



International Advanced Researches & Engineering Congress-2017

<http://iarec.osmaniye.edu.tr/>

Osmaniye/TURKEY

16-18 November 2017

## The Effect of Colemanite and Borax Reinforced to the Friction Performance of Automotive Brake Linings

Gökhan Başar<sup>1\*</sup>, B. Barış Buldum<sup>2</sup>, İlker Sugözü<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Manufacturing Engineering, Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye, 80000, Turkey

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Mersin University, Mersin, 31200, Turkey

<sup>3</sup> Department of Automotive Engineering, Mersin University, Mersin, 31200, Turkey

\* Corresponding author. Tel.: +90 328 817 10 10/3432, E-mail address: gokhanbasar@osmaniye.edu.tr.

### Abstract

In this study, the effect of the addition of different ratios of colemanite and borax (4, 8, 12 %) on tribological properties polymer based matrix brake lining material fabricated by hot pressing method were investigated. The friction characteristics of the produced samples were acquired by using pin-on-disk type friction tester. Furthermore, the specific wear rate, density and hardness of the samples were also determined. In terms of friction coefficient, the best result was found for brake lining material with 4% colemanite and borax. It is concluded that the produced brake linings according to this practice get into the standards and the reinforcement ratio is effective in braking performance.

**Keywords:** Borax, Brake lining, Colemanite, Friction performance

## Kolemanit ve Boraks Takviyeli Otomotiv Fren Balataların Sürtünme Performansına Etkisi

### Özet

Bu çalışmada sıcak presleme yöntemi ile üretilen aynı anda ve kütlece üç farklı oranda (% 4, 8, 12) kolemanit ve boraks takviyeli polimer matrisli fren balata malzemesinin tribolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Üretilen balata malzemelerin sürtünme karakteristikleri pin-on-disk tipi sürtünme test cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca numunelerin özgül aşınma oranı, sertlik ve yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Sürtünme katsayısı açısından en iyi sonucu % 4 kolemanit ve boraks takviyeli sürtünme malzemesi vermiştir. Üretilen balataların standartlara uygun olduğu ve takviye oranının frenleme performansında etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Boraks, Fren balatası, Kolemanit, Sürtünme performansı

### 3. Giriş

Otomobillerde bulunan en önemli güvenlik ve performans elemanlarından biri frenlerdir [1-2]. Fren sistemi, hareket ile elde edilen kinetik enerjiyi sürtünme ile ısıya dönüştürerek hareketin durması ya da kontrol altına alınmasını sağlayan sistemlere denir [3]. Fren sistemini oluşturan en önemli bileşenlerden biri ise fren balatasıdır [4]. Otomotiv fren balatalarında, insan sağlığı yönünden sakıncalı olması nedeniyle yasaklanan asbest takviyeli fren

balataları yerine asbetsiz organik fren balataları geliştirilmiş ve patentleri alınmıştır [3,5]. Asbetsiz balataların içerik ve üretim şartları tam olarak bilinmemekle birlikte asbest elyaf yerine çelik elyaf, taş yünü, seramik yünü, kevlar, cam elyafı gibi takviye elyaflar kullanılmaktadır [5]. Otomotiv teknolojisindeki hızlı gelişmeler sonucunda daha yüksek ivme ile oldukça yüksek hızlara ulaşabilen taşıtlar üretilmektedir. Bu yüzden, otomotiv fren balatalarında yeni ve farklı kompozit sürtünme malzemelerin birbiriyle birleştirilerek kullanılması,

malzeme teknolojisinin gelişmesinde önemli bir yer almıştır. Özellikle sürtünme katsayılarının yüksek ve kayma özelliklerinin iyi olması, sürtünme malzemelerinin kullanım sebeplerindedir. Sürtünme malzemelerinden, kuru veya ıslak ortamlarda değişken yük, sıcaklık, hız gibi farklı çalışma şartlarında oldukça kararlı ve yüksek bir sürtünme katsayısı göstermesi istenir. Ayrıca, aşınma miktarının düşük olması, karşı malzemenin çizilip zarar verilmemesi ve frenleme sırasında düşük ses olması beklenir [6].

