

Otomotiv Sürtünme Malzemelerinde Karbon Fiber Katkısının Etkisi

²Abdullah Malak, ¹İbrahim Mutlu, *¹Faruk Emre Aysal, ¹Hüseyin Bayrakçıken, ¹Yaşar Önder Özgören ve ¹İbrahim Yavuz

¹Afyon Kocatepe University, A.N.S. Campus, Afyonkarahisar, Turkey

²Ministry of National Education, Afyonkarahisar, Turkey

Özet

Otomobillerde kullanılan en önemli aktif güvenlik sistemlerinden biri fren sistemidir. Otomotiv frenlerinin sürtünme prosesindeki en önemli iki komponent fren disk ve fren balatasıdır. Fren balatalarında optimum kompozisyonun oluşturulması için son 20 yılda bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada fren balatalarında karbon fiber katkısının sürtünme performansına etkileri incelenmiştir. Geleneksel balata kompozisyonuna ek olarak 40 mm uzunluğundaki karbon fiberler katkı olarak kullanılmıştır. Kütlece %5, %10 ve %15 oranında karbon fiber katkısı ile üretilen balataların sürtünme performansı Friction Assessment and Screening Test (FAST) cihazı ile ölçülmüştür. Karbon fiber katkısının fren balatalarındaki oransal artışı sürtünme katsayısındaki artışı olumlu etkilemiştir. Bu durum, taşıtlarda karbon fiber katkılı balataların sürtünme malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme Malzemeleri, Fren Balatası, Karbon Fiber, FAST

The Effect of Carbon Fiber Additive in Automotive Friction Materials

Abstract

One of the most important safety systems in automobile is brake system. The most important two component of friction process of automotive are brake disc and brake pad. In last two decades, in order to optimize brake pad composition many studies were accomplished. This study carried out on the effect of carbon fiber additive to friction performance in the brake pad. In addition to conventional pad composition 40 mm length carbon fiber used as an additive. The brake pad produced with carbon fiber additive (%5, %10, %15 by mass) friction performance was tested with Friction Assessment and Screening Test (FAST). Increasing percentage of carbon fiber in brake pad composition was increased the friction coefficient. Hence, the result of friction tests shows that the brake pad produced by carbon fiber additive may use in vehicle currently.

Keyword: Friction Materials, Brake Pad, Carbon Fiber, FAST

1. Introduction

Otomobil fren sistemleri metalik bir disk ve sürtünme malzemesi olarak iki adet balata içermektedir. Fren balatası frenleme esnasında kinetik enerjiyi sürtünme yoluyla ısıya dönüştürmektedir. Balataların içeriği ise genelde bağlayıcı olarak fenolik reçine ve 10'dan fazla malzemenin karışımından oluşmaktadır. Fren sisteminde kullanılan balatanın yüksek sıcaklık, nem ve zorlu frenleme şartlarında yüksek ve stabil bir sürtünme katsayısına sahip olması

*Corresponding author: Address: Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, TURKEY. E-mail address: faysal@aku.edu.tr

gerekmektedir. Ayrıca kompozit yapının kombinasyonu yüksek sertlik, basınç dayanımı ve yüksek sıcaklığa direnç gibi mekanik özellikleri sağlamalıdır. Frenleme esnasında balata malzemesinin içeriğindeki komponentler mikro yapıyı büyük ölçüde etkilemektedir [1,2]. Dolayısıyla sürtünme yüzeyi ve mekanizması bakımından karakteristik özellikler büyük ölçüde kompozit yapıyı oluşturan çok farklı özelliklere sahip malzemelerin sinerjik etkisinin bir sonucudur [3-6].

Balata içeriğinde kullanılan malzemeler bağlayıcı, dolgu, sürtünme düzenleyici ve takviye malzemesi olarak gruplandırılmaktadır [7,8]. Otomotiv fren sistemlerinde kullanılan sürtünme malzemelerinin en önemli özelliği sıcaklık değişimine karşı özelliklerini stabilize edebilen bir matris yapısına sahip olmasıdır. Bu amaçla, sürtünme yüzeyinde katkı malzemesi olarak genelde termoset fenolik reçine kullanılmaktadır. Dolgu malzemeleri genellikle maliyet düşürülmeli ve üretimi kolaylaştırılmalıdır. Disk ve balataadaki sürtünmeyi stabilize etmek ve aşınmayı kontrol etmek amacıyla birçok katkı malzemesi kullanılmıştır. Grafit ve çeşitli metal sülfatlar katı yağlayıcı olarak çok küçük oranlarda kompozisyona eklenmesine rağmen aşınma direnci, durma mesafesi, sürtünme stabilitesi ve ses şiddeti gibi fren performans parametrelerini oldukça etkilemektedir [9, 10]. Alümina ve silika (Al_2O_3 , SiO_2) gibi abrazif parçacıklar sürtünme katsayısını ve aşınmayı arttırmakta ve daha iyi bir sürtünme yüzeyi sağlamaktadır [11]. Bakır, çinko ve çelik gibi farklı metal parçacıkları ve fiberleri de sürtünme ve aşınma özelliklerini değiştirme amacıyla kullanılmaktadır [12, 13].

