



---

**Makale / Research Paper**

---

## **Kolemanit ve Boraks Takviyeli Fren Balatalarının Sürtünme Performansı**

**Gökhan BAŞAR\*, B. Barış BULDUM, İlker SUGÖZÜ**

\*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 80000  
Osmaniye/TÜRKİYE

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 33343 Mersin/TÜRKİYE  
[gokhanbasar@osmaniye.edu.tr](mailto:gokhanbasar@osmaniye.edu.tr), [barisbuldum@mersin.edu.tr](mailto:barisbuldum@mersin.edu.tr), [ilkersugozu@mersin.edu.tr](mailto:ilkersugozu@mersin.edu.tr)

**Received/Geliş:** 2017-12-20

**Revised/Düzeltilme:** -

**Accepted/Kabul:** 2018-02-16

**Öz:** Bu çalışmada üç farklı miktarda (kütlece %4, %8 ve %12) kolemanit ve boraks takviyeli fren balata numuneleri üretilmiştir. Numuneler sırayla toz karıştırma, ön şekillendirme ve sıcak presleme işlemlerini kapsayan geleneksel yöntemle üretilmiştir. Numunelerin sürtünme ve aşınma karakteristikleri pin-on-disk tipi aşınma test cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca, numunelerin özgül aşınma oranı, sertlik ve yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Sürtünme katsayısı bakımından 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.

---

## **Friction Performance of Brake Pads Reinforced Colemanite and Borax**

**Abstract:** In this study, three brake pad specimens reinforced colemanite and borax differing in amount (4, 8 and 12 wt.%) were fabricated. The specimens were generated by a traditional process for a dry formulation following dry-mixing, preforming and hot pressing. The friction and wear characteristics of the generated specimens were obtained by using pin-on-disk type friction tester. The specific wear rate, density and hardness of the specimens were also examined. With regard to friction coefficient, the best result was found for brake pad material with 4% colemanite and borax. It is concluded that the generated brake pads considering this practice get into the standards and the reinforcement ratio is effective in braking performance.

**Keywords:** Borax; Brake pad; colemanite; friction performance.

---

### **1. Giriş**

Frenler, otomobillerde bulunan en önemli güvenlik elemanlarından biridir [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]. Fren balataları, genellikle 10 ile 20 arasında değişebilen farklı bileşenlerden meydana gelen kompozit bir sürtünme malzemesidir. Bu bileşenler, yapısallar, bağlayıcılar, dolgu malzemeleri, yağlayıcılar ve sürtünme düzenleyici olmak üzere işlev bakımından beş farklı grupta sınıflandırılabilir. Otomotiv fren balatalarında, insan sağlığı yönünden sakıncalı olması nedeniyle yasaklanan asbest takviyeli fren balataları yerine asbestsiz organik fren balataları geliştirilmiş ve patentleri alınmıştır [3, 5]. Asbestsiz balataların içerik ve üretim şartları tam olarak bilinmemekle birlikte asbest elyaf yerine çelik elyaf, taş yünü, seramik yünü, kevlar,

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Başar, G., Buldum B.B., Sugözü İ., "Kolemanit ve Boraks Takviyeli Fren Balatalarının Sürtünme Performansı" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(2); 635-644.

*How to cite this article*

Başar, G., Buldum B.B., Sugözü İ., "Friction Performance of Brake Pads Reinforced Colemanite and Borax" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2018, 5(2); 635-644.

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].

Literatürde yapılan çalışmalarda; 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 çalışmalarında, kızılçam kozalağı tozu takviyeli polimer matrisli fren balatasının üretiminde sıcak presleme basıncının tribolojik özelliklere etkisini araştırmışlardır. 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 ısıl işlem süresinin, aynı içerik ve formülasyona sahip balataların sürtünme performansı üzerine etkisini incelemişlerdir. TS 555 standardına uygun olan balata üretimi için ısıl işlem süresi üç saat olarak belirlenmiştir. Üç saatten daha fazla ısıl 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 tozunun farklı takviye oranlarda üretilen polimer matrisli fren balatasının sürtünme performansı üzerine etkisini araştırmıştır [10]. Sugözü ve Mutlu yaptıkları çalışmada, fren balata üretim parametrelerinden toz karıştırma süresinin frenleme karakteristiğine etkisini incelemişlerdir. Karıştırma süresinin 10 dakika olduğu durumda, sürtünme katsayısı ve aşınma direncinde 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 oranlarını karşılaştırmışlardır [14]. Sugözü ve Dağhan çalışmasında [15], alümina, silika ve zirkon (kütlece %5 ve %10) olmak üzere üç farklı aşındırıcı kullanılarak fren sürtünme malzemesi üretmişlerdir ve aşındırıcıların sürtünme malzemesi üzerindeki tribolojik etkisi araştırılmıştır. Sugözü ve arkadaşları [16], bor minerallerinden üleksit ve boraksın fren sürtünme malzemesi olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre, üleksit ve boraks miktarının artması ile sürtünme performansında iyileşme sağlanmıştır.