Bu konuyla ilgili literatürde yapılan çalışmalar kısaca şöyle özetlenebilir; Çengelci ve arkadaşları, fren balatasının üretiminde takviye elemanı olarak çam fıstığı ve cashew tozunu farklı oranlarda kullanarak, frenleme karakteristiğine etkisini araştırmışlardır [5]. Kahya ve arkadaşları, kızılçam kozalağı tozu takviyeli polimer matrisli fren balatasının üretiminde sıcak presleme basıncının tribolojik özelliklere etkisi araştırılmıştır. 100 bar sıcak presleme basıncında üretilen balatalarda, en iyi sürtünme katsayısı değeri (0.375  $\mu$ ) ve sürtünme kararlılığı (%81,5) elde etmişlerdir [7]. Sugözü ve arkadaşları, fren balatasının üretim parametrelerinden biri olan ısı işlem süresinin, aynı içerik ve formülasyona sahip balataların sürtünme performansı üzerine etkisini incelemişlerdir. TS 555 standardına uygun olan balata üretimi için ısı işlem süresi üç saat olarak belirlemiştir. Üç saatten daha fazla ısı işlem süresine tabi tutulan balataların sürtünme performansında olumsuz etki göstermiştir [8]. Kuş ve arkadaşları, sıcak presleme yöntemi ile üretilen kütlece %6 uçucu kül takviyeli metal matrisli fren balata malzemesi üzerine farklı oranlarda (%0,5-4) ilave edilen kolemanit miktarının tribolojik özelliklere etkisini araştırmışlardır [2]. Sugözü ve arkadaşları, polimer kompozit sürtünme malzemelerinin üretim parametrelerinden sıcak presleme basıncının sürtünme katsayısı ve sürtünme yüzeyinde oluşan sıcaklığa etkisini incelemişlerdir [9]. Sugözü çalışmasında, maun cevizi tozu farklı takviye oranlarda üretilen polimer matrisli fren balatasının sürtünme performansı üzerine etkisini araştırmıştır [10]. Sugözü ve Mutlu yaptıkları çalışmada, fren balata üretim parametrelerinden biri olan toz karıştırma süresinin frenleme karakteristiğine etkisini incelemişlerdir. Karıştırma süresinin 10 dakika olduğu durumda, sürtünme katsayısı ve aşınma değerlerinde bir artış olduğu gözlemlenmiştir [11]. Ertan ve Yavuz çalışmasında, fren balata üretiminde kullanılan malzemelerin yapısal komponentleri olarak bakır

tozu, kaya yünü ve aramid lifler kullanılarak sabit üretim şartlarında üretilen numunelerin tribolojik ve fiziksel özelliklere etkisini araştırmışlardır [12]. Boz ve Kurt çalışmasında, toz metalurjisi yöntemi ile takviyesiz bronz esaslı ve farklı oranlarda (0,5-4%) Zn tozu takviyeli üretilen fren balatalarının sürtünme-aşınma performanslarını test etmişlerdir [13]. Timur ve Kılıç çalışmasında, toz metalurjisi yöntemi kullanılarak atık mermer tozu takviyeli kompozit fren balatası üretmişler ve farklı ticari balatalar ile sürtünme katsayısı bakımından karşılaştırmışlardır [14].

Günümüzde, dünya çapında yapılan bilimsel ve teknolojik gelişmeler sayesinde, bor ürünlerinin tekstil elyaflarında, camlara, nükleer uygulamalara, ileri miktatlara ve hatta gübrelere kadar kullanımı çok geniş bir yelpazede kullanıldığı görülmektedir. Bu anlamda, bor mineralleri hammadde olarak pek çok sektörü ve teknolojiyi yakından ilgilendiren bir "teknö-ekonomik" unsur haline gelmiştir. Türkiye'nin sahip olduğu zengin bor yatakları dikkate alındığında bunun son derece önemli, hayati ve stratejik bir kaynak olarak kullanılması gereği açıkça görülmektedir [15]. Bu çalışmada, balata üretimi için kullanılan malzemeler içerisinde bor minerallerinden kolemanit ve boraks, aynı anda ve üç farklı oranda (% 4, 8 ve 12) takviye edilerek üretilen fren balatalarının tribolojik etkisi incelenmiştir.