1980’li yılların sonuna doğru balata içeriğinde de kullanılan ve kanserojen olan asbestin dünya genelinde yasaklanması araştırmacıları alternatif malzemeye yönlendirmiştir [14]. Karbon fiber katkı malzemesi bu amaçla balata kompozisyonunda, kompozit yapıdaki fiber ve matris arasındaki bağlanma dayanımını arttırması, stabil bir sürtünme katsayısı sağlaması ve aşınma oranını azaltması için kullanılmıştır. Ancak çalışmalarda karbon fiber kullanımı kütlece %2-5 arasında ve ortalama 4 mm uzunluğunda yapılmıştır [15]. Bu durumda da ortalama sürtünme katsayısı değerleri istenilen değerlere ulaşamamıştır.

Bu çalışmada, geleneksel fren balatası içeriğine ek olarak 40 mm uzunluğunda karbon fiber katkısı yapılmıştır. Balata kompozisyonuna yapılan takviye kütlece %5-10-15 olarak belirlenmiştir. Farklı içeriğe sahip olan balatların sürtünme performansları deneysel olarak incelenmiştir. Sürtünme deneylerinde Friction Assessment and Screening Test (FAST) cihazı kullanılmıştır.

2. Materials and Method

Sürtünme deneylerinde kullanılan asbestsiz organik balatalar (NAO – Non-asbestos organic) polimerik bağlayıcı olarak sıcak presleme yöntemiyle üretilmiştir. Balata malzemesinin kompozit yapısının üretiminde karşılaşılan en büyük problemlerden biri malzemeyi oluşturan komponentlerin kompozit yapı içindeki homojen dağılımını sağlamak ve takviye malzemesi ile matris ara yüzey bağını arttırmaktır [16]. Bu malzemelerin matris içerisindeki dağılımını, tozların boyutunu ve diğer bazı özelliklerini belirlemede, karıştırma şekli ve süresi etkili olmaktadır [17]. Segregasyonu önlemek için karıştırma işlemi çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Bu sebeple karışıma genellikle grafit gibi yağlayıcılar eklenir [18]. Özellikle yoğunlukları, partikül boyutları

ve bazen yüzey karakteristikleri ve şekilleri önemli farklılıklar gösteren toz bileşenlerde karıştırma işlemi zor olabilmektedir.

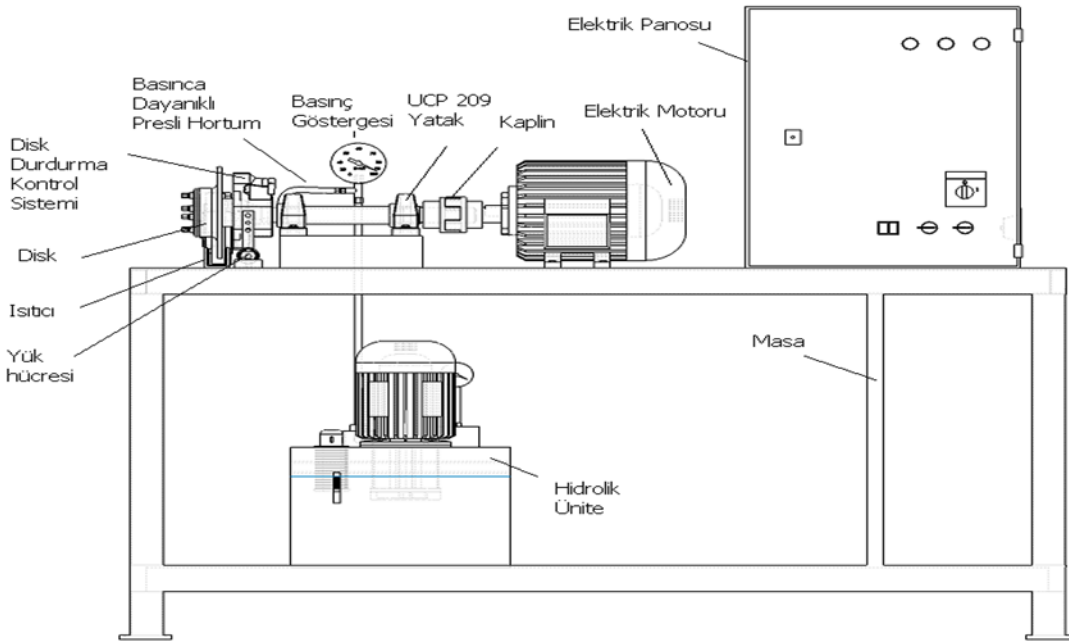
Tablo 1. Deney Numunelerinin Kompozisyonu.