Günümüzde, bilimsel ve teknolojik gelişmeler sayesinde, bor ürünlerinin tekstil elyaflarında, camlarda, nükleer uygulamalarda, ileri miktatlarda 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 “teknolojik-ekonomik” unsur haline gelmiştir. Türkiye’nin sahip olduğu zengin bor yatakları dikkate alındığında bunun son derece önemli, hayati ve stratejik bir kaynak olarak kullanılması açıkça görülmektedir [17].

Bu çalışmada bor minerallerinden kolemanit ve boraksın fren sürtünme malzemeleri olarak kullanılabilirliği deneysel çalışmalar yapılarak araştırılmıştır. Üç farklı miktarda (kütlece %4, %8 ve %12) kolemanit ve boraks içeren numuneler üretilmiş ve sürtünme performansı incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Fren Balata Üretimi

Fren balata kompozitlerin üretiminde asbest içermeyen takviye malzemeleri ve yüksek sıcaklıkta termal bozulmayı önleyecek, mekanik ve tribolojik özelliklerini kuvvetlendirecek şekilde bileşenler seçilmiştir (Tablo 1). Bileşenler seçilirken literatür, maliyet ve temin etme kolaylığı dikkate alınmıştır. Fren balata kompozitlerini oluşturan malzemeler 0.001g hassasiyetinde tartılarak toz karıştırıcı mikserin hareketli haznesine doldurulmuştur. Balatada kullanılan her malzemenin bir fonksiyonu vardır. Bu çalışmada kullanılan malzemelerin fonksiyonları Tablo 2’ de gösterilmiştir.

Tablo 1. Balatada kullanılan malzeme oranları (% Kütlelel)

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

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 karışım 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.

Tablo 2. Balatada kullanılan malzemelerin fonksiyonları

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

Son olarak kalıptan çıkarılan numuneler ortam sıcaklığına ulaşınca kadar soğumaya bırakılmıştır. Balata üretim parametreleri Tablo 3'te verilmiştir. Kolemanit ve boraks, üç farklı oranda (%4, 8 ve 12) takviye edilerek üretilen numuneler sırasıyla KX-4, KX-8 ve KX-12 olarak kodlanmıştır.

## 2.2. Deney Düzenegi

Üretimi tamamlanan kompozit balataların sürtünme katsayısı-zaman karaktersitiklerinin belirlenmesinde; deney sırasında elde edilen sürtünme katsayısı, fren kuvveti, hidrolik sistem basıncı, balata yüzey sıcaklığı değerlerini bilgisayara aktarabilen bir deney düzenegi kullanılmıştır (Şekil 1). Deney sırasında, balata ile fren diski arasındaki sürtünme kuvveti yük hücresi kullanılarak ölçülmüştür. Test cihazında istenilen hız ve devir kullanılabilmesi için hız ayarlayıcısı bulunmaktadır. Standartlara uygun bir deney yapılabilmesi için deney düzenegine disk yüzey sıcaklığını tespit etmek amacıyla her saniyede veri alabilen, -50 ile 1000°C aralıklarında çalışabilen temassız (IR) termometre yerleştirilmiştir. Deneyler, 116 HB (41.86 HRA) sertlikte ve 280 mm çapında gri dökme demirden üretilmiş fren diski kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Balata üretim parametreleri