## 4. Materyal ve Metot

### 2.1. Balata Üretimi

Balataların üretiminde asbest içermeyen takviye malzemeleri ve yüksek sıcaklıkta termal bozulmayı önleyecek, balatanın mekanik ve tribolojik özelliklerini kuvvetlendirecek şekilde bileşenler seçilmiştir. Üretim esnasında malzeme oranları belirlemede kütle oran esas alınmıştır. Tablo 1'de balata içeriğini oluşturan malzemeler 0,001g hassasiyetinde tartılarak toz karıştırıcı mikserin hareketli haznesine doldurulmuştur.

Belirli oranlarda hazırlanan karışımın homojenliğini sağlamak için 120 dev/dak hızda ve 10 dakika sürede mikser ile karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra soğuk şekillendirme için hazırlanan Ø25,4 mm kalıplara dökülerek ortam sıcaklığında, 2 dakika süre ile 80 bar basınçta balatanın ön şeklini oluşturmak için soğuk preste şekillendirilmiştir. Ön şeklini almış balata numuneleri 100 bar basınçta, 150 °C sıcaklıktaki pişirme kalıbında 60 saniye aralıklarla havalandırılması yapılarak 10 dakika sürede

pişirilmiştir. Böylece malzeme içerisinde bulunan suyun ve sıcaklık sonucu balata bileşenlerin oluşturduğu reaksiyonlar sonucu meydana gelen buharların ve gazların dışarı atılması sağlanmıştır. Numunenin kalıp zımba yüzeyine yapışmasını önlemek için özel bir sıvı kullanılmıştır. Son olarak kalıptan çıkarılan numuneler ortam sıcaklığına ulaşıncaya kadar soğumaya bırakılmıştır. Balata üretim parametreleri Tablo 2' de verilmiştir. Kolemanit ve boraks, aynı anda ve üç farklı oranda (% 4, 8 ve 12) takviye edilerek üretilen numuneler sırasıyla KX-4, KX-8 ve KX-12 olarak kodlanmıştır.

Tablo 1. Balatada kullanılan malzeme oranları (% Kütleli)

Numune Kodu	KX-4	KX-8	KX-12
Reçine	20	20	20
Çelik yünü	5	5	5
Cashew tozu	10	10	10
Pirinç talaşı	5	5	5
Grafit	3	3	3
Bakır	6	6	6
Alümina	8	8	8
Kolemanit	4	8	12
Boraks	4	8	12
Barit	35	27	19
TOPLAM	100	100	100

Tablo 2. Balata üretim parametreleri

İşlemler		KX-4	KX-8	KX-12
Karıştırma	Zaman (dak)	10	10	10
Soğuk Şekillendirme	Zaman (dak)	2	2	2
	Sıcaklık (°C)	Ortam sıcaklığı	Ortam sıcaklığı	Ortam sıcaklığı
	Basınç (bar)	80	80	80
Sıcak Şekillendirme	Zaman (dak)	10	10	10
	Sıcaklık (°C)	150	150	150
	Basınç (bar)	100	100	100

## 2.2. Deney Düzenegi

Üretimleri tamamlanan numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı ve zaman karakteristiklerinin belirlenmesinde Şekil 1' de verilen sürtünme katsayısı, fren kuvveti, hidrolik sistem basıncı, balata yüzey sıcaklığı değerlerini deney sırasında bilgisayar ortamına aktarabilen deney seti kullanılmıştır. Deney düzeneginde dönme sırasında balata ile fren diski arasındaki sürtünme kuvvetini ölçmek için yük hücresi

kullanılmıştır. Böylece diskin dönmesi sırasında fren balatasına uygulanan basınçtan oluşan sürtünme kuvvetinden dolayı balatanın da disk ile beraber dönme isteği dikkate alınarak bu döndürme kuvveti elektronik olarak ölçülmüştür. Deney düzenegindeki fren diskinin istenilen hız ve devirlerde kullanılabilmesi için hız ayarlayıcı mevcuttur. Deneylerin standartlara uygun olarak yapılabilmesi için deney düzenegine disk yüzey sıcaklığını belirlemek için her saniyede bir veri alabilen, -50 ile 1000°C aralıklarında çalışabilen temassız (IR) termometre konulmuştur. Deney işlemlerinde 116 HB (41.86 HRA) sertlikte ve 280 mm çapında gri dökme demirden üretilmiş fren diski kullanılmıştır.

