ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümünde her saniye veri alabilen dijital bir termometre kullanılmıştır. Cihaz sayesinde diskin yüzey sıcaklığı, deney süresince saniye olarak bilgisayar ortamına otomatik olarak aktarılmıştır [15].

Numunelerin aşınma ve sürtünme katsayısı gibi özelliklerini elde etmek amacıyla TS 555 (Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler İçin) [16] standardında atıf yapılan TS 9076'a (Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları ile Değerlendirilmesi) uygun [17] deneyler gerçekleştirilmiştir. Buna göre öncelikle 310 rpm, 700 kPa basınç ve sıcaklık 100 °C'yi aşmayacak şekilde numunenin diske yüzey teması en az %95 oluncaya kadar alıştırmaya çalışılmıştır. Böylece yüzey, deneye hazır hale getirilmiştir.

Numuneler, çapı 280 mm ve sertliği 116 HB olan gri dökme demir diskin kullanıldığı, Şekil 1'de şematik çizimi verilen tam ölçekli bir fren balata cihazında test edilmiştir. Cihaz tamamen bilgisayarla kontrol edilebilir ve veri toplama yazılımı içermektedir.

TS 555'e göre sürtünme katsayısı (1) ve (2) numaralı formüller ile hesaplanmıştır:

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (1)$$

$$N = p A \quad (2)$$

Denklemlerde μ sürtünme katsayısını, F sürtünme

kuvvetini, N balata yüzeyine gelen normal kuvveti, p frenleme hidrolik basıncını, A pistonun yüzey alanını göstermektedir. Numunelerin özgül aşınma oranı ise TS 555'e göre aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

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

Denklem (3)'de V özgül aşınma miktarını, R balatanın merkezi ile diskin merkezi arasındaki mesafeyi, n test boyunca diskin toplam dönme sayısını, m_1 balatanın test öncesi kütlesini, m_2 balatanın test sonrası kütlesini, F ortalama sürtünme kuvvetini, ρ balatanın yoğunluğunu göstermektedir. Balata numunelerinin sürtünme kararlılığı (%) denklem (4)'e hesaplanmıştır [18]:

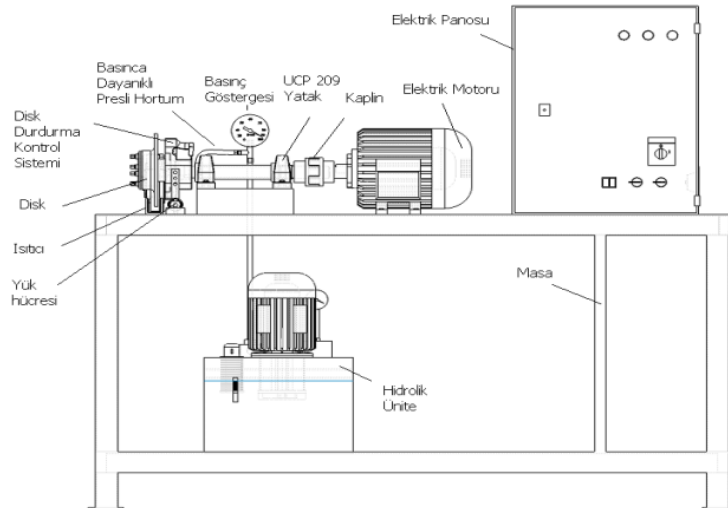
$$FS = (\mu_{\text{ort}} / \mu_{\text{maks}}) \times 100 \quad (4)$$

Denklem (4)'de μ_{ort} ortalama sürtünme katsayısını, μ_{maks} ise en yüksek sürtünme katsayısını göstermektedir.

3. Sonuçlar ve tartışma (Results and discussion)

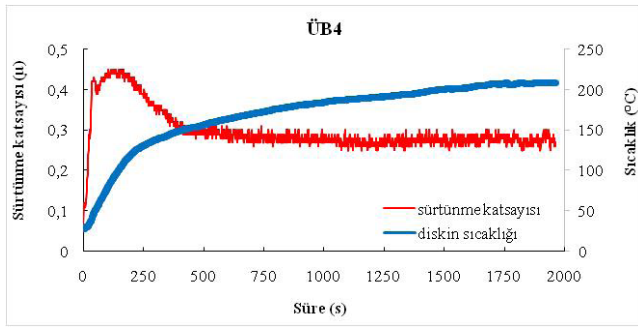
Fren sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısı fren performansını etkileyen önemli bir parametredir ve durma mesafesi, gürültü eğilimi, feyd, fren kaynaklı titreşim gibi çeşitli fren olaylarını anlamak için kullanılabilir [19].