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

## 2.3. Deney Şartları

Balata test cihazı, fren balata kompozit yüzeyinin %95'i disk yüzeyine örtüşmesi için 5 bar basınç altında 313 dev/dak hızda çalıştırılmıştır. Sürtünme testi, 7 bar balata yüzey basıncında ve 616 dev/dak hızda yapılmıştır. Test sırasında sürtünme katsayısı, sıcaklık ve zaman değerleri 1 saniye aralıklarla 1800 saniye boyunca kaydedilmiştir. TS 555 standardına göre fren balatalarının sürtünme katsayısının tespit edilmesinde etki eden basınç sabit olup hiçbir dış etkiye maruz kalmadan sürtünme katsayısı-zaman ilişkisi incelenmiştir [18]. Test öncesi ve sonrasında fren balata numuneleri hassas terazide tartılarak kütle kaybı hesaplanmıştır.

## 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 [18].

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

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

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



Şekil 1. Balata test cihazı

Denklem (2)' de; P uygulanan basınç (MPa), A ise balatanın sürtünen yüzey alanı (mm<sup>2</sup>)'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 [18].

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

Burada; V özgül aşınma oranı (cm<sup>3</sup>/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 (g/cm<sup>3</sup>) 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.

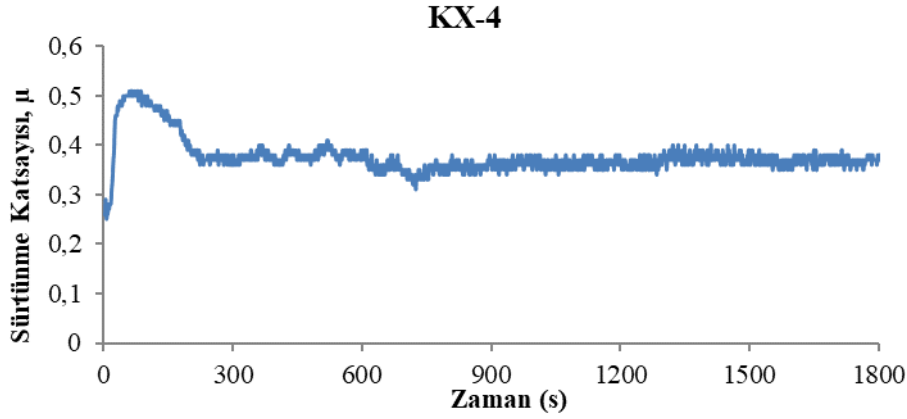
### 2.5. Sertlik ve Yoğunluk Ölçümleri

Numunelerin sertlik ölçümleri DIGIROCK-LC-RBOV model test 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 Ø25.4×9 mm olduğu için yüzeyin orta ve kenara yakın noktalarından değerler alınarak hesaplanmıştır. Her numune için farklı bölgelerden ölçüm değerleri alınarak bunların aritmetik ortalaması alınmıştır [19]. Numunelerin yoğunluk ölçümleri, su içerisinde Arşimet prensibi kullanılarak belirlenmiştir.

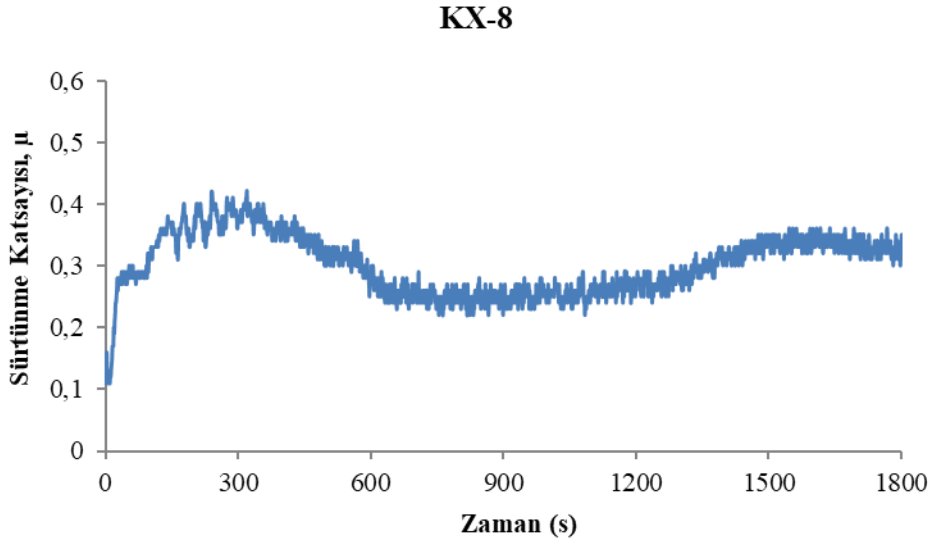
### 3. Bulgular

Bu çalışmada, kütlece 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 [20, 21]. Sürtünme kararlılığı (%) değeri mümkün olduğu kadar

yüksek ve 100'e yakın olmalı, elde edilen eğrinin eğim ve dalgalanmaları ise minimum olmalıdır [22].