## 2.3. Deney Şartları

Balata test cihazı, üretilen balata numunelerin 5 bar basınç altında 3 m/s hızda numune yüzeyinin %95'i disk yüzeyine temas edinceye kadar sürtünme yüzeylerinin örtüşmesini sağlamak amacıyla çalıştırılmıştır. Deneyler, 7 bar balata yüzey basıncında ve 616 dev/dak hızda yapılmıştır. Deney sırasında sürtünme katsayısı, sıcaklık ve zaman değerleri kaydedilmiştir. Her numune için sürtünme katsayısı, 616 dev/dak hızda, 7 bar basınç altında, 1 saniye aralıklarla 1800 saniye kaydedilmiştir ve sürtünme katsayısı-zaman değerleri elde edilmiştir. Böylece TS 555'de fren balatalarının sürtünme katsayısının belirlenmesinde uygulanan basınç sabit olarak uygulanmış olup hiçbir dış etkiye maruz kalmadan sürtünme katsayısı ve zaman değişimi incelenmiştir [16]. Her balata numunesine ait deney sonunda balata hassas terazide tartılarak kütle kaybı bulunmuştur.



Şekil 1. Balata test cihazı

## 2.4. Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Oranı Hesaplamaları

Balatalara uygulanan kuvvet ve test cihazından

elde edilen sürtünme kuvveti dikkate alınarak sürtünme katsayısı TS 555'e göre denklem (1)'de verilen formülle hesaplanmıştır [16].

$$\mu = \frac{f_s}{f_n} \quad (1)$$

Burada;  $f_s$  sürtünme kuvveti,  $f_n$  ise balata yüzeyine uygulanan normal kuvvettir ve denklem (2)'ye göre hesaplanır.

$$f_n = P \times A \quad (2)$$

Denklem (2)'de; P uygulanan basınç (MPa), A ise balatanın sürtünen yüzey alanı ( $\text{mm}^2$ )'dir. Sürtünme testi öncesi ve sonrası her bir numunenin kütleleri belirlenerek özgül aşınma oranı TS 555'e göre denklem (3)'te verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır [16].

$$V = \frac{1}{2 \times \pi \times R} \times \frac{m_1 - m_2}{\eta \times f_s \times \rho} \quad (3)$$

Burada; V özgül aşınma oranı ( $\text{cm}^3/\text{Nm}$ ), R balatanın merkezi ile diskin merkezi arasındaki mesafe (m),  $m_1$  ve  $m_2$  sırasıyla balatanın test öncesi ve test sonrası kütlesi (g),  $\eta$  test boyunca diskin toplam dönme sayısı,  $\rho$  balatanın yoğunluğu ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ve  $f_s$  ortalama sürtünme kuvveti (N)'dir. Numunelerin sürtünme kararlılığı (%) denklem (4)'e göre hesaplanmıştır.

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

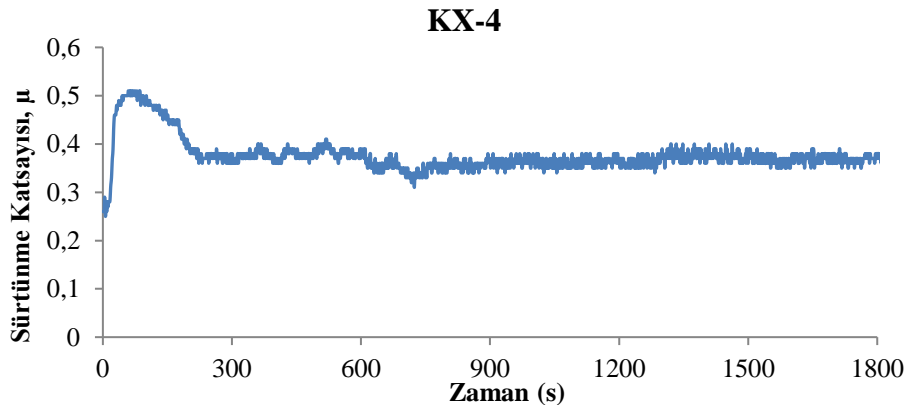
Burada; FS numunenin sürtünme kararlılığı (%),  $\mu_{ort}$  ortalama sürtünme katsayısı,  $\mu_{maks}$  ise test süresince elde edilen maksimum sürtünme katsayısı değerini ifade etmektedir.

