
	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 <b>SAKARYA</b> <b>UNIVERSITY</b>
	<b>e-ISSN: 2147-835X</b>		
	<b>Dergi sayfası: <a href="http://www.saujs.sakarya.edu.tr">http://www.saujs.sakarya.edu.tr</a></b>		
	<u>Geliş/Received</u> 16-03-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 04-12-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.298476	

## Yeni bir tip fren balata test cihazının geliştirilmesi

Hasan Öktem<sup>\*1</sup>, İlyas Uygur<sup>2</sup>, Uğur Yücel<sup>1</sup>

### ÖZ

Otomotiv sanayindeki gelişmelere paralel olarak sürtünme katsayısı yüksek ve aşınmaya dayanıklı asbestsiz fren balataları üretilmektedir. Üretilen bu balataların aşınma, sürtünme ve gürültü seviyelerinin belirlenmesi için çok sayıda cihazlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, doğal tozlarla üretilen balataların sürtünme karakteristiği SAE J-661 standardına göre test edilmiştir. Bu amaç için bilgisayarlı yeni tip fren balata sürtünme test cihazı tasarlanarak üretilmiştir. Bu fren test cihazı; hidrolik kontrol, mekanik tasarım ve otomasyon sistemlerinden oluşmaktadır. Geliştirilen sürtünme test cihazı diğer sistemlerden ayıran en önemli fark, gerçek ortam şartlarında kullanılan balata numunelerini çok yüksek hassasiyette test edebilen ve gürültü seviyesini ölçebilen bir sistem olmasıdır. Çalışma sonunda, gerçek balata numunelerinin sürtünme katsayısını en kısa sürede ve yüksek doğrulukta tespit eden yeni bir tip balata test cihazının geliştirilmesi sağlanmıştır. Disk devir sayısının artmasıyla, sürtünme katsayısının başlangıçta hızlı bir artış sergilediği, daha sonra azalmaya başlayarak sabit olarak devam ettiği görülmüştür. Bu sonucun, tamamen balata numunesinin yüzey teması ve iki ara yüzey direnci ile ilgili olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Fren Balata, Otomasyon Sistemi, Sürtünme, Fren Balata Test Cihazı

### Development of a new type brake pad friction tester

#### ABSTRACT

An improvement in automotive industry; high coefficient of friction and wear resistance-non asbestos friction pads can be produced. Various types of test apparatus are constructed for wear, friction and noise level detection. In this study, natural dust reinforced brake pads were tested and characterized by SAEJ-661 standards. For this purpose computer aided new type of brake pad friction tester produced. This test machine consists of hydraulic control, mechanical design, and automation systems. The main difference of this new type of tester compared to other is that brake pads can be tested in real dimension and test conditions with high precision. Also noise levels can be measured by the test machine. At the end of the study, real brake pad friction responses can be determined with fast and high precision by newly developed friction pad tester. The friction coefficient is increased rapidly at the beginning with the disc speed increased and the started to decrease and then continued constantly. From this, it is concluded that the whole brake pad pattern is related to surface contact and two interface resistances.

**Keywords:** Brake pad, Automation system, Friction, Brake pad tester

\* Corresponding Author

<sup>1</sup> Doç. Dr. Hasan Öktem, hoktem@kocaeli.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