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

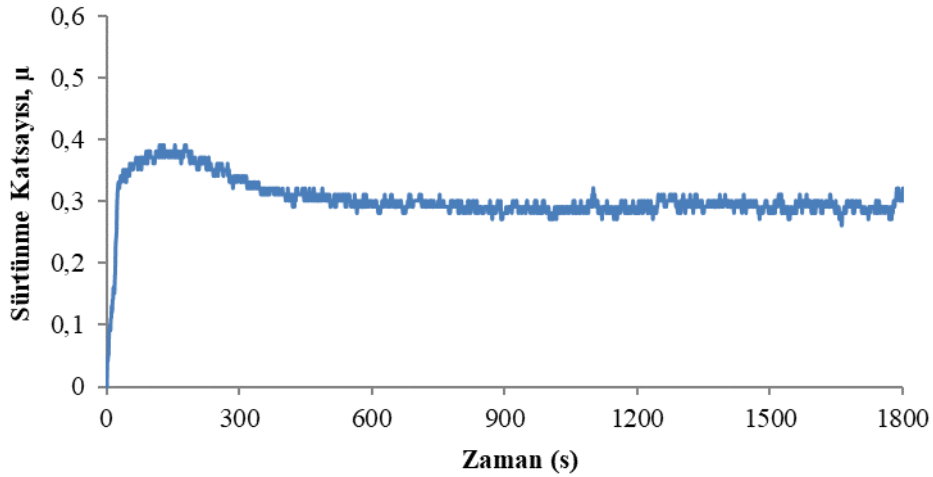


Şekil 3. KX-8 numunesinin zamana bağlı sürtünme katsayısı grafiği

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 ( $\mu$ ) 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 ( $\mu$ ) 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 ( $\mu$ ) 0.301 ve sürtünme kararlılığı %77.18'dir.

## KX-12



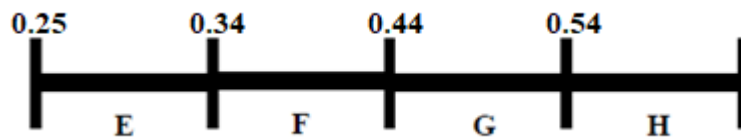
Şekil 4. KX-12 numunesinin zamana bağlı sürtünme katsayısı grafiği

Şekiller incelendiğinde, sürtünme tabakası gelişim süresince sürtünme katsayısında inişli çıkışlı sürekli bir değişim görülmektedir. Bu durum, sürtünme süresince disk yüzeyindeki temas bölgelerinin içine doğru ısının periyodik olarak sürekli değişmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir [23]. Bu etkiden dolayı sürtünme katsayısında sürekli bir değişim meydana gelir. Ayrıca bu durum, sürtünme çiftlerinin yüzeyindeki pürüzlerde birleşme olması ve büyümesi ile açıklanır [24]. Bu durumda bir yapışma bir bırakma hali sürekli tekrarlanır, bu da sürtünme katsayısında sürekli artma ve azalmaya neden olur. Numunelerin brinell sertlik (HB) ve yoğunluk değerleri ( $\text{g/cm}^3$ ) Tablo 4' de görülmektedir.