Numunelerin sürtünme süresine bağlı olarak sıcaklık ve sürtünme katsayısı değişimleri Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekillerde, sürtünme katsayısının testin başlangıcında düşük olmasının sebebi, uygulanan basıncın ani olarak değil giderek artan şekilde etki etmesidir. Ani basınç uygulaması, balataların hasar görmesine neden olacağından basınç artışı kademeli olarak sağlanmıştır. Ayrıca testin başlangıcında balata ile disk alışma (rodaj) sürecindedir ve sürtünme kuvvetinin etkili olduğu sürtünme tabakaları henüz oluşmamıştır [15]. Fren balatalarından istenen



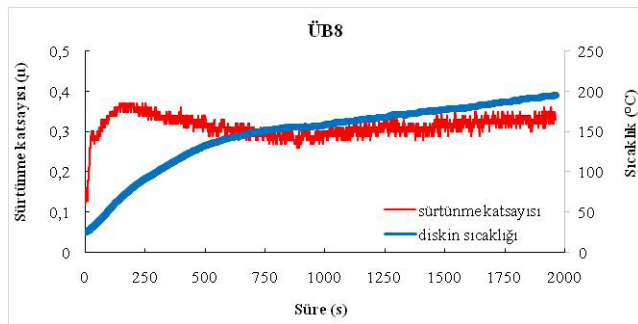
Şekil 1. Sürtünme test cihazının şematik çizimi (Schematic of brake friction test equipment) [11].

en önemli özelliklerden biri frenleme esnasında sürtünmeden dolayı açığa çıkan ara yüzey sıcaklığındaki artışa bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişimin minimum seviyede olmasıdır.



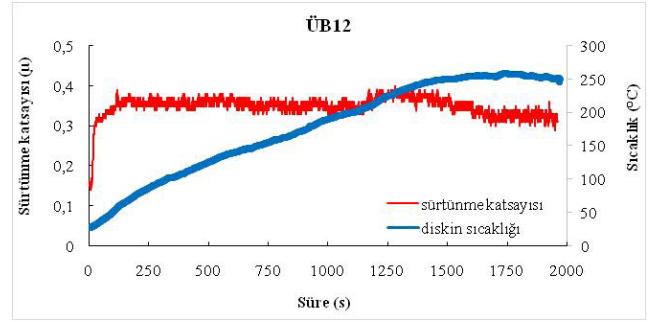
Şekil 2. Kütlece %4 üleksit ve boraks içeren numunenin sürtünme katsayısı-sürtünme süresi-sıcaklık grafiği (basınç 1050 kPa, hız 6 m/s, süre 30 min) (The change of friction coefficient and temperature as a function of sliding time for ÜB4 sample) (pressure 1050 kPa, velocity 6 m/s, time 30 min).

Şekil 2 kütlece %4 üleksit ve boraks içeren numunenin sürtünme süresine göre sürtünme katsayısı ve zaman grafiğini göstermektedir. Testler boyunca elde edilen en yüksek sürtünme katsayısının 0,45, en yüksek sıcaklığın ise 209 °C olduğu görülmüştür. Numunenin sürtünme kararlılığı yaklaşık %66 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Kütlece %8 üleksit ve boraks içeren numunenin sürtünme katsayısı- sürtünme süresi-sıcaklık grafiği (basınç 1050 kPa, hız 6 m/s, süre 30 min) (The change of friction coefficient and temperature as a function of sliding time for ÜB8 sample) (pressure 1050 kPa, velocity 6 m/s, time 30 min).

ÜB8 kodlu kütlece %8 üleksit ve boraks içeren numunenin sürtünme süresine göre sürtünme katsayısı ve



