

Araştırma Makalesi / Research Article

Pomza Taşının Otomotiv Sürtünme Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması

Emin ÇENGELCİ^{1*}, Hüseyin BAYRAKÇEKEN²

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5296-0685>, ecengelci@aku.edu.tr

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1572-4859>, bceken@aku.edu.tr

Geliş/ Received: 11.11.2022;

Kabul / Accepted: 07.01.2023

ÖZET: Pomza taşı süngerimsi, gözenekli ve volkanik olaylar sonucu oluşmuş volkanik bir kayadır. Pomzanın içeriğinde SiO₂ oranı kayaca abraziflik, Al₂O₃ bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırmaktadır. Pomza taşı inşaat sektöründe yaygın kullanılmakla birlikte tarım sektörü, kimya sektörü, tekstil sektörü ve aşındırıcı sanayi gibi endüstri alanlarında da kullanılmaktadır. Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde fren balataları için kullanılmak üzere pomza taşı ile alümina, pirinç tozu, cashew, reçine, çelik elyaf, grafit, barit maddelerinden farklı karışım oranlarında fren balata numuneleri üretilmiştir. Üretilen balata numunelerinin aşınma oranı ve sürtünme katsayıları fren balata test cihazında ölçümü yapılmıştır. Deney öncesi ve sonrasında disk pürüzlülüğü pürüzlülük test cihazı ile ve balataların özgül ağırlıkları ölçülmüştür. Elde edilen değerlere göre en yüksek ortalama sürtünme katsayısı P12 numunesinde 0.37, minimum aşınma değeri P3 numunesinde $0.127 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{Nm}$, minimum pürüzlülük değeri P12 numunesinde %25.93 meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fren Balatası, Sürtünme Katsayısı, Pomza Taşı, Triboloji, Aşınma

*Sorumlu yazar / Corresponding author: ecengelci@aku.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Çengelci, E., Bayrakçeken, H., (2023). Pomza Taşının Otomotiv Sürtünme Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 4(1), 50-63.

Investigation of the Use of Pumice Stone as Automotive Friction Material

ABSTRACT: Pumice stone is a spongy, porous and volcanic rock formed as a result of volcanic events. The ratio of SiO₂ in the content of pumice gives the rock abrasiveness, and the composition of Al₂O₃ provides high resistance to fire and heat. Although pumice stone is widely used in the construction sector, it is also used in industrial areas such as the agriculture sector, the chemical sector, the textile sector and the abrasive industry. In this study, brake lining samples were produced from pumice stone and alumina, brass powder, cashew, resin, steel fiber, graphite, barite materials at different mixing ratios to be used for brake linings in the automotive industry. The wear rate and friction coefficients of the produced lining samples were measured in the brake lining tester. Before and after the experiment, disc roughness and specific weights of the pads were measured with a roughness tester. According to the values obtained, the highest average friction coefficient was 0.37 in the P12 sample, the minimum wear value was 0.127×10^{-7} cm³/Nm in the P3 sample, and the minimum roughness change was 25.93% in the P12 sample.

Keywords: Brake Pad, Friction Coefficient, Pumice Stone, Tribology, Wear

1. GİRİŞ

Dünyada ve Ülkemizde son yıllarda artan nüfus sayısına bağlı olarak taşıt sayıları da hızla artmaktadır. Kasım 2022 itibariyle Türkiye'deki trafiğe kayıtlı toplam taşıt sayısı 26 milyon 349 bin 156 adettir (TÜİK, 2022). Taşıtların hareket esnasındaki kinetik enerjilerini absorbe ederek taşıtı yavaşlatma veya durdurma görevi gören emniyet sistemlerinden birisi de fren sistemleridir. Fren pedalına her basıldığında yüksek ısıya maruz kalan fren balataları aşırı sürtünmeden dolayı belirli bir zamana kadar çalışmakta, fren balatasının ömrü sürüş tarzına ve balatanın malzemesine bağlı olarak farklılık gösterse de genellikle 40-50 bin km civarlarında değiştirilmesi gerekmektedir (Toyota, 2022). Firmalar ve araştırmacılar daha kaliteli ve ekonomik fren balataları üretmek için çalışmaktadırlar.

Fren balatalarından genel olarak sıcaklık, frenleme basıncı ve hızdan bağımsız bir sürtünme katsayısı değeri sağlaması, sürtünme katsayısı değişiminin az olması, aşınma direnç değerinin yüksek olması, kampana ya da disk yüzeyini az aşındırması, sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklı olması, aynı zamanda sağlığa zararlı maddeler içermemesi beklenmektedir (Aras, 2019). Fren balata kompozitleri, bağlayıcı malzemeler, takviye elemanları, yağlayıcılar, sürtünme düzenleyiciler ve dolgu malzemelerini içeren çok bileşenli kompozitlerdir (Sugözü ve Sugözü, 2020). Fren balatalarında asbest kullanımı frenleme açısından uygun olmasına rağmen kansorejen etkiye sahip olduğu için yasaklanmıştır. Asbest yerine son yıllarda alternatif malzeme kullanımı için çalışmalar artmıştır. Taşıt cinsine göre balata içeriği değişmekte olup ticari fren balatası üreten firmalar balata reçetelerini gizli tutmaktadırlar. Yapılan çalışmalar incelendiğinde örneğin bağlayıcı olarak fenolik reçine (Binda ve ark., 2020), takviye edici elyaflar (Singh ve ark., 2020), yağlayıcı grafit (Ahlawat ve ark., 2019), sürtünme düzenleyici alümina (Pujari ve Srikanan, 2019) pirinç tozu (Jeganmohan ve Sugözü, 2019), dolgu maddesi barit (Che ve ark., 2020), uçucu kül (Ahlawat ve ark., 2019) kullanılmaktadır.

Timur ve Kılıç, balata özelliklerini iyileştirmek amacıyla balata bileşiminde mermer atıklarının tozunu kullanmışlardır. Mermer tozunun frenleme performansında olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiş ayrıca mermer atıklarının değerlendirilmesi üretim maliyetinin azaltılması açısından önemli olduğunu belirtilmişlerdir (Timur ve Kılıç, 2013).