BİLEŞEN	4005	4010	4015
Karbon Fiber	5	10	15
Toz karbon	40	35	30
Çelik fiber	10	10	10
Bakır	5	5	5
Alümina (Al ₂ O ₃)	3	3	3
Pirinç talaşı	2,5	2,5	2,5
Grafit	7	7	7
Cashew dust	7,5	7,5	7,5
Fenolik reçine	20	20	20
TOPLAM	100	100	100

Üretilen balataların kompozisyonları Tablo 1’de verilmiştir. Tüm balatalarda fenolik reçine, bakır parçacıkları, pirinç talaşı, çelik fiber, alümina (Al₂O₃), grafit, 40 mm uzunluğunda karbon fiber, toz karbon ve cashew dust kullanılmıştır. Kompozitlerin tribolojik özelliklerindeki iyileşme kompozit formülasyonu, üretim ve çalışma parametrelerine bağlıdır [19]. Yapılan çalışmalarda yüksek performanslı sürtünme malzemesini güçlendirme amacıyla teorik yoğunluğun artırılması ve poroziteyi yok etmek için densifikasyon işlemleri yapılmaktadır [20]. Her bir formüldeki balata içeriğini oluşturan bağlayıcı, sürtünme malzemeleri ve diğer katkı malzemeleri hassas terazi ile tartıldıktan sonra oluşturulan karışımın homojenliğini sağlamak için yüksek homojenlik sağlayana kadar 15 dakika süreyle karıştırma yapılmıştır.

Balata üretimindeki presleme basıncı, balatanın sürtünme performansı açısından önemli bir rol oynamaktadır. Hassas olarak tartılan ve homojen olarak karıştırılan numune karışımları soğuk presleme için 1x1 inch2’lik komprime kalıbına doldurulmuş 15 MPa basınç altında 1 dakika süre ile hidrolik pres yardımıyla tek yönlü olarak soğuk preslenmiştir. Soğuk presleme işleminden sonra tablet haldeki numunelere pişirme işlemi için sıcak presleme uygulanmıştır. Sıcak presleme işlemi 15MPa (150 bar) basınç altında ~180°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca, her bir mm kalınlık için ~1 dakika pişirme süresi olacak şekilde yapılmıştır.

Şekil 1’de şematik görülen FAST test cihazı ile numunelerin frenleme karakteristiği, aşınma direnci ve sürtünme katsayısının belirlenmesi için sürtünme deneyleri yapılmıştır. Tüm deneylerde deney başlangıç sıcaklığı 40oC olarak alınmıştır. Fren testleri alıştırma aşamasında 0,7 MPa (7 bar) basınç altında, 15 dakika (900 s) süre ile 200 °C ’de yüzey teması en az %95 oluncaya kadar yapılmıştır. Sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimini belirleyebilmek için 0,551 MPa (5,51 bar) basınçta ortalama 7 m/s hızında 90 dakika (5400 s) süre ile deneyler yapılmıştır. Deneyler 3 kez tekrar edilip, sıcaklık ve sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamaları alınmıştır [21].