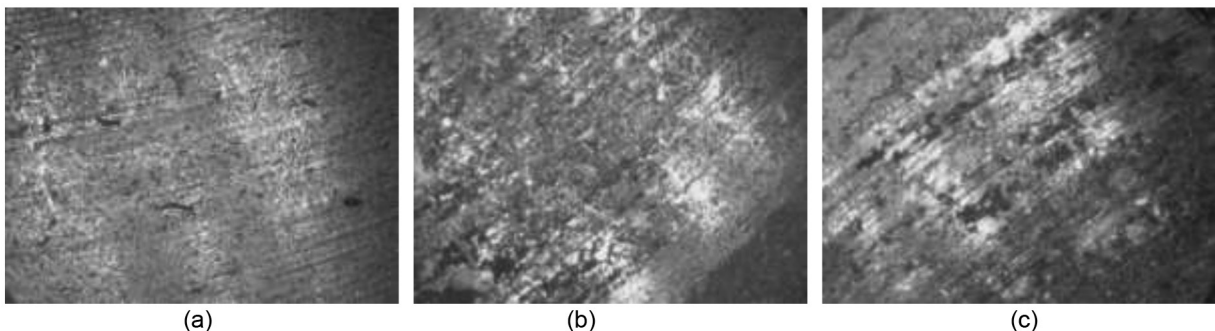
Şekil 4. Kütlece %12 üleksit ve boraks içeren numunenin sürtünme katsayısı- sürtünme süresi-sıcaklık grafiği (basınç 1050 kPa, hız 6 m/s, süre 30 min) (The change of friction coefficient and temperature as a function of sliding time for ÜB12 sample) (pressure 1050 kPa, velocity 6 m/s, time 30 min).

zaman grafiği Şekil 3'de gösterilmiştir. Testler esnasında disk ile balata arayüzeyinde oluşan en yüksek sıcaklık 195 °C'dir. Balata numunesinin en yüksek sürtünme katsayısı değeri ise 0,37'dir. Bununla birlikte sürtünme kararlılığının yaklaşık %84 olduğu görülmüştür.

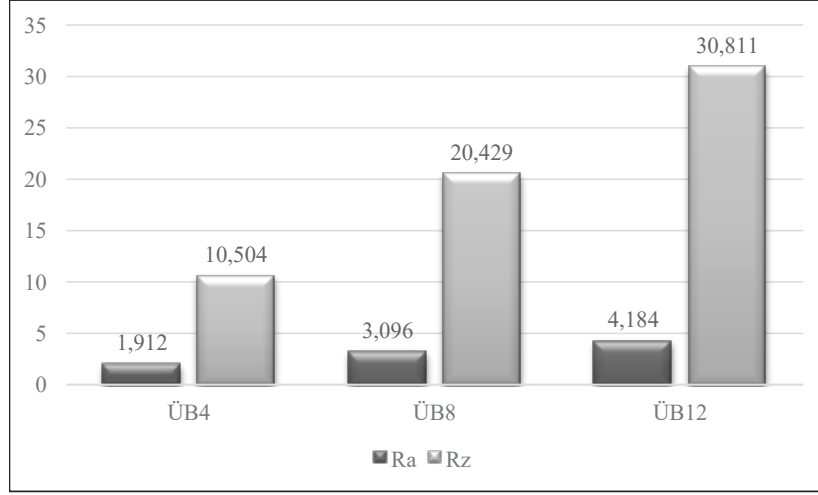
Şekil 4 kütlece %12 üleksit ve boraks içeren numunenin sürtünme süresine göre sürtünme katsayısı ve zaman grafiğini temsil etmektedir. Testlerde elde edilen en yüksek sürtünme katsayısı 0,4 iken disk ile balata arasında meydana gelen en yüksek sıcaklık 258 °C'dir. Sürtünme kararlılığı yaklaşık %87 olarak

hesaplanmıştır. Literatüre göre sürtünme kararlılığı (%) değeri mümkün olduğunca yüksek ve 100'e yakın olmalı, elde edilen eğrinin eğim ve dalgalanmaları ise düşük seviyede olmalıdır [18].

Şekil 5'de numunelerin 100x büyütülmüş optik mikroskop fotoğrafları gösterilmiştir. Fotoğraflarda takviye malzemesi olan çelik yünü ve metalik talaşlar gözle görülebilmektedir. Ayrıca balatayı oluşturan malzemelerin kompozisyon içinde homojen dağıldığı söylenebilir. Numune üretilirken maruz kaldığı sıcak işlem, bağlayıcı malzeme olan fenolik reçineyi erittiğinden dolayı reçine gözle görülemez. Ayrıca resimlerde görülen mikro boşluklar sürtünmenin etkisiyle yüzeyden kopan partiküller sonucu aşınmanın meydana geldiğini göstermektedir. Numunelerin sürtünme yüzeylerinde abrazif aşınmalar sonucu oluşan çizikler, mikro ve makro boşluklar ve adeziv aşınmalar



Şekil 5. Numunelerin optik mikroskop fotoğrafları (a) ÜB4 kodlu numune (b) ÜB8 kodlu numune (c) ÜB12 kodlu numune (100x büyütme) (Samples of optical microscopes (a) ÜB4 code sample (b) ÜB8 code sample (c) ÜB12 code sample (100x magnification)).