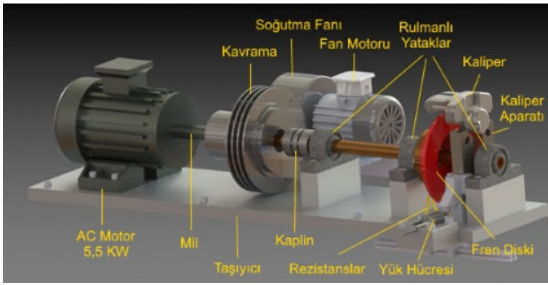
Günümüzde trafik kazalarının birçoğunun araçların fren sistemlerindeki problemlerden kaynaklandığı yapılan inceleme ve bilimsel araştırmalar sonucunda tespit edilmiştir. Özellikle fren sistemlerinde yer alan ve sürtünme malzemelerinden yapılan balatalar, araçlarda sürüş emniyetini sağlamada aracın frenleme performansına etki eden en önemli parçalardır [1]. Bu bakımdan araç fren balataları, olumsuz şartlar altında güvenlik, konfor, dayanım, uygun sürtünme, az malzeme kaybı ve sessiz çalışma gibi özellikler açısından yüksek performans göstermelidir [2-3]. Otomotiv fren balatalarının sürtünme katsayısı ve aşınma miktarının belirlenmesinde, beş farklı test yöntemi bulunmaktadır. Bunlar; araç yol testleri (vehicle road tests), araç kayıcı-pad tests, atalet dinamometreleri (inertial dynamometers) ve laboratuvar tribometreleridir (laboratory tribometers). Bunlar arasında da, laboratuvar tipi sürtünme cihazlarıyla yapılan test yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Laboratuvar tipi sürtünme test cihazları ise dört tiptir: Sürtünme Değerlendirme ve Gözleme Testi (SDGT), the chase type machines, pin-on-disc tribometers and inertial dynamometers (ECE R-90 standard test) [4-6]. Birçok araştırmacı, doğal ve metal tozlarla farklı içeriklerde üretmiş oldukları otomotiv fren balatalarının aşınma ve sürtünme karakteristiğini tespit edebilmek için laboratuvar tipi cihazları kullanırken, bazı araştırmacılar ise daha basit ve numune tipi balatalar için özel tasarlanmış sürtünme cihazlarıyla test yapmışlardır. Qui et al. [7], Bahari et al. [8], Saffar et al. [9] and Matejka et al. [10], asbestsiz çevre dostu fren balatalarının aşınma ve sürtünme performansını incelemişlerdir. Hazırlanan balataların aşınma ve sürtünme özellikleri, chase tipi cihazda test edilmiştir. Bu cihazda, SAE-661J'de tavsiye edilen standartlara göre testler yapılarak sürtünme katsayısı ve aşınma miktarları elde edilmiştir. Diğer taraftan; bazı araştırmacılar da [11-12], FAST type sürtünme cihazlarıyla fren balata testleri yaparak, aşınma ve sürtünme karakteristiğini incelemişlerdir. Bu cihazlarda, özellikle numune tipi balataların testleri gerçekleştirilmiştir. Tayeb ve diğerleri [13], Kim ve diğerleri [14] ile Liew ve diğerleri [15], fren balata malzemelerinden küçük boyutlarda elde edilen numuneler üzerinde pin-on-disk tipi tribometrelerle, sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybına bağlı olarak aşınma oranının belirlendiği çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu tip

cihazlar, abrazif bir cismin karşıt malzemeyi daha önceden belirlenen bir yola göre aşındırması esasına dayalı olarak geliştirilmişlerdir. Satapathy et al. [16], Kumar et al. [17], Kim et al. [18] and Jang [19] çalışmalarında, fren dinamometreleri adı verilen cihazlarla sürtünme testleri gerçekleştirmişlerdir. Fren dinamometreleri, daha çok Krauss tipi cihazlar olarak adlandırılan çok gelişmiş cihazlardır. Diğer sürtünme test cihazlarına göre, aşınma, sürtünme katsayısı ve frenleme kuvvetinin yanında frenleme torkunu da ölçen cihazlardır. Bu cihazlar, bir aracın tek bir tekerindeki yükü ağırlık volanları vasıtasıyla sağlayarak daha hassas ve güvenilir sürtünme katsayısı değerleri verirler. Ancak, bu cihazların üretim maliyetleri çok yüksek ve tasarımları daha karmaşık olduğu için kullanımları daha sınırlıdır. Domaç [20], Koç [21], Karaoğlu [22], Timur [23], Mutlu [24], Kumar [25] ve Kim [26] çalışmalarında, ürettikleri numune boyutlu balataların aşınma ve sürtünme testlerini gerçekleştirmek için uluslararası normlara (SAE-J661 and ECE R-90) uygun olarak çalışan özel tip test düzenekleri geliştirilmişlerdir. Araştırmacıların geliştirmiş oldukları düzenekler, bilgisayar kontrollü olup ve hidrolik tahrik sistemiyle frenleme basıncını sağlayarak test verilerini toplamaktadır. Araştırmacılar çalışmalarında, gerçek fren balata boyutları yerine numune boyutlarını kullanarak test yapmışlardır. Bu test düzenekleri, diğer sürtünme test cihazlarına göre daha basit ve daha az parçadan oluşmaktadır. Dolayısıyla, bu cihazların maliyeti diğer cihazlara göre daha düşüktür. Bahsedilen çalışmalar incelendiğinde, fren balatalarının test edilmesi için geliştirilmiş düzenekler ve standart cihazlarla istenilen aşınma-sürtünme değerleri elde edilmiştir. Aynı zamanda, bu düzenekler ve cihazların birçoğu benzer işlevleri yerine getirerek aşınma ve sürtünme sonuçlarının elde edilmesine olanak vermişlerdir. Bu sebeplerden dolayı, mevcut sürtünme test düzenekleri ve cihazlarının hızla gelişen otomotiv balata sektörüne uyum sağlaması için geliştirilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada, fren balatalarının sürtünme davranışı, geliştirilen yeni bir tip fren balata test düzeneğinde incelenmiştir. Fren balata test düzeneğinin literatürde ve endüstride bulunan diğer düzeneklerden üstünlüğü, daha ucuz olması, daha hassas ve güvenilir sonuçlar verebilmesi, gerçek balataların test edilebilmesi ve yukarıda ifade edilen eksikliklerin tamamen ortadan kaldırılmasıdır