## 2.5. Sertlik ve Yoğunluk Ölçümleri

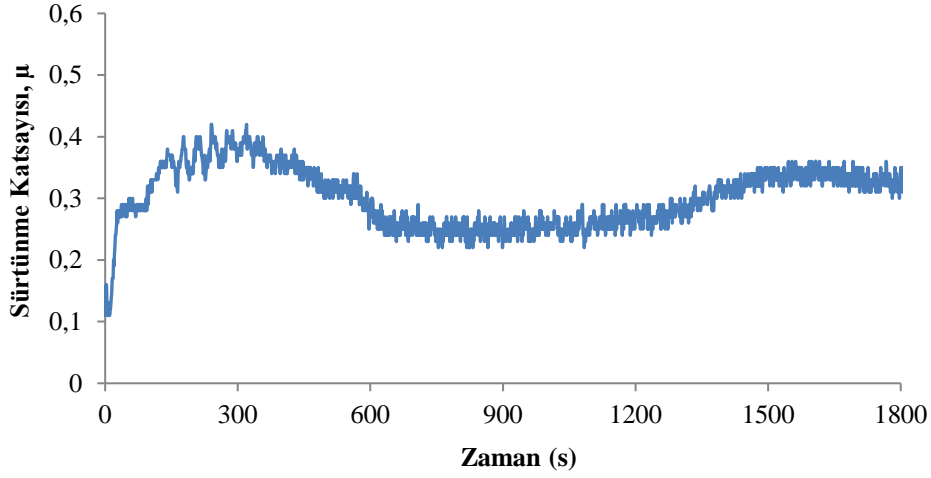
Numunelerin sertlik ölçümleri Bulut Makine marka ve DIGIROCK-LC-RBOV model ölçüm cihazında Brinell sertlik ölçüm yöntemi ile tespit edilmiştir. Sertlik ölçme işlemleri sırasında, uygulanan yük 62,5 kgf (612,9 N) ve batıcı uç olarak 2,5 mm çapında çelik bilya uç kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri, numunelerin sürtünen yüzeyinden alınmıştır. Numunelerin boyutları  $\text{Ø}25,4 \times 9$  mm olduğu için yüzeyin orta ve kenara yakın noktalarından değerler alınarak hesaplanmıştır. Her numune için farklı bölgelerden ölçüm değerleri alınarak bunların aritmetik ortalaması alınmıştır [17]. Numunelerin yoğunluk ölçümleri, su içerisinde Arşimet prensibi kullanılarak belirlenmiştir.