Tablo 4. Balata numunelerin fiziksel özellikleri

Numune Kodu	Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )	Sertlik (HB)
KX-4	2.13	37
KX-8	2.10	34
KX-12	2.00	32

Balata numunelerinin sürtünme-aşınma testlerinden elde edilen tribolojik özellikler Tablo 5' te verilmiştir. Sürtünme testi sonuçları incelendiğinde, balata ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklığın sürtünme kararlılığını doğrudan etkilediği görülmüştür. Fren balata malzemelerinde sürtünme kararlılığının yüksek olması istenmektedir. Tablo 5 incelendiğinde, üretilen balata numunelerinin sürtünme kararlılığı %70 ile 80 arasında değişmekte olup çok fazla bir değişiklik görülmemiştir. Balata malzemelerinin özgül aşınma miktarı ortalama sürtünme kuvveti ve balata yoğunluğuna bağlıdır. Sürtünme-aşınma testlerinden elde edilen bulgular, üretimi yapılan kolemanit ve boraks içerikli balataların TS 555 standartlarına uygun olduğunu göstermiştir. TS 555'e göre fren balata sürtünme katsayıları; 0.25-0.34 (E), 0.35-0.44 (F), 0.45-0.54 (G), 0.55 ve yukarısı (H) olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 5). Tablo 5' te verilen ortalama sürtünme katsayısı ( $\mu_{ort}$ ) sonuçlarına göre, üretilen balata numunelerinin TS 555 standardına uygun olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. TS 555 standardına göre balata sürtünme katsayısı performans sınıflandırılması



Literatürde sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) 0.1 ila 0.7 arasında, sürtünme kuvveti ve disk-balata ara yüzey sıcaklığına bağlı olarak değiştiği görülmektedir [25-28]. Sürtünme-aşınma testlerinden elde edilen sonuçların, literatürde yapılan çalışmalara paralel ve TS 555'e uygun olduğu saptanmıştır.

Tablo 5. Balata numunelerin aşınma-sürtünme özellikleri

Numune Kodu	Ortalama sürtünme katsayısı ( $\mu_{ort}$ )	Özgül aşınma oranı ( $\text{cm}^3/\text{Nm}$ )	Sürtünme kararlılığı (%)	Balata sınıfı
KX-4	0.376	$1.641 \times 10^{-6}$	73.73	F
KX-8	0.304	$1.154 \times 10^{-6}$	72.14	E
KX-12	0.301	$2.259 \times 10^{-6}$	77.18	E

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 ile yoğunluk ve sertlik değerleri arasında doğru orantılı bir bağlantı olduğu tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, bor minerallerinden kolemanit ve boraksın fren balatası içeriğinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kütlece %4, %8 ve %12 kolemanit ve boraks içeren üç farklı numune hazırlanmıştır. Numunelerin sürtünme-aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- Sürtünme testine tabi tutulan KX-4, KX-8, KX-12 kodlu numuneler arasında en yüksek sürtünme katsayısı 0.376 değeri, kütlece %4 kolemanit ve boraks içeren KX-4 kodlu numuneye, en düşük sürtünme katsayısı 0.301 değeri ise kütlece %12 kolemanit ve boraks içeren KX-12 kodlu numuneye aittir.
- Balatalarda en fazla aşınma, kütle bazında KX-12 kodlu numunede, en az ise KX-8 kodlu numunede elde edilmiştir.
- 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.
- Balata malzemesine ilave edilen kolemanit ve boraks miktarındaki artışa bağlı olarak yoğunluğun ve sertliğin azaldığı görülmüştür.
- Balata numuneleri ile disk ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklığın sürtünme kararlılığını doğrudan etkilediği görülmüştür.
- Türkiye'de bol miktarda bulunan ve önemli bir yer altı zenginliği olan bor ürünlerinden kolemanit ve boraksın polimer matrisli kompozit balata malzemelerinde fiyat artışına neden olmadan rahatlıkla takviye elemanı olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.
- Kolemanit ve boraks tozu ilave edilerek üretilen balata örneklerinin TS 555 standardına uygun olduğu ve balata malzemesi olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Mohanty S., Chugh Y.P., "Development of fly ash-based automotive brake lining", Tribology International, 2007, 40:1217-1224.
- [2] 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", Journal of Polytechnic, 2016, 19(4):537-546.