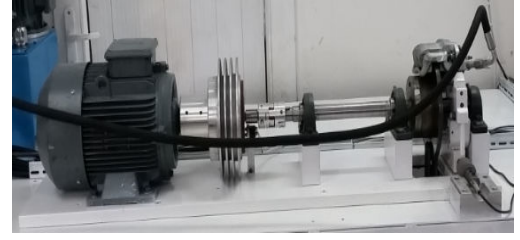
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL WORK)

### 2.1. Fren balata test düzeneğinin çalışma prensibi (Working principle of Brake Pad Tester)

Fren balata deney düzeneği, balataların otomobil üzerinde maruz kaldığı gerçek aşınma ve sürtünme koşullarına göre tasarlanmıştır. Test düzeneği sırasıyla bir hidrolik ünite, 5.5 kW-1440 dev/dak dönen elektrik motoru, elektro-mekanik kavrama, ana mil, rulmanlı yataklar, ısıtıcı rezistanslar, fanlı soğutma sistemi, fren diski (d=240 mm), kaliper, kaliper bağlama ve döndürme aparatı, çelik takozlar, çelik masa, çelik alt plaka, yük hücresi, otomasyon kontrol ünitesi, infrared sensör ve interaktif kontrol sağlayan bir bilgisayardan oluşmaktadır. Bunlardan hidrolik ünite üzerinde bulunan oransal valf aracılığıyla, kalipere bağlanan balatalara etki edecek baskı kuvveti ayarlanmaktadır. Elektrik motoru, milde bulunan 44.5 Nm'lik momenti karşılama işlevini yerine getirmektedir. Elektromekanik tozlu tip kavrama, motorun maksimum torkunda sürekli olarak güç aktarımı yapabildiğini sağlamaktadır. Ana mil, rulmanlı yataklar ve kaplin, deney düzeneğinin montajına ve yataklanmasına yardımcı olmaktadır. Fren diski ve kaliper ikilisi, otomobillerde olduğu gibi balataların bağlanmasını, yük hücresi fren diski üzerinde oluşacak sürtünme kuvvetinin ölçülmesini sağlamaktadır. Fren balata test sisteminin tasarım modeli Şekil 1'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1: Fren balata test cihazının gerçek ve şematik resimleri (The schematic and real pictures of brake pad tester)

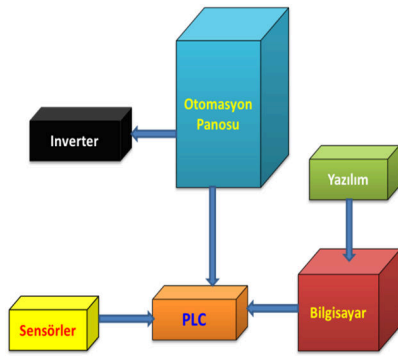
### 2.1 Hidrolik, mekanik ve otomasyon sistemleri (The systems of hydraulics, mechanic and automation)