Yavuz ve Bayrakçeken, otomobiller için huntit minerali esaslı kompozit fren balataları üretmişler, fren balatası standartlarına ve literatürde yapılan çalışmalara benzer performans sergilediğini ifade etmişlerdir (Yavuz ve Bayrakçeken, 2022).

Akıncıoğlu, fındık kabuğu, ceviz kabuğu, bor oksit, boraks ve wollastonite tozu kullanarak organik, sağlığa ve çevreye zararsız fren balataları üretmiştir. Farklı kompozisyonlar denenerek en ideal karışım elde edilmek istenmiştir. Aşınma sürtüne testleri için Pin-on-disk, Chase tipi ve özel tasarım cihazlar kullanmıştır. Cihazlardan elde edilen sürtünme katsayısı değerleri bütün numuneler için 0,30-0,55 μ arasında olduğunu ve test sonuçlarının standartlara uygun olduğunu belirtmiştir (Akıncıoğlu, 2018).

Kchaou ve arkadaşları ağırlıkça %5, 10 ve 15 miscanthus lifi kullanarak yeni sürtünme malzemelerini geliştirmişlerdir. Sürtünme malzemelerini, uluslararası standarda göre fiziksel, mekanik ve mikroyapısal özellikleri açısından test etmişler ve sonuçlar, diğer doğal liflerle aynı eğilimle faydalı olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu nedenle, bu doğal bileşenin fren sürtünme malzemesinin geliştirilmesinde faydalı olduğunu kanıtlamışlardır (Kchaou ve ark., 2021).

Türkiye de Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'nün (MAPEG) 2020 verilere göre; toplam 2,2 milyar ton pomza rezervimiz mevcut olup, 2021 pomza üretimi yaklaşık 8.7 milyon ton civarındadır (MAPEG, 2022). Ülkemizde bulunan kaynaklardan balata üretiminin gerçekleştirilmesiyle, balataların maliyeti azaltılacak ayrıca pomza atıklarının da değerlendirilmesi sağlanmış olacaktır. Pomza inşaat sektöründe, endüstriyel alanlarda (Anonim, 2022) tekstil, ziraat ve kimya (Anonim, 2015) alanlarında kullanımının yanı sıra otomotiv sektöründe fren balatalarında sürtünme düzenleyici olarak da kullanılabilir.

Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak balata kompoziti içerisinde sürtünme düzenleyici olarak ağırlıkça %3, %6, %9 ve %12 oranlarında pomza tozu kullanılmıştır. Üretilen balata kompozitlerinin yoğunluk, sertlik, aşınma oranı, sürtünme katsayısı, sıcaklık ve disk pürüzlülüğü deneysel olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Kompozit yapıda olan fren balataları toz metalürjisi üretim yöntemleri ile üretilmektedirler. Fren balatalarının istenilen özellikte performans sergilemeleri için farklı özellikteki malzemelerin bir arada kullanılması ve bu malzemelerin doğru seçimi önemli olmakla birlikte kompozit yapıya uygun malzemelerden fren balataları üretilmesi gerekmektedir.

Yapılan çalışmada fren balatası kompozitlerini oluşturan çelik elyaf, fenolik reçine, barit, grafit, pirinç tozu, cashew maddeleri sabit oranlarda, alümina ve pomza ise farklı oranlarda kullanılmıştır. Numune içeriği ve karışım oranları ağırlıkça % olarak Çizelge 1'de verilmiştir.

0.001g hassas terazi ile ölçülen kütlece farklı oranlardaki balata tozları daha sonra homojen olarak karışabilmesi için kinetik karıştırıcı da 60 d/dk' da 15 dakika karıştırılmışlardır. Karışımı yapılan tozlar 6 gözlü 25mm çapındaki kalıba konularak hidrolik pres ile 15 MPa basınç altında 150 °C sıcaklıkta 15 dakika preslenmiştir. Kalıp için yüzey sertliği ve malzemesi toz metalürjisi üretim yöntemine uygun olan 62 HRC genel imalat çeliği seçilmiştir. 40 tona kadar hidrolik presle çalışabilecek özellikte, kalıbın iç kısmındaki sıcaklığın anlık ölçülebildiği termokupl sıcaklık sensörü bulunmaktadır. Ayrıca seramik rezistans ile sıcaklığın 0-400 °C arasında kontrol edilebildiği elektrik bağlantı elemanlarını içermektedir.

Çizelge 1. Numune içeriği ve karışım oranları *

Özellik	Malzeme	P3	P6	P9	P12
Sürtünme düzenleyici	Pomza	3	6	9	12
	Alümina	12	9	6	3
	Pirinç tozu	5	5	5	5
	Cashew	5	5	5	5
Bağlayıcı	Reçine	15	15	15	15
Takviye edici	Çelik elyaf	15	15	15	15
Yağlayıcı	Grafit	5	5	5	5
Dolgu	Barit	40	40	40	40
	Toplam	100	100	100	100

* Ağırlıkça yüzdesel (%)

Presleme işlemi sonrası kalıptan çıkartılan numuneler, reçinenin tamamen kürlenmesi, homojenliğin tam olarak sağlanması, üretimde ortaya çıkabilecek ısıl hataları minimuma indirmek için ısıl işlem fırınında 170 °C sıcaklıkta 5 saat süreyle kürleme işlemine tabi tutulmuştur. Üretim sonrasında numunelerin özgül ağırlık karakterizasyonu JIS-D-4418 standardı kullanılarak Arşimet prensibine göre çalışan bir aparatla ölçülmektedir. (Kchaou ve ark., 2021).