Şekil 6. Numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri (µm) (Surface roughness values of the samples).

sonucu oluşan üzeri kaplanmış sürtünme tabakaları ile termo-mekanik gerilmelere bağlı olarak mikro çatlakların olduğu görülmüştür.

Şekil 6'da numunelerin aşınma sonrası yüzey pürüzlülüğü Ra (µm) ve Rz (µm) değerleri grafik olarak verilmiştir. Ölçümler kayma yönüne dik doğrultuda yedi farklı bölge üzerinden yapıp ortalaması alınmıştır. Literatürdeki çalışmalara göre yüzey pürüzlülüğü yüksek olan malzemelerin aşınma direnci daha düşük olmaktadır. Çizelge 4'de gösterilen numunelerin aşınma özellikleri ile Şekil 6'da verilen yüzey pürüzlülüğü değerleri karşılaştırıldığında özgül aşınma oranı ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğru orantı tespit edilmiştir. Özgül aşınma oranı yüksek olan numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri daha yüksek çıkmıştır. Buna göre özgül aşınma oranı yüksek olan numunelerin yüzeyinden daha fazla malzeme kaybı olduğu ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün yüksek olduğu söylenebilir. Numunelerin fiziksel özellikleri karşılaştırıldığında ise sertliğin azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Sertliği daha düşük olan numunelerin yüzeyinden daha fazla malzeme kaybının olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde sertlik ve yoğunluk arasındaki ilişkinin literatürdeki çalışmalar [3,4,7,8,14] ile uyumlu olduğu görülmüştür. Fren sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısı ve özgül aşınma oranı fren performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Frenleme performansı açısından sürtünme katsayısının yüksek, özgül aşınma oranının ise düşük olması istenir. TS 555 standardına göre fren balatalarının sürtünme katsayısı 0,25 değerinden küçük olmamalıdır. Çizelge 4

incelendiğinde ortalama sürtünme katsayısı en yüksek olan numunenin kütlece %12 üleksit ve boraks içeren ÜB12 isimli numune olduğu görülmektedir. Başar ve arkadaşlarının yaptığı kolemanit-boraks [3] ve kolemanit-üleksit [4] katkılı fren sürtünme malzemelerinin incelendiği çalışmalarda sürtünme katsayısı açısından en iyi sonuçların miktar olarak %4 bor minerali içerikli numunelerden aldıkları gözlemlenmiştir. Fren sürtünme malzemeleri ile ilgili çalışmaların sonuçları literatür ile kıyaslanırken dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Bunlardan biri numuneleri oluşturan malzemeler ve miktarları, diğeri ise numunelerin üretim parametreleridir.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, bor minerallerinden üleksit ve boraksın fren balatası içeriğinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunun için kütlece %4, %8 ve %12 üleksit ve boraks içeren üç farklı numune hazırlanmıştır. Numunelerin aşınma ve sürtünme testleri için tam ölçekli bir fren balata cihazı kullanılmıştır. Testlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- Sürtünme ve aşınma testlerinden elde edilen sonuçlara göre üretilen bütün numuneler endüstride uygulanabilir, literatür ile uyumlu ve TS 555 standardına uygundur.
- Sürtünme testine tabi tutulan tüm numuneler arasında en yüksek sürtünme katsayısı 0,35 değeri, kütlece %12 üleksit ve boraks içeren ÜB12 kodlu numuneye, en düşük sürtünme katsayısı 0,3 değeri ise kütlece %4 üleksit

Çizelge 4. Balata numunelerinin özellikleri (Properties of the samples).

Numune Kodu	Özgül aşınma oranı (cm ³ /Nm)	Ortalama sürtünme katsayısı	Rockwell sertlik (HRL)	Yoğunluk (g/cm ³)
ÜB4	2,791×10 ⁻⁶	0,3	99	2,147
ÜB8	3,681×10 ⁻⁶	0,311	95	2,056
ÜB12	4,727×10 ⁻⁶	0,35	80	1,852

ve boraks içeren ÜB4 kodlu numuneye aittir.