Bu çalışmada geliştirilen Fren Balata Test cihazı, birbiriyle eş zamanlı çalışan üç ana sistemin birleşmesinden oluşmuştur. Bu üç sistemin çalışma prensibi aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır. **Hidrolik sistem;** basıncı oransal kontrol valfi vasıtasıyla yapılacak testin ihtiyacına göre baskı kuvveti oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Sistem basıncı tamamen PID (Proportional Integral Derivate) kontrol ile belirlenebilmekte olup, oransal basınç kontrol valfi üzerinde set edilen basınç, teorik değil, doğrudan sistemde bulunan hassas basınç algılayıcılarının yaptığı ölçüme göre hattaki basınç kaybından etkilenmeksizin fren pistonuna uygulanan kuvveti ayarlayacak şekilde artırılıp azaltılabilmektedir. Böylece, fren balatalarına uygulanan baskı kuvveti kayıpsız olarak hesaplamalarda kullanılabilir.

**Mekanik sistem;** geliştirilen yeni tip fren balata test düzeneğinin en önemli bölümlerinde biri de mekanik sistemdir. Bu sistem; motor, elektro-mekanik kavrama, kaplin, rulmanlı yataklar, fren balata tertibatı, yük hücresi, soğutucu fanlar, ısıtıcılar ve bir infrared sensörden oluşmaktadır. Mekanik tasarımda kullanılan elemanlar, aşağıda ifade edilen işlevleri yerine getirmektedir: **Elektro-mekanik kavrama;** elektromekanik tozlu tip kavrama, motorun maksimum torkunda sürekli olarak güç aktarımı yapabildiğini sağlamakta olup, sabit tork değerinde test yapılabilmektedir. **Fren balata Tertibatı;** fren balata test düzeneğine kurulmuş olan hidrolik sistem, balatalara sabit basınç uygulayarak, sistem üzerindeki sensör vasıtasıyla uygulanan kuvvetin gerçek olarak ölçülebilmesini sağlamaktadır. **Yük Hücresi;** balata test sisteminin, tahrik ve ölçüm sistemleri kararlı değerlere sahip olduğundan yük hücresi, benzer test koşullarında doğrusal ve kararlı yük ölçümlerini yaparak PID kontrol

sistemine vermektedir. **Soğutma ünitesi; Fren için;** Disk sıcaklığını test değerlerinde tutmak için fan yardımıyla soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Sıcaklık, sensör tarafından sürekli kontrol edilerek, gerekli durumlarda fanın soğutma işlemini gerçekleştirmesini sağlamaktadır. **Kavrama için;** elektro-manyetik kavrama ile yapılan tork kontrolünde, kavramanın kararlı çalışması sağlamak için bağımsız bir fan ile sürekli soğutma yapılmaktadır. **Isticilar;** fren balata disk sıcaklığını istenilen test değerlerine (100-350°C) çıkartmak için rezistanslar kullanılarak ısıtma işlemi yapılmaktadır. **Isı sensörü;** fren balata diskinin sıcaklığını sürekli kontrol ederek PID kontrol ünitesine bildirmektedir. Bu sayede, test koşulları korunarak kararlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Fren balata test düzeneğini kontrol ve kumanda eden otomasyon sisteminin aşamaları, Şekil 2’de gösterilmiştir. Otomasyon sistemi, inverter, otomasyon panosu, sensörler, PLC (Programlanabilir Logic Kontrol), kontrol yazılımı ve bilgisayar olmak üzere altı ana bileşenden oluşmuştur.

**Otomasyon sistemi genel olarak;** elektrik motorunun istenilen devir sayılarında dönmesini sağlar ve ana mile hareket ileterek fren diskini döndürür. Aynı zamanda, hidrolik sisteme gerekli komutları göndererek, oransal valf vasıtasıyla istenilen basınçlarda fren diskinin yavaşlatılmasını veya durdurulmasını sağlar. Otomasyon sistemi, ısıtıcı rezistansların çalışmasını ve kritik sıcaklıklarda soğutucu fanın devreye girmesini de sağlar. Tüm bu işlemler, bir PLC ünitesi yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, elde edilen tüm sonuçlar, otomasyon sistemi içinde yer alan bir yazılımla depolanabilmektedir.