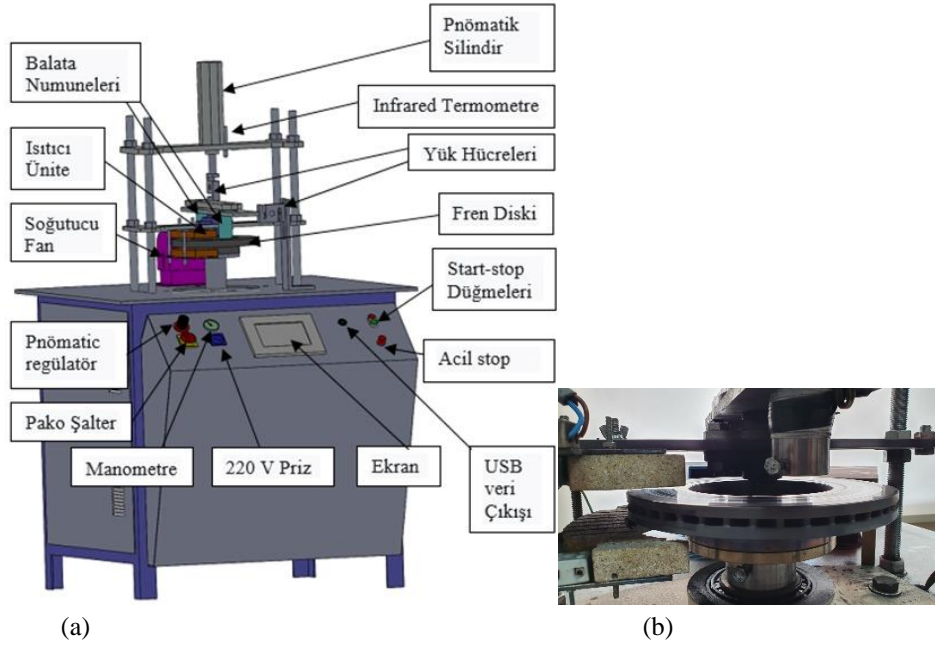
Pomza tozu ağırlıkça %3, %6, %9 ve %12 oranlarında kullanılarak 4 farklı oranda kompozit fren balatası numunesi üretilmiştir. (Şekil 1.) Numune bileşimleri içeriğinde bulunan pomza miktarına göre P3'den P12'ye kadar isimlendirilmiştir. P harfinin sonundaki oran bileşim içerisinde ne kadar oranda pomza olduğunu belirtmektedir.

**Şekil 1.** Numune üretim basamakları



Şekil 2. Kinetik tip karıştırıcı

Toz numuneler Şekil 2’de gösterilen kinetik tip toz karıştırıcının karıştırma haznesine konulduktan sonra istenilen yönde, 50 d/dk ile 150 d/dk aralığındaki değişen devirlerde ve cihaz üzerinde bulunan zaman rölesi ile istenilen sürede karıştırılabilmektedir.



Şekil 3. (a) Fren balata test cihazı (Yavuz ve Bayrakçeken, 2022) (b) Balata numunesi bağlantı kısmı

Bu çalışmada kullanılan fren balata test cihazı Şekil 3’de gösterilmiştir. 11kW elektrik motoruna, sıcaklığın 50 °C ile 400 °C derece arasında sabit değerde kontrol edilebilmesini sağlayacak üniteye ve PLC kontrol sistemine sahip fren balata test cihazında motor hızı cihaz ekranından istenilen hıza ayarlanabilmekte, pnömatik yükleme yapılabilen cihazda anlık olarak balataların üzerindeki yük değeri, sürtünme kuvveti değeri ve infrared termometre sayesinde eş zamanlı olarak sıcaklık değerleri görülebilmektedir. Test süresince sıcaklık, yük ve sürtünme kuvveti değerleri kayıt altına alınmaktadır. Fren balata test cihazında kütlece farklı oranlardaki P3-P6-P9-P12 numunelerinin sürtünme katsayısı, kütle metoduyla aşınma oranı değerleri ve sıcaklık ölçümleri TS 555 (2019) standardına göre deneysel olarak incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 4'te yoğunluk ölçüm değerleri verilmiştir. Yoğunluk P3 numunesinde 2.652 g/cm^3 P12 numunesinde 2.580 g/cm^3 olarak ölçülmüştür. Minimum yoğunluk değeri maksimum yoğunluk değerlerinden %3 daha azdır. Fren balatası kompoziti içerisindeki pomza miktarı arttıkça, yoğunluk azalmıştır. Pomza yoğunluğu 2 g/cm^3 , alümina yoğunluğu 3.95 g/cm^3 ' dir. Pomza yoğunluk değerinin alümina yoğunluk değerinden daha az olmasından, numunelerin yoğunluk değerlerinin azalmış olabileceği değerlendirilmiştir. Matematiksel olarak Eşitlik 1' e göre aşınma oranı ile yoğunluk ters orantılıdır. Numunelerde pomza miktarı arttıkça yoğunluk azalmış, aşınma oranı artış göstermiştir.

$$W_a = \frac{\Delta G}{SMd} \quad (1)$$

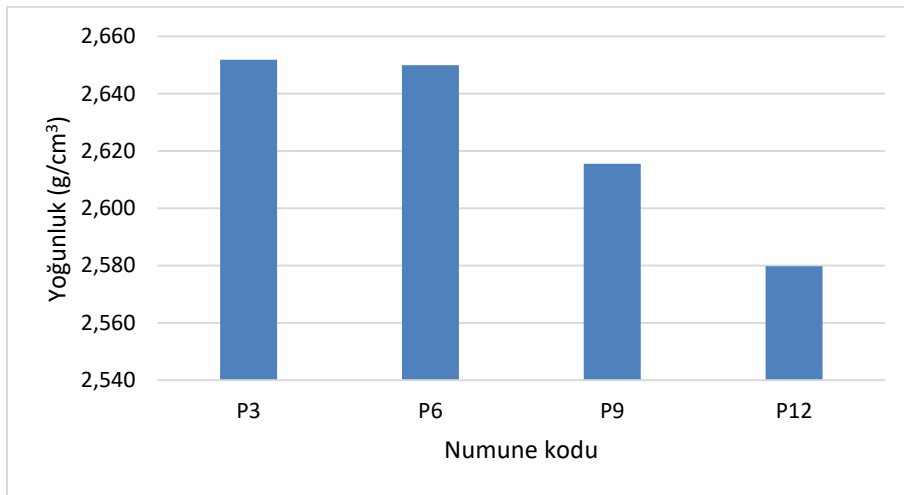
W_a : Aşınma oranını [cm^3/Nm],

ΔG : Ağırlık kaybını [g],

S: Kayma mesafesini [m],

M: Yükleme ağırlığını [N],

D: Aşınan malzemenin yoğunluğunu [g/cm^3] göstermektedir.