## 5. Bulgular

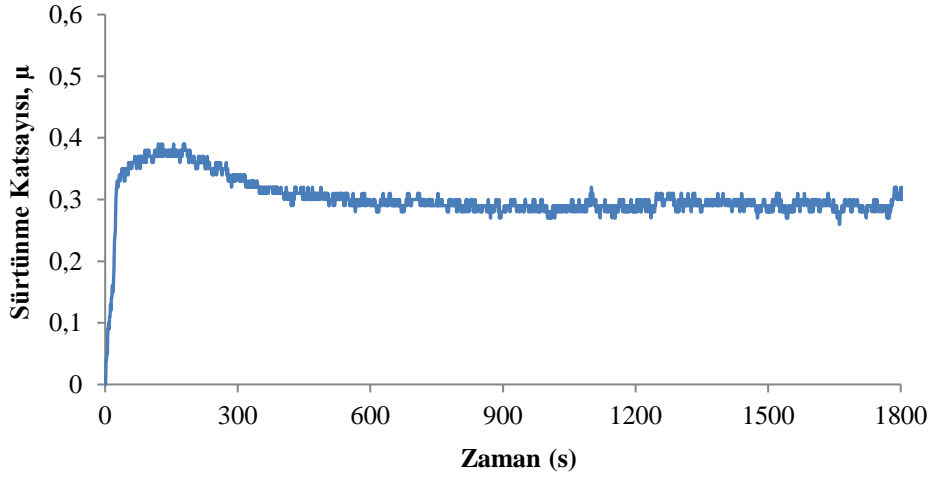
Bu çalışmada, kütlece aynı miktarda ve üç farklı oranlarda takviye edilen kolemanit ve boraks katkılı fren balatası üretilmiş ve otomotiv fren balatası sürtünme malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Optimum oranın belirlenebilmesi için % 4 ile % 12 arasında değişen üç farklı oran kullanılmıştır. Fren balata numuneleri içerisinde bulunan sürtünme malzemeleri içerisindeki kolemanit ve boraks tozunun kütle artışı, sürtünme katsayısına etkisi bulunmayan baritin azaltılmasıyla dengelenmiştir (Tablo 1). Numunelerin zamana bağlı sürtünme katsayısı grafikleri Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4' de gösterilmiştir. Fren balatalarından, frenleme sırasında sürtünmeden dolayı açığa çıkan ara yüzey sıcaklığındaki artışa bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişimin minimum seviyede olması durumu istenilen en iyi özelliktir [18, 19]. Sürtünme kararlılığı (%) değeri mümkün olduğu kadar yüksek ve 100'e yakın olmalı, elde edilen eğrinin eğim ve dalgalanmaları ise minimum olmalıdır [20].



Şekil 2. KX-4 numunesinin zamana bağlı sürtünme katsayısı grafiği

**KX-8**

Şekil 3. KX-8 numunesinin zamana bağlı sürtünme katsayısı grafiği

**KX-12**

Şekil 4. KX-12 numunesinin zamana bağlı sürtünme katsayısı grafiği

Grafikler incelendiğinde; ortalama en düşük sürtünme katsayısı 0,301 değerini KX-12 kodlu numune verirken ortalama en yüksek sürtünme katsayısı 0,376 değerini KX-4 kodlu numune vermiştir.

Şekil 2, KX-4 kodlu numunenin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 38,17 °C, en yüksek ise 196,01 °C'dir. Ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,376 ve sürtünme kararlılığı %73,73'tür. Şekil 3, KX-8 kodlu numunenin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 27,74 °C, en yüksek ise 192,85 °C'dir. Ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,303 ve sürtünme kararlılığı %72,14'dür. Şekil 4, KX-12 kodlu numunenin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı

değişimini göstermektedir. Balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık en düşük 26,7 °C, en yüksek ise 147,84 °C'dir. Ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,301 ve sürtünme kararlılığı %77,18'dir.

Şekiller incelendiğinde, sürtünme tabakası gelişim süresince sürtünme katsayısında az miktarda düşme şeklinde inişli çıkışlı sürekli bir değişme görülmektedir. Bu durumun sebebi olarak, sürtünme süresince disk yüzeyindeki temas bölgelerinin içine doğru ısının periyodik olarak sürekli değişmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir [21]. Bu etkiden dolayı sürtünme katsayısında sürekli bir değişim meydana gelir. Ayrıca bu durum, sürtünme çiftlerinin yüzeyindeki pürüzlerde birleşme olması ve büyümesi ile açıklanır [22]. Bu durumda bir yapışma bir bırakma hali sürekli tekrarlanır, bu da sürtünme katsayısında sürekli artma ve azalmaya

neden olur. Sürtünme malzemesi olarak üretilen numunelerin ortalama sürtünme katsayısı ( $\mu_{ort}$ ), özgül aşınma oranı ( $\text{cm}^3/\text{Nm}$ ) ve sürtünme kararlılığı (%) Tablo 3’de verilmiştir. Ayrıca, numunelerin brinell sertlik (HB) ve yoğunluk değerleri ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) Tablo 4’de görülmektedir. Sürtünme testi sonuçları incelendiğinde, balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklığın sürtünme kararlılığını doğrudan etkilediği görülmüştür. Fren balata malzemelerinde sürtünme kararlılığının yüksek olması istenir. Tablo 3 incelendiğinde, üretilen balata numunelerinin sürtünme kararlılığı % 70 ile 80 arasında değişmekte olup çok fazla bir değişiklik görülmemiştir.