Şekil 2: Otomasyon kontrol sistemi akış diyagramı (The flow chart of automation control system)

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

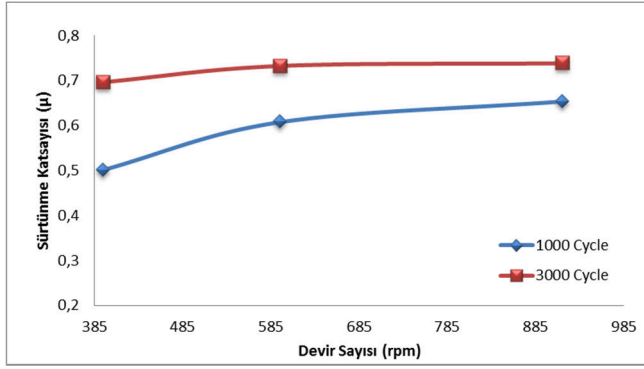
Bu çalışmada yer alan fren balata test cihazı, uluslararası otomobil endüstrisi SAE J661 [20-29] standardı belirtilen şartlar esas alınarak geliştirilmiştir. Ancak, fren balata test cihazının ölçüm doğruluğunu, güvenilirliğini ve performansını belirlemek için farklı koşullar altında (Tablo 1) bir dizi sürtünme deneyi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen fren balata test cihazı, 0 ile 350 °C arasındaki sıcaklıklarda, tüm testleri yapabilecek kapasitede olmasına rağmen, bu çalışmada yalnızca 0-100 °C arasında değişen sıcaklıklardaki soğuk test sonuçları dikkate alınmıştır. Fren test cihazının doğruluğunu güvenilirliğini tespit etmek için kullanılan frenleme test şartları, Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Frenleme Test Şartları (Braking test conditions)

Test Numarası	Hız (dev/dak)	Basınç (Bar)	Frenleme Sayısı
1	395	10.5	1000
2	595	10.5	1000
3	915	10.5	1000
4	395	30	1000
5	595	30	1000
6	915	30	1000
7	395	10.5	3000
8	595	10.5	3000
9	915	10.5	3000
10	395	30	3000
11	595	30	3000
12	915	30	3000

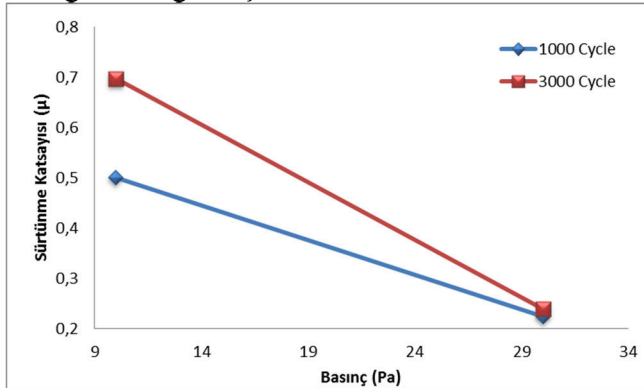
Şekil 3 ve Şekil 4, fren balata test cihazında belirli frenleme sayılarında elde edilen sürtünme katsayısının basınç-devire karşılık değişimini göstermektedir. Şekil 3 incelendiğinde, 1000 ve 3000 frenlemede 585 devire kadar sürtünme katsayısının hızlı bir artış sergilediği, bu noktadan sonra azalmaya başlayarak sabit olarak devam ettiği görülmüştür. Bunun sebebinin, balata ile disk yüzeyi arasında tam bir temas sağlanıncaya kadar, sürtünme katsayısının arttığı, daha sonra azalarak sabit olarak devam etmesidir. Bu durum, SAE-J661’de belirtilen alıştırmaya deneyi periyodunda açıklanmaktadır. 1000 frenlemede başlangıçtaki sürtünme katsayısı 0.5  $\mu$  iken, 3000 frenlemede ise sürtünme katsayısı 0.7  $\mu$ ’dir. Bunun temel sebebi, 3000 frenlemede kullanılan balata numunesinin yüzey dokusunun daha pürüzlü olmasıdır. Ayrıca yüksek frenleme miktarı doğal olarak yüzeylerde kısmi aşınmalara ve parçacıkların kopmasına neden olarak yüzey kalitesini bozacaktır. Ancak, her iki frenleme

sonucunda oluşan sürtünme katsayılarının değerleri birbirine yakın olduğu için güvenilirlik açısından herhangi bir problem bulunmamaktadır.