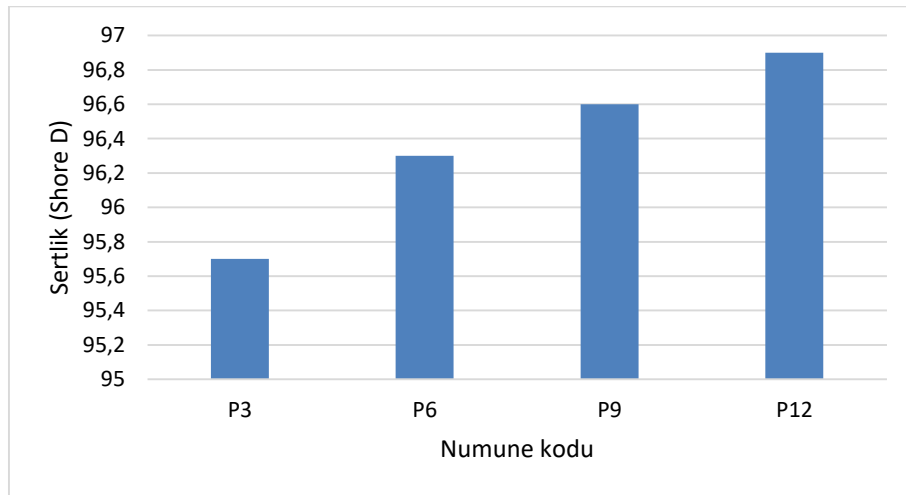
Şekil 4. Numune yoğunluk değerleri

Fren balataları sertlik değerleri ölçümünde farklı birçok cihaz kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemlerden biri de Shore D cihazı ile ölçümlerin yapılmasıdır (Akıncıoğlu ve ark., 2021). Sertlik ölçümü ASTM D2240 (2021) standardında cam, elyaf, kauçuk, plastik, reçine vb. sert malzemelerin sertlik ölçümünde kullanılan Shore D durometre sertlik ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.) Dijital sertlik ölçüm cihazı 0-100 HD aralığında ölçüm yapabilen, 0.5 HD hassasiyette, 0.1 mm çapında iğneye sahiptir. Aşınmış yüzeye sahip her numune için üç farklı numuneden, beş farklı ölçüm noktasından alınan değerlerin ortalaması hesaplanmıştır.



Şekil 5. Shore D sertlik cihazı

Tüm numuneler için Shore D sertlik ölçüm sonuçları Şekil 6’da verilmiştir. Sertlik değerleri her numune kodu için 5 farklı bölgeden ve 3 ayrı numuneden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak belirlenmiştir. Değerler birbirine yakın olmakla birlikte en yüksek sertlik değeri ile en düşük sertlik değeri arasında 0.8 Shore D kadar fark görülmüştür. Maksimum sertlik P12 numunesinde ölçülürken, minimum sertlik P3 numunesinde elde edilmiştir. Numunelerin standart sapması 0.08 olarak hesaplanmıştır. Fren balatası içerisindeki Pomza miktarının artışı ile sertlik değerlerinde artışın meydana geldiği düşünülebilir. Yüksek sertlik bağdaki artıştan kaynaklanmaktadır (Stadler ve ark., 2007). Balatanın sertliğinin artması aşınma direncinin de artmasına sebep olmaktadır (Ademoh ve Olabisi, 2015). Üretilen fren balatalarının sertlik değerlerini fren balatalarının kompozisyonları ve oranları, üretim yöntemleri gibi birçok etmen etkilemektedir (Maleque ve ark., 2012).



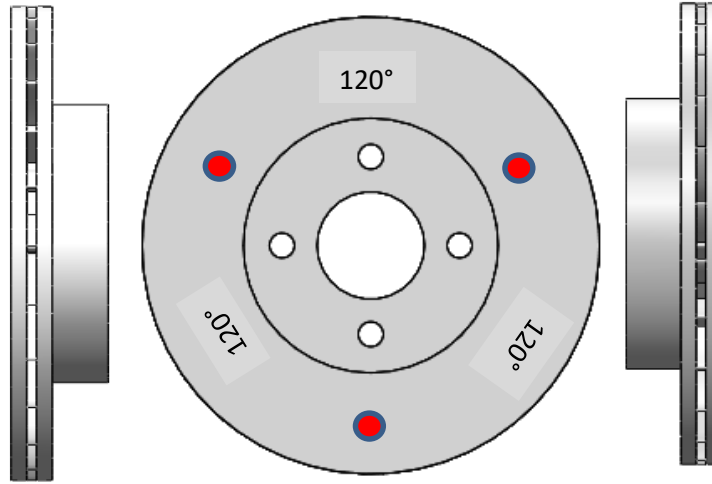
Şekil 6. Shore D sertlik ölçüm sonuçları

Disk pürüzlülük testleri için Time TR220 test cihazı kullanılmıştır (Şekil 7).