Tablo 3. Balata numunelerin aşınma-sürtünme özellikleri

Numune Kodu	Ortalama sürtünme katsayısı ( $\mu_{ort}$ )	Özgül aşınma oranı ( $\text{cm}^3/\text{Nm}$ )	Sürtünme kararlılığı (%)
KX-4	0,376	$1,641 \times 10^{-6}$	73,73
KX-8	0,304	$1,154 \times 10^{-6}$	72,14
KX-12	0,301	$2,259 \times 10^{-6}$	77,18

Tablo 4. Balata numunelerin fiziksel özellikleri

Numune Kodu	Yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Sertlik (HB)
KX-4	2,13	37
KX-8	2,10	34
KX-12	2,00	32

Literatürde sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) 0,3 ila 0,7 arasında, sürtünme kuvveti ve disk-balata ara yüzey sıcaklığına bağlı olarak değiştiği görülmektedir [23]. Sürtünme-aşınma testlerinden elde edilen sonuçlardan, daha önceki yapılan çalışmalara paralel ve TS 555’e uygun olduğu saptanmıştır. Sürtünme malzemesi olarak kullanılan KX-4 kodlu numunenin aşınma oranı  $1,641 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{Nm}$ , KX-8 kodlu numunenin aşınma oranı  $1,154 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{Nm}$  ve KX-12 kodlu numunenin aşınma oranı ise  $2,259 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{Nm}$  bulunmuştur. Numunelerin fiziksel özellikleri arasından yoğunluk ve sertlik değerleri arasında doğru orantılı bir bağıntı olduğu tespit edilmiştir.

## 6. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, polimer esaslı balata tozlarına kütlece farklı oranlarda (4–12 %) kolemanit ve boraks tozu ilave edilerek, yeni balata numuneleri üretilmiş ve üretilen balata numunelerinin sürtünme aşınma davranışlarının mukayesesi yapılmıştır.

1. KX-4, KX-8, KX12 kodlu numunelerin, sürtünme katsayısı-zaman deneylerinden en iyi sonucu KX-4 kodlu numune verirken, en kötü sonucu KX-8 kodlu numunenin verdiği görülmüştür.

2. Aşınma açısından en fazla aşınma, kütle bazında KX-12 kodlu numunede, en az ise KX-8 kodlu numunede elde edilmiştir.
3. Balata numuneleri incelendiğinde, kütlece % 4 oranında takviye edilen kolemanit ve boraks miktarında en iyi sürtünme katsayısı değeri elde edilirken, balata komponenti içerisine takviye edilen kolemanit ve boraks miktarının kütlece % 4’den fazla kullanılması sürtünme performansını olumsuz etkilemektedir.
4. Balata malzemesine ilave edilen kolemanit ve boraks miktarındaki artışa bağlı olarak yoğunluğun düştüğü, sertliğin ise arttığı görülmüştür.
5. Balata numuneleri ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklığın sürtünme kararlılığını doğrudan etkilediği görülmüştür.
6. Ülkemizde bolca bulunan ve önemli bir yer altı zenginliği olan kolemanit ve boraksın polimer matrisli kompozit balata malzemelerinde fiyat artışına neden olmadan rahatlıkla takviye elemanı olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.
7. Kolemanit ve boraks tozu ilave edilerek üretilen balata örneklerinin TS 555 standardına göre balata malzemesi olarak kullanılabilmesi söylenebilir.