Şekil 3. Fren balatalarının test edilmesi sırasında devir-sürtünme katsayısı değişimi (Variation of speed against friction coefficient in testing brake pads)

Şekil 4 incelendiğinde, 1000 ve 3000 frenlemede sürtünme katsayısının basınçla sürekli olarak azaldığı görülmektedir. Bunun sebebinin de, basınç azaldıkça fren balata kaliperinin piston kuvvetinin azalması ve dolayısıyla balataya nüfuz eden kuvvetin de azalması (normal kuvvetin) sonucunda sürtünme katsayısının artmasıdır. 1000 ve 3000 frenlemedeki başlangıç sürtünme katsayılarının farklı olması, tamamen balata numunesinin yüzey teması ve iki ara yüzey direnci ile ilgili olduğu düşünülebilir.



Şekil 4. Fren balatalarının test edilmesi sırasında basınç-sürtünme katsayısı değişimi (Variation of pressure against friction coefficient in testing brake pads)

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, asbestsiz doğal katkılı balata numuneleri, SAE J661 standardına göre geliştirilen yeni bir tip fren balata test cihazında sürtünme testlerine tabi tutulmuştur. Geliştirilen bu cihaz, soğuk ve sıcak sürtünme katsayılarını, gürültü seviyesini ve aşınma oranını tespit edebilecek kabiliyete sahiptir. Fren balata test cihazının gelişmiş mekanik tasarımı, güçlü

hidrolik ve otomasyon sistemi bu kabiliyetini arttırmıştır. Geliştirilen bu test cihazı, fren balatalarının aşınma direncini geliştirirken, sürtünme katsayısının stabilize edilmesi gibi çok sayıda avantaja sahip olduğunu kanıtlamıştır. Aynı zamanda test cihazı, sürtünme katsayısının ölçülmesinde çok pratik olup, basit bir ekran ara yüzüne sahiptir. Böylelikle, testlerde zaman kaybı çok azdır. Test cihazı, bahsedilen bu özelliklerinden dolayı, aynı amaç ve ölçekte üretilen cihazlardan daha üstün ve gelişmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, SAE J661'de tanımlanan otomotiv tipi araçların sürtünme katsayısı değer aralıkları içinde olduğunu göstermiştir. Bu durum, geliştirilen fren balata test cihazının ticari balataların sürtünme katsayısının tespit edilmesinde çok güvenilir ve gerçek koşullara çok yakın veriler elde etmesini mümkün kılmaktadır.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazarlar, bu çalışmanın yapılması sırasında destek sağlayan, Yüksek Mühendis Murat ÇEVİK'e teşekkür ederler. Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar (BAP) tarafından (KOU-BAP-2013/68) nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Lök, "Araç Fren Sistemleri", Makine Mühendisleri Odası, Kartal, Temmuz, 2011, pp.111-115.
- [2] TS 555, Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler için, TSE Standartı, Ankara, 1992.
- [3] B. Bhushan, *Principles of Tribology*. Modern Tribology Handbook,1, CRC Press., 2001, pp. 100-110.
- [4] G.W. Stachowiak, A.W. Batchelor, *Engineering Tribology*, Heinemann, Boston,1, , 2001, pp.36-44.
- [5] M. Eriksson, F. Bergman, S Jacobson, (2002), "On the Nature of Tribological Contact in Automotive Brakes", *Wear*, vol.252, pp.26-36.
- [6] M. Eriksson, S. Jacobson, (2000), "Tribological Surfaces of Organic Brake Pads", *Tribology International*, vol.33, pp. 817-827.