- [3] Sugözü İ., "Bor katkılı asbetsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin incelenmesi", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
- [4] Mutlu İ., "Seramik katkılı asbetsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2002).
- [5] Çengelci E., Koca M., Mutlu İ., "Çam fıstığı kozalaklarının otomotiv fren balatasında kullanımı ve frenleme karakteristiğine etkisinin araştırılması", Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED), 2011, 3(1):19-28.
- [6] Jaafar R.T., Selamat S.M., Kasiran R., "Selection of best formulation for semi-metallic brake friction materials development", Dr. Katsuyoshi Kondoh (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/33909, Powder Metalurgy, (2012).
- [7] Kahya K., Sugözü İ., Şevik H., "Kızılçam kozalağı tozu içeren fren balatası üretiminde sıcak presleme basıncının tribolojik özelliklere etkisi", 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Afyon Kocatepe University, Afyon, 508-512, (2016).
- [8] Sugözü İ., Öner C., Mutlu İ., Can İ., "Farklı ısıl işlem sürelerinde üretilen fren balatalarının frenleme karakteristiğinin incelenmesi", 6th International Advanced Technologies Symposium IATS'11, Elazığ, 15-18, (2011).
- [9] Sugözü İ., Yavuz İ., Mutlu İ., "Polimerik kompozit sürtünme malzemelerinde üretim basıncının performansa etkisinin araştırılması", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu IATS'09, Karabük, 1140-1143, (2009).
- [10] Sugözü K.B., "Otomotiv fren balata malzemelerinde maun cevizi tozunun sürtünme performansına etkisi", EÜFBED - Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2015, 8(2): 166-177.
- [11] Sugözü İ., Yavuz İ., "Fren balatası üretiminde toz karıştırma süresinin frenleme karakteristiğine etkisinin araştırılması", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 1052-1056, 2009.
- [12] Ertan R., Yavuz N., "Balata malzemelerinde kullanılan yapısal malzemenin tribolojik ve fiziksel özelliklerine etkisi", Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2010, 15(1):169-177.
- [13] Boz M., Kurt A., "Toz metal fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma performansı üzerine çinkonun etkisi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 2006, 21(1):115-121.
- [14] Timur M., Kılıç H., "Mermer atıkları kullanılarak üretilen otomotiv fren balatasının sürtünme katsayısının farklı fren balataları ile karşılaştırılması", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2013, 19(1):10-14.
- [15] Sugözü B., Dağhan B., "Fren sürtünme malzemelerinde aşındırıcıların (alümina, silika, zirkon) tribolojik özellikleri", 2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'17), Nevşehir, 93-97, (2017).
- [16] Sugözü B., Buldum B.B., Sugözü İ., "Üleksit ve boraks içeren fren sürtünme malzemelerinin tribolojik özellikleri", 2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'17), Nevşehir, 111-114, (2017).
- [17] [https://www.tubitak.gov.tr/tubitak\\_content\\_files/vizyon2023/mm/Ek2h.pdf](https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek2h.pdf), Erişim tarihi (20.04.2017).
- [18] TS 555, "Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtülmeli Frenler İçin", (1992).
- [19] Sugözü İ., "Investigation of using rice husk dust and ulexite in automotive brake pads", Materials Testing, 2015, 57(10):877-882.
- [20] Persson B. N. J., "Theory of friction – the role of elasticity in boundary lubrication", Physical Review B, 1994, 50(7):4771-4786.
- [21] Tabor D., "Friction as a dissipated process, friction of organic polymers in fundamentals of friction", macroscopic and microscopic processes, 1996, 220(3):3-5.
- [22] Bijwe J., Aranganathan N., Sharma S., Dureja N., Kumar R., "Nano-abrasives in friction materials influence on tribological properties", Wear, 2012, 296: 693-701.
- [23] Anderson A. E., "Friction and Wear of Automotive Brakes", Friction, Lubrication and Wear Technology ASM Handbook, USA, (1992).

- [24] Stachowiak G. W., Batchelor A. W., "Engineering Tribology", Butterworth-Heinemann, ABD, (2001).
- [25] Moore D. F., "Principples and Application Tribology", Pergamon Press, Oxford, (1975).
- [26] Sugoza I., Mutlu I., Sugoza K.B., "The effect of ulexite to the tribological properties of brake lining materials", Polymer Composites, 2018, 39(1):55-62.
- [27] Sugoza I., Mutlu I., Sugoza K.B., "The effect of colemanite on the friction performance of automotive brake friction materials", Industrial Lubrication and Tribology, 2016, 68(1):92-98.
- [28] Sugoza K.B., Daghan B., Akdemir A., Ataberk N., "Friction and wear properties of friction materials containing nano/micro-sized SiO<sub>2</sub> particles", Industrial Lubrication and Tribology, 2016, 68(2):259-266.