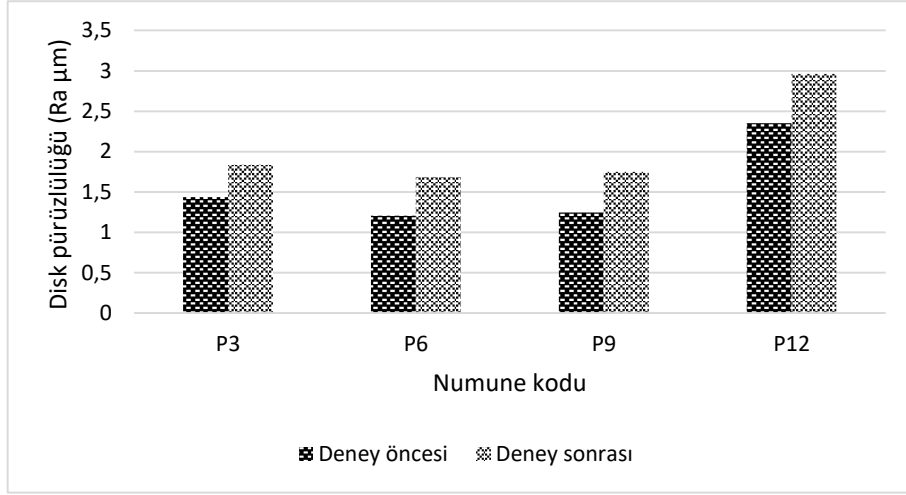
Şekil 7. Pürüzlülük test cihazı

Disk yüzeyinde oluşan Ra pürüzlülük değerleri, 6 m/s disk hızında deney öncesi ve bir saatlik çalışmadaki deney sonrasında Şekil 8’de gösterilen disk üzerinde üç farklı ölçüm noktasından ölçülmüştür. Ölçümler 40 μm ölçüm aralığında ve 2.5 mm ölçüm uzunluğunda gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre deney öncesi ve deney sonrasındaki üç ölçüm noktasından alınan ortalama disk pürüzlülük değerleri karşılaştırılmıştır.

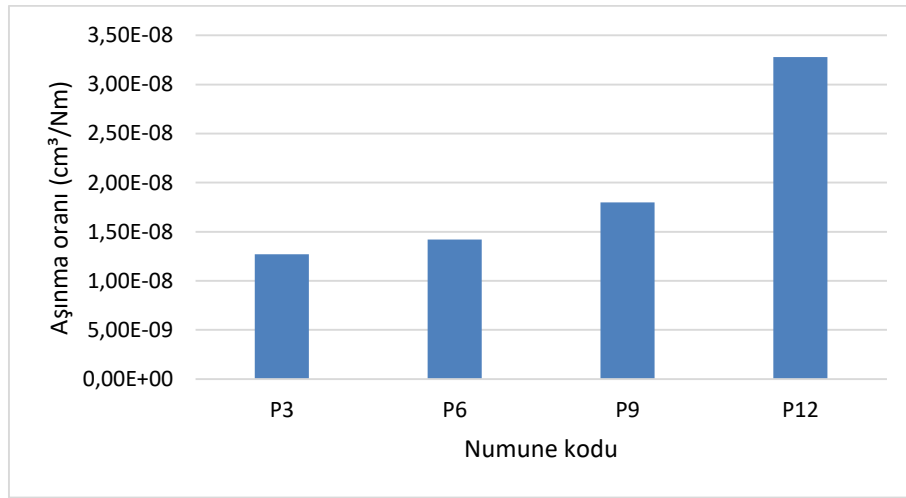


Şekil 8. Disk pürüzlülüğü ölçüm noktaları

Disk pürüzlülük değerleri deney öncesi ve sonrası olmak üzere diskin 120’şer derecedeki sabit noktalarından Ra (Şekil 9) değerleri ölçülmüştür. Üç ölçümün ortalaması alınarak değerler hesaplanmıştır. Deney öncesi ve deney sonrasında ölçülen disk pürüzlülükleri arasındaki yüzdesel değişimin dikkate alınmasıyla sonuçların yorumlanmasında doğru sonuca gidilebilir. Ra değerleri için % olarak en küçük fark %25.93 P12 numunesinde, en yüksek fark %27.79 olarak P3 numunesinde ölçülmüştür. Numunelerde yüzey pürüzlülüğü yüksek olan malzemelerin aşınma direnci daha düşük olmaktadır (Sugözü, 2016).