- [7] P.J. Blau, Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives, Metals and Ceramics Division, U.S. Department of Energy and Oak Ridge National Laboratory, August 2001.
- [8] İ. Satır, "Asbestsiz Fren Balatalarının Kuru ve Yaş Sürtünme Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2006.
- [9] B. Çiftçi, "Fren Balatalarında Cam Elyaf Kullanımının Sürtünme Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2010.
- [10] A. Kurt, M. Boz, (2007), "The Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the Friction Performance of Automotive Brake Friction Materials". *Tribology International*, vol.40, pp.1161-1169.
- [11] H. Jang, S.J. Kim, (2000), "The Effects of Antimony Trisulfide (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) and Zirconium Silicate (Zr<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) in the Automotive Brake Friction Material on Friction Characteristics", *Wear*, pp.229-236.
- [12] L.G. Hoyer, A. Bach, G.T. Nielsen, P. Morgen, (1999), "Tribological Properties of Automotive Disc Brakes with Solid Lubricants", *Wear*, vol.232, pp.168-175.
- [13] K.W. Hee, P. Filip, (2005), "Performance Of Ceramic Enhanced Phenolic Matrix Brake Lining Materials for Automotive Brake Linings", *Wear*, vol.259, pp.1088-1096.
- [14] N.S.M. El-Tayeb, Liew K.W, (2009), "On the Dry and Wet Sliding Performance of Potentially New Frictional Brake Pad Materials for Automotive Industry", *Wear*, vol.266, pp. 275-287.
- [15] Y. Hando, T. Kato, (1996), "Effects of Cu Powder, BaSO<sub>4</sub> and Cashew Dust on the Wear and Friction Characteristic of Automotive Brake Pads", *Tribology Transactions*, vol. 39, pp.346-353.
- [16] G.S. Domaç, Disk Frenlerin Tasarım ve Tribolojik Açından İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [17] S. Qi, Z. Fu, Z. Yun, S. Jiang, X. Zheng, Y. Lu, (Jan, 2014), "Effects of Walnut Shells on Friction and Wear Performance of Eco-friendly Brake Friction Composites, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers", *Part J: Journal of Engineering Tribology*, <http://pij.sagepub.com/content/early/2014/01/03/1350650113517112>.
- [18] Y. Ma, S. Shen, J. Tong, W. Ye, Y. Yang, J. Zhou, (2012), "Effects of Bamboo Fibers on Friction Performance of Friction Materials", *J. of Thermo Plastic Composite Materials*, pp.1-15.
- [19] R. Koç, "Bilgisayar Kontrollü Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı", *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 2010, pp.550-560.
- [20] Y. Karaoğlu, Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006.
- [21] M. Timur, Otomotivde Kullanılan Sürtünme Malzemelerinin Sürtünme Katsayını Tespit eden Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2007.
- [22] H. Jang J.S. Lee, J.W. Fash, (2001), "Compositional Effects of the Brake Friction Material on Creep Groan Phenomena", *Wear*, vol. 251, pp. 1477-1483.
- [23] İ. Mutlu, C. Öner, R. Koç, (2005), "Cam Elyaf Katkılı Disk Fren Balatalarında Zaman-Sıcaklık-Sürtünme Katsayısı İlişkisinin İncelenmesi". *Teknoloji*, vol. 8, 1, pp.101-106.
- [24] F. Kara, R. Kara, İ. Mutlu, Fren Balatasında Karbon Elyaf Boyutunun Sürtünme Katsayısına Etkisi, *6. İleri Teknolojiler Sempozyumu*, IATS' 2011, 16-18 Mayıs 2011, Elazığ, Turkey.
- [25] M. Kumar, J. Bijwe, (2010), "Studies on Reduced Scale Tribometer to Investigate the Effects of Metal Additives On Friction Coefficient-Temperature Sensitivity in Brake Materials", *Wear*, vol.269, pp.838-846.
- [26] S.S. Kim, H.J. Hwang, M.W. Shin, H. Jang, (2011), "Friction And Vibration of Automotive Brake Pads Containing Different Abrasive Particles", *Wear*, vol. 271, pp. 1194-1202.
- [27] C. Sarkar, H. Hirani, (2015), "Frictional Characteristics of Brake Pads using Inertia Brake Dynamometer," *International Journal of Current Engineering and Technology*, vol. 5, pp. 981-989.

- [28] T. Singh, A. Patnaik, R. Chauhan, (2016), "Optimization of Tribological Properties of Cement Kiln Dust-filled Brake Pad Using Grey Relation Analysis," *Materials & Design*, vol. 89, pp. 1335-1342.
- [29] Mazza, L, Trivella, A, Grassi, R, Malucelli, G, (2015), "A Comparison of The Relative Friction And Wear Responses of PTFE And A PTFE-Based Composite when Tested Using Three Different Types of Sliding Wear Machines", *Tribology International*, vol.90, pp.15-21.