- Numunelerde üleksit ve boraks miktarı arttıkça sürtünme kararlılığı da artmıştır. Buna göre kütlice %4 üleksit ve boraks içeren ÜB4 kodlu numunenin sürtünme kararlılığı %66, kütlice %8 üleksit ve boraks içeren ÜB8 kodlu numunenin sürtünme kararlılığı %84, kütlice %12 üleksit ve boraks içeren ÜB12 kodlu numunenin sürtünme kararlılığı ise %87 olarak bulunmuştur.
- Numunelerin aşınma testi sonrası aşınan yüzeylerinin optik mikroskop fotoğrafları incelendiğinde yüzeyde adezif ve abrazif aşınmalara bağlı olarak mikro ve makro boşlukların oluştuğu gözlemlenmiştir.
- Numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin özgül aşınma oranı ve sertlik değerleriyle ilişkisi incelendiğinde özgül aşınma oranı yüksek, sertliği düşük olan numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Balata numunelerinin özellikleri incelendiğinde numunelerin sertlikleri ile yoğunlukları arasında doğru orantı olduğu ve bu orantının literatür ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar (References)

- [1] Tombal T. D., Özkan Ş. G., Ünver İ. K., Osmanlioğlu A. E., Bor bileşiklerinin özellikleri, üretimi, kullanımı ve nükleer reaktör teknolojisinde önemi, BORON 1 (2), 86-95, 2016.
- [2] Wannik W. B., Ayob A. F., Syahrullail S., Masjuki H. H., Ahmad M. F., The effect of boron friction modifier on the performance of brake pads, Int. J. Mech. Mater. Eng., 7 (1), 31-35, 2012.
- [3] Başar G., Buldum B. B., Sugözü İ., The effect of colemanite and borax reinforced to the friction performance of automotive brake linings IAREC 2017, Osmaniye-Türkiye, 16-18 Kasım, 2017.
- [4] Başar G., Buldum B. B., Sugözü İ., Effects of colemanite and ulexite on the tribological characteristics of brake friction materials IAREC 2017, Osmaniye-Türkiye, 16-18 Kasım, 2017.
- [5] Mutlu İ., Çevik İ., Öner C., Fren Balatalarında Boraks ve Borik Asitin Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, (www.maden.org).
- [6] Kuş H., Altıparmak D., Başar G., Sıcak presleme yöntemi ile üretilmiş uçucu kül takviyeli bronz matrisli fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma özellikleri üzerine kolemanit miktarının etkisi, Politeknik Dergisi, 19 (4), 537-546, 2016.
- [7] Efeoğlu İ., Totik Y., Keleş A., Ersoy K., Durkaya G., Synthesis and investigation of structural-mechanical-tribological properties of c-BN based BN thin films, BORON 2 (1), 11-17, 2017.
- [8] Sugözü İ., Mutlu İ., Sugözü B., The effect of ulexite to the tribological properties of brake lining materials, Polym. Composite, 39 (1), 55-62, 2018.
- [9] Sugözü İ., Mutlu İ., Sugözü B., The effect of colemanite on the friction performance of automotive brake friction materials, Ind. Lubr. Tribol., 68 (1), 92-98, 2016.
- [10] Sugözü İ., Mutlu İ., Keskin A., Friction and wear behaviour of ulexite and cashew in automotive brake pads, Adv. Mat. Res., 49 (5), 751-758, 2015.
- [11] Sugözü İ., Investigation of using rice husk dust and ulexite in automotive brake pads, Mater. Test., vol. 57 (10); 877-882, 2015.
- [12] Sugözü İ., Mutlu İ., Keskin A., The effect of using heat treated ulexite and cashew in automotive friction materials, Mater. Test, 57 (9), 744-749, 2015.
- [13] Sugözü İ., Can İ., Öner C., The effect of borax on the friction performance of an automotive brake lining, Mater. Test, 56 (5), 362-368, 2014.
- [14] Ertan R., Fren Balata Malzemelerinin Optimizasyonu ve Üretim Parametrelerinin Analizi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2008.
- [15] Sugözü B., Nano Silika, Nano Alümina ve Nano Zirkon Aşındırıcı Parçacık Katkısının Fren Balata Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2016.
- [16] TS 555 Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler İçin, 1992.
- [17] TS 9076 Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları ile Değerlendirilmesi, 1991.
- [18] Bijwe J., Aranganathan N., Sharma S., Dureja N., Kumar R., Nano-abrasives in friction materials-influence on tribological properties, Wear 296 (1), 693-701, 2012.
- [19] Hong U. S., Jung S. L., Cho K. H., Cho M. H., Kim S. J., Jang H., Wear mechanism of multiphase friction materials with different phenolic resin matrices, Wear 266(7); 739-744, 2009.