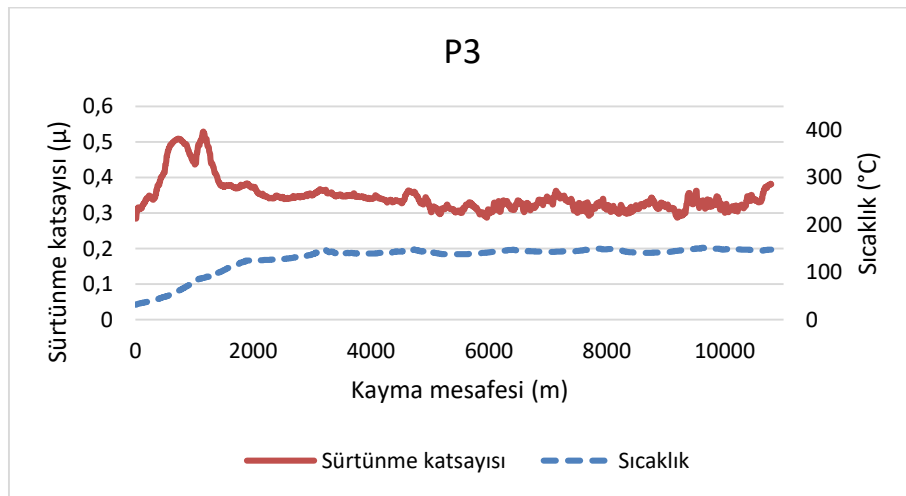


Şekil 9. Deney öncesi ve sonrası disk pürüzlülük Ra değerleri



Şekil 10. Aşınma oranı değerleri

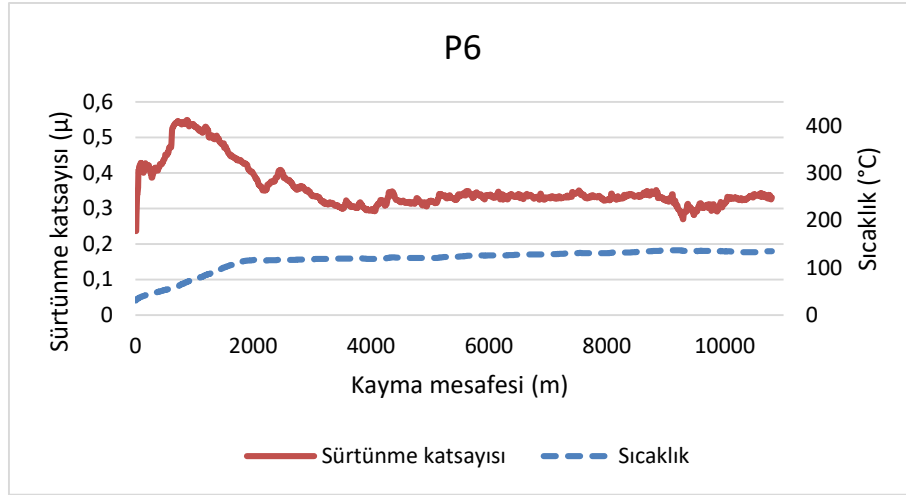
Şekil 10'da tüm numuneler için aşınma oranı değerleri gösterilmiştir. Yapılan deneylerde ortalama sıcaklık değeri 150 °C civarında olup, TS555 (2019) standardın da 150 °C için aşınma oranı değeri en fazla $0,7 \times 10^{-7}$ cm³/Nm olması gerekmektedir.



Şekil 11. P3 kayma mesafesine bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği

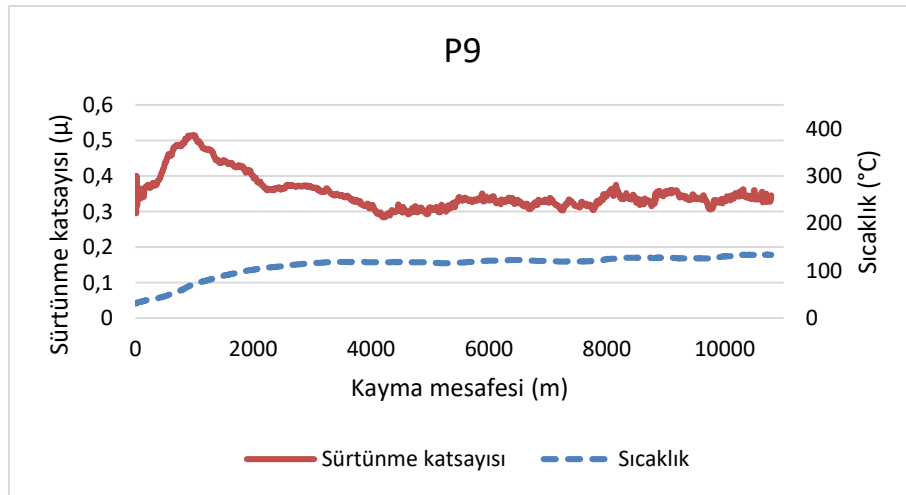
Tüm numuneler için aşınma oranı değerleri bu değerlerin altındadır. Numune içeriğindeki pomza miktarı ve sertlik değerleri arttıkça aşınma oranı değerleri artmıştır. Minimum aşınma oranı P3 numunesinde $0.127 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{Nm}$, maksimum aşınma oranı ise P12 numunesinde $0.328 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{Nm}$ ölçülmüştür.

Fren balata test cihazında tüm numunelerin sürtünme katsayısı için oluşturulan grafiklerde üç deney sonucunun ortalama değerleri grafik haline getirilmiştir. Şekil 11’de ağırlıkça %3 pomza içeren P3 kodlu fren balata numunesinin 30 dakika kayma mesafesindeki sıcaklık ile sürtünme katsayısı değerlerini göstermektedir. Temas yüzeyinde maksimum sıcaklık $151.7 \text{ }^\circ\text{C}$, sürtünme katsayısı ortalama 0.36, sürtünme katsayısı kararlılığı ise %67.38’dir.



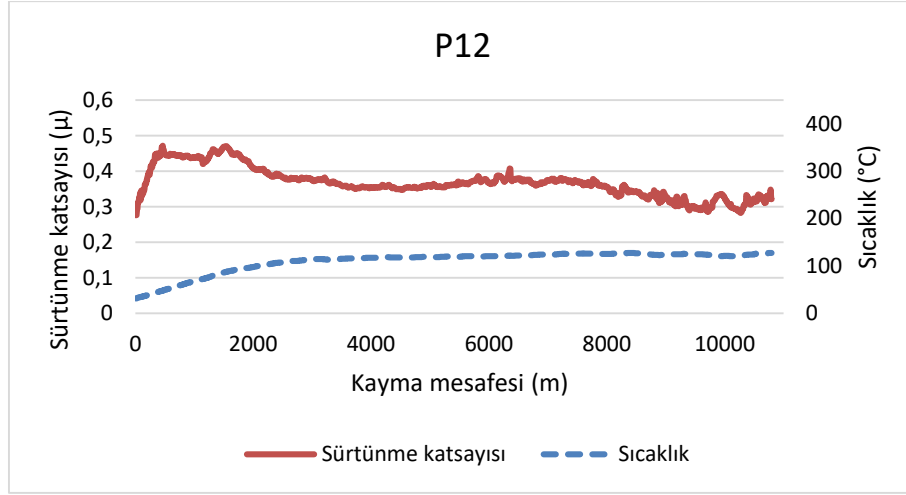
Şekil 12. P6 kayma mesafesine bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği

Şekil 12 ağırlıkça %6 pomza içeren P6 kodlu fren balata numunesinin 30 dakika kayma mesafesindeki sıcaklık ile sürtünme katsayısı değerlerini göstermektedir. Temas yüzeyinde maksimum sıcaklık $137.1 \text{ }^\circ\text{C}$, sürtünme katsayısı ortalama 0.36, sürtünme katsayısı kararlılığı ise %65.45’dir. Grafikler incelendiğinde sürtünme katsayısında az miktarda olsa da inişli çıkışlı sürekli bir değişim görülmektedir. Anderson yaptığı çalışmada sürtünme süresince disk yüzeyindeki temas bölgelerinin içine doğru ısının periyodik olarak sürekli değişmesinden kaynaklandığını belirtmiştir (Anderson, 1992).