## Kaynaklar

1. Mohanty, S., and Y.P. Chugh, *Development of fly ashbased automotive brake lining*. Tribology International, 2007. **40**: p.1217-1224.
2. Kuş, H., D. Altıparmak, and G. Başar, *Sıcak Presleme Yöntemi ile Üretilmiş Uçucu Kül Takviyeli Bronz Matrisli Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Özellikleri Üzerine Kolemanit Miktarının Etkisi*. Journal of Polytechnic, 2016. **19**(4): p.537-546.
3. Sugözü, İ., *Bor Katkılı Asbetsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin İncelenmesi*, in *Mechanical Engineering 2009*, Fırat University: Turkey. p. 277.
4. Mutlu, İ., *Seramik katkılı asbetsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi*, in *Mechanical Engineering 2002*, Sakarya University: Turkey. p. 175.
5. Çengelci, E., M. Koca, and İ. Mutlu, *Çam Fıstığı Kozalaklarının Otomotiv Fren Balatasında Kullanımı ve Frenleme Karakteristiğine Etkisinin Araştırılması*. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED), 2011. **3**(1): p.19-28.
6. Jaafar, R.T., S.M. Selamat, and R. Kasiran, *Selection of Best Formulation for Semi-Metallic Brake Friction Materials Development*, Powder Metallurgy, 2012. Dr. Katsuyoshi Kondoh (Ed.), InTech, p.1-31.
7. Kahya, K., İ. Sugözü, and H. Şevik, *Kızılçam Kozalağı Tozu İçeren Fren Balatası Üretiminde Sıcak Presleme Basıncının Tribolojik Özelliklere Etkisi*, in *1<sup>st</sup> International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Afyon Kocatepe University*, 2016: Afyon. p. 508-512.

8. Sugözü, İ., C. Öner, İ. Mutlu, İ. Can, *Farklı Isıl İşlem Sürelerinde Üretilen Fren Balatalarının Frenleme Karakteristiğinin İncelenmesi*, in 6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium *IATS'11*, 2011: Elazığ, p. 15-18.
9. Sugözü, İ., İ. Yavuz, İ. Mutlu, *Polimerik Kompozit Sürtünme Malzemelerinde Üretim Basıncının Performansa Etkisinin Araştırılması*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu *IATS'09*, 2009: Karabük, p. 1140-1143.
10. Sugözü, K.B., *Otomotiv Fren Balata Malzemelerinde Maun Cevizi Tozunun Sürtünme Performansına Etkisi*. EÜFBED - Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2015. **8**(2): p.166-177.
11. Sugözü, İ., and İ. Yavuz, *Fren Balatası Üretiminde Toz Karıştırma Süresinin Frenleme Karakteristiğine Etkisinin Araştırılması*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (*IATS'09*), 2009: Karabük, p. 1052-1056.
12. Ertan, R., and N. Yavuz, *Balata Malzemelerinde Kullanılan Yapısalların Balatanın Tribolojik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi*. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2010. **15**(1): p. 169-177.
13. Boz, M., and A. Kurt, *Toz Metal Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Performansı Üzerine Çinkonun Etkisi*. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 2006. **21**(1): p. 115-121.
14. Timur, M., and H. Kılıç, *Mermer Atıkları Kullanılarak Üretilen Otomotiv Fren Balatasının Sürtünme Katsayısının Farklı Fren Balataları İle Karşılaştırılması*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2013. **19**(1): p. 10-14.
15. Beckhoff. [cited 2017 20 April]; Available from: [https://www.tubitak.gov.tr/tubitak\\_content\\_files/vizyon2023/mm/Ek2h.pdf](https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek2h.pdf)
16. TS 555, *Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler İçin*, 1992, Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
17. Sugözü, I., *Investigation of using rice husk dust and ulexite in automotive brake pads*. Materials Testing, 2015. **57**(10): p. 877-882.
18. Persson, B. N. J., *Theory of Friction – the Role of Elasticity in Boundary Lubrication*. Physical Review B, 1994. **50**(7): p. 4771-4786.
19. Tabor, D., *Friction as a dissipated process, Friction of organic polymers in fundamentals of friction*. Macroscopic and Microscopic Processes, 1996. **220**(3): p. 3-5.
20. Bijwe, J., N. Aranganathan, S. Sharma, N. Dureja, and R. Kumar, *Nano-abrasives in friction materials influence on tribological properties*. Wear, 2012. **296**: p. 693-701.
21. Anderson, A. E., *Friction and Wear of Automotive Brakes*, 1992, USA: Friction, Lubrication and Wear Technology ASM Handbook.
22. Stachowiak, G. W. and A. W. Batchelor, *Adhesion and adhesive wear*, 2001, In: Engineering Tribology, Eds, A.B.D: Butterworth-Heinemann.
23. Moore, D. F., *Principles and Application Tribology*, 1975, Oxford, Pergamon Press.