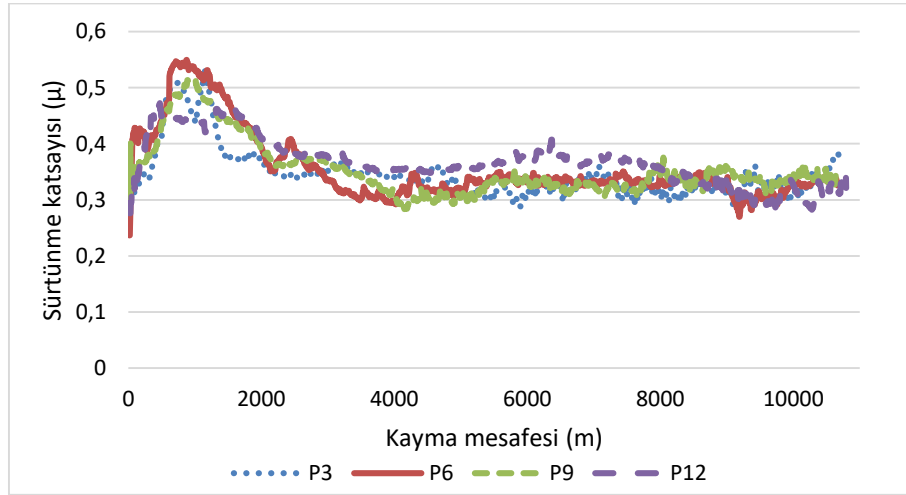
Şekil 13. P9 kayma mesafesine bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği

Şekil 13 ağırlıkça %9 pomza içeren P9 kodlu fren balata numunesinin 30 dakika kayma mesafesindeki sıcaklık ile sürtünme katsayısı değerlerini göstermektedir. Temas yüzeyinde maksimum sıcaklık 134.7 °C, sürtünme katsayısı ortalama 0.35, sürtünme katsayısı kararlılığı ise %68.62'dir.



Şekil 14. P12 kayma mesafesine bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği

Şekil 14 ağırlıkça %12 pomza içeren P12 kodlu fren balata numunesinin 30 dakika kayma mesafesindeki sıcaklık ile sürtünme katsayısı değerlerini göstermektedir. Temas yüzeyinde maksimum sıcaklık 127.3 °C, sürtünme katsayısı ortalama 0.37, sürtünme katsayısı kararlılığı ise %77.87'dir.



Şekil 15. P12 kayma mesafesine bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık grafiği

Şekil 15'de P3-P6-P9-P12 numunelerinin kayma mesafesine bağlı sürtünme katsayısı grafiği verilmiştir. Sürtünme katsayısı eğrilerinde sürtünme katsayısı değerinin sürekli değiştiği görülmektedir. Sürtünme katsayısı grafiklerinde değerlerin sürekli değişmesi, adhezif aşınmadan dolayı kopan parçacıkların meydana getirdiği yapışma ve tekrar kopma ile temas yüzeylerinin artması ya da azalmasından kaynaklanabilir (Stachowiak ve Batchelor, 2014).

4. SONUÇ

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü raporlarında farklı sektörlerde kullanıldığı belirtilen, pomza kullanımının, fren balataları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ülkemizde bulunan kaynaklardan balata üretiminin gerçekleştirilmesiyle, balataların maliyeti azalabilecektir. Pomza taşının endüstri de birçok alanda kullanılmasının yanı sıra fren balata kompoziti olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

- Yoğunluk değerleri 2.580-2.652 g/cm³ değerleri arasında çıkmıştır ve literatürde yapılan çalışmalara benzerlik göstermiştir. Yoğunluğun artması ile aşınma oranı ters orantı göstermektedir. Numunelerde presleme basıncı da yoğunluğu etkilemektedir. (Sugözü, 2016).
- Sürtünme katsayısı ortalama değerleri dikkate alındı. Ortalama sürtünme katsayısı değeri en fazla P12 kodlu numunede elde edildi. Sertliği yüksek olan malzemelerin balata içerisinde yer alması sürtünme testi esnasında balata yüzeyinde sürtünme tabakası oluşturmada ve balataların sürtünme katsayısını arttırmaktadır. Tüm numunelerin sürtünme katsayısı değerleri standart sınırları içerisinde olduğu görülmüştür.
- Aşınma oranı değerlerinde minimum aşınma oranı istenilmektedir. Minimum aşınma oranı P3 kodlu numunede ölçüldü ve tüm balata numuneleri fren balatası standartları içerisinde çıkmıştır. Fren balataları için sürtünme katsayısı değerlerinin yüksek olması aşınma oranı değerlerinin ise minimum olması istenilmekte dolayısı ile geliştirilen fren balatalarının bu özelliklere uygun olması gerekmektedir (Akagündüz ve ark., 2014).
- Disk pürüzlülüğü diskin kullanım ömrü için önemli bir değerlendirme olup, en fazla disk pürüzlülük değişimi P3 numunesinde %27.79 olarak ölçülmüştür. Genel olarak bakıldığında disk pürüzlülük değerlerinde değişim çok azdır.
- Deney sırasında disk yüzeyindeki sıcaklık artışı en fazla P3 numunesinde 151.7 °C olarak ölçülmüştür. Pomza miktarı attıkça maksimum disk sıcaklığının azaldığı görülmüştür. Fren balatalarından istenen en önemli özelliklerden biri frenleme esnasında sürtünmeden dolayı açığa çıkan ara yüzey sıcaklığındaki artışa bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişimin minimum seviyede olmasıdır (Persson, 1994; Tabor, 1996).

Genel olarak, sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri incelendiğinde üretimi yapılan numunelerde fren balatası standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir (TS555, 2019). Bu çalışmada pomza taşından üretimi yapılan tüm karışım oranları için fren balatalarında kullanılabilir olduğu gözlemlenmiştir. Ticari amaçlı olarak dünya çapında otomobillerin yanı sıra kamyon, çekici, golf aracı ve yarış otomobilleri gibi araçlarda kullanılabilir olacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından “19. FEN.BİL. 39” kodlu proje ile desteklenmiştir.

6. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

7. YAZAR KATKISI

Emin ÇENGELCİ veri toplama ve makale taslağının oluşturulmasında, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetiminde, veri analizi ve yorumlamasında, son onay ve tam sorumluluk almada, Hüseyin BAYRAKÇEKEN fikirsel içeriğin eleştirel incelenmesinde, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetiminde, veri analizi ve yorumlamasında, son onay ve tam sorumlulukta makale katkısı sağlanmıştır.

8. KAYNAKLAR

- Ademoh N. A., Olabisi A. I., Development and evaluation of maize husks (asbestos-free) based brake pad, *Industrial Engineering Letters* 5, 2, 2015.
- Ahlawat V., Anuradha P., Kajal S., Preference selection of brake friction composite using entropy-VIKOR technique, In *Materials Today: Proceedings* 46, 9573–9579, 2019.
- Akagündüz E., Topuz A., Güneş M., 2014, Effects of fly ash additive on the properties of railway composite disc brake linings, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, *Sigma*, 32, 322–333.
- Akıncıoğlu G., Ticari araç balatalarına ceviz ve fındık kabuğu tozu katkılarının aşınma ve sürtünme davranışına etkisinin incelenmesi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış)*, 2018.
- Akıncıoğlu G., Uygur İ., Akıncıoğlu S., Öktem H., Friction-wear performance in environmentally friendly brake composites: a comparison of two different test methods, *Polymer Composites* 42, 4461–4477, 2021.
- Anderson A. E., Friction and wear of automotive brakes, USA, Friction, lubrication and wear technology, *ASM Handbook*, 1992.
- Anonim 2015. <https://ahika.gov.tr/assets/ilgili-dosyalar/Pomza-Arastirma-ve-Uygulama-Merkezi-Fizibilite-Raporu.pdf> / (Erişim Tarihi: 24.12.2022).
- Anonim 2022. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pomza> / (Erişim Tarihi: 03.11.2022).
- Aras S., Organik malzeme esaslı hibrit sürtünme kompozitlerinin balata üretiminde kullanılabilirliğinin incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış)*, 2019.
- Binda F. F., Oliveira V. D. A., Fortulan C. A., Palhares L. B., Santos C. G., Friction elements based on phenolic resin and slate powder, *Journal of Materials Research and Technology* 9 (3), 3378–3383, 2020.
- Che Q., Li H., Zhang L., Zhao F., Li G., Guo Y., Zhang, J., Role of carbon nanotubes on growth of a nanostructured double-deck tribofilm yielding excellent self-lubrication performance, *Carbon*, 161, 445–455, 2020
- Jeganmohan S., Sugözü B., Usage of powder pinus brutia cone and colemanite combination in brake friction composites as friction modifier, In *Materials Today: Proceedings* 27, 2072–2075, 2019.
- Kchaou M., Kuş R., Singaravelu D.L., Design, characterization, and performance analysis of Miscanthus fiber reinforced composite for brake application, *Journal of Engineering Research* 9 (3), 222–234, 2021.
- Maleque M., Atiqah, A., Talib R., Zahurin H., New natural fibre reinforced aluminium composite for automotive brake pad, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering* 7, 166–170, 2012.
- MAPEG, 2022. <https://www.mapeg.gov.tr/Custom/Madenistatistik> / (Erişim Tarihi: 21.12.2022).

- Persson B. N. J., Theory of friction- the role of elasticity in boundary lubrication, *Physical Review B* 50 (7), 4771–4786, 1994.
- Pujari S., Srikanth S., Experimental investigations on wear properties of palm kernel reinforced composites for brake pad applications, *Defence Technology* 15 (3), 295–299, 2019.
- Singh T., Pruncu C. I., Gangil B., Singh V., Fekete G., Comparative performance assessment of pineapple and kevlar fibers based friction composites, *Journal of Materials Research and Technology* 9 (2), 1491–1499, 2020.
- Stachowiak G. W., Batchelor A. W., *Engineering Tribology*, Butterworth-Heinemann, 883s, USA, 2014.
- Stadler Z., Krnel K., Kosmac T., Friction behavior of sintered metallic brake pads on a C/C-SiC composite brake disc, *Journal of the European Ceramic Society* 27, 1411–1417, 2007.
- Sugözü B., Nano silika, nano alümina ve nano zirkon aşındırıcı parçacık katkısının fren balata özelliklerine etkisi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış), 2016.
- Sugözü B., Sugözü İ., Investigation of the use of a new binder material in automotive brake pad, *International Journal of Automotive Science and Technology* 4(4), 258–263, 2020.
- Tabor D., Friction as a dissipated process, friction of organic polymers in fundamentals of friction, *Macroscopic and Microscopic Processes* 3, 220, 1996.
- Timur M., Kılıç H., Marble waste using produced of automotive brake pad of friction coefficient different pad brake pads with compression, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences* 19(1), 10–14, 2013.
- Toyota, 2022. <https://blog.toyota.com.tr/fren-balatasi-nedir-ne-zaman-degistirilir/> (Erişim Tarihi: 28.12.2022).
- TS 555, Karayolu taşıtları–fren sistemleri–sürtünmeli frenler için balatalar, TSE, 2019.
- TÜİK, 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Kasim-2022-45714/> (Erişim Tarihi: 22.12.2022).
- Yavuz H., Bayrakçeken H., Friction and wear characteristics of brake friction materials obtained from fiber and huntite blends, *Industrial Lubrication and Tribology* 74(7), 844–852, 2022.