Şekil 1. “Friction Assesment and Screening Test” (FAST) Cihazı Şematik Görünüşü

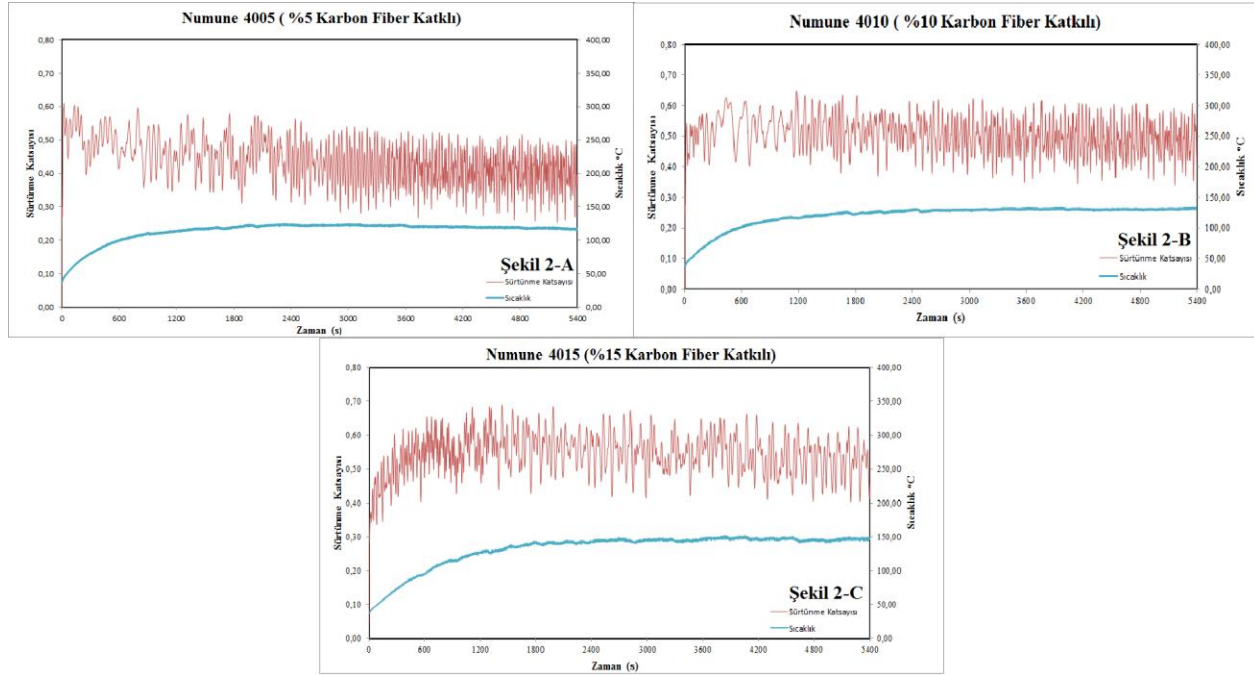
3. Results and Discussion

Sürtünme deneyleri sonucunda 4005 no’lu numunenin ortalama sürtünme katsayısı $\mu_{4005}=0,44$ olarak elde edilmiştir. Sürtünme deneyleri süresince fren diski yüzey sıcaklığı ortalama 114°C maksimum 123°C ölçülmüştür. Şekil 2-A’da 4005 no’lu numune için verilen sürtünme katsayısı - zaman ve sıcaklık - zaman grafiği incelendiğinde statik sürtünmeden dinamik sürtünmeye test süresinin hemen başında geçildiği görülmektedir. Sürtünme testinin ilk bölümünde abrazif ve adhesiv aşınmalardan dolayı oluşan aşınma yüzeyi değişimi sürtünme katsayısı değişimini arttırmıştır. Deney sürecinin ikinci bölümünde aşınma yüzeyinin stabil hale gelmesi ile sürtünme katsayısı da düzgün bir rejime girmiştir.

Kütlece %10 karbon fiber katkılı balata numunesi (Numune 4010) için yapılan sürtünme testleri sonucunda ortalama sürtünme katsayısı $\mu_{4010}=0,51$ olarak bulunmuştur. Fren uygulaması süresince fren diski sürtünme yüzeyi sıcaklığı ortalama 121°C maksimum sıcaklık 133°C olarak belirlenmiştir. Şekil 2-B’de görüldüğü gibi sürtünme katsayısı grafiği ilk 1600 saniye içinde kararsız bir eğri sonrasında stabil bir sürtünme katsayısı dağılımı görülmektedir. Bu durum, sürtünme prosesinin başlarında adhesiv ve abrazif aşınmalar neticesinde aşınma yüzeylerinin değişmesi ve sonrasında stabil bir aşınma yüzeyinin elde edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 2-C’de kütlece %15 karbon fiber katkılı deney numunesinin (Numune 4015) sürtünme katsayısı - zaman ve sıcaklık - zaman grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde ilk 1400 saniyelik sürtünme süresince dinamik sürtünmeden statik sürtünmeye geçişin gerçekleştiği ve sürtünme katsayısının dinamik sürtünme bölgesinde stabil hale geldiği görülmektedir. Sürtünme boyunca balata ve disk yüzeyinden kopan parçalar adhesiv ve abrazif aşınmalara yol açmakta, prosesin

ilk yarısından sonra stabil bir aşınma yüzeyi görülmektedir. Bu durum, aşınma yüzeyi değişimlerinin sürtünme katsayısında dalgalanmaya sebep olduğunu göstermektedir. Deney sonuçlarında, 4015 no'lu numunenin ortalama sürtünme katsayısı $\mu_{4015}=0,55$ ortalama sürtünme yüzeyi sıcaklığı 132°C ve maksimum sürtünme yüzeyi sıcaklığı 150°C olarak elde edilmiştir.



Şekil 2. Sıcaklığa Bağlı Sürtünme Deneyi Sonuçları; Şekil 2-A Numune 4005, Şekil 2-B Numune 4010, Şekil 2-C Numune 4015.

Her üç numunenin sürtünme sonucu oluşan sıcaklık-zaman grafiği incelendiğinde statik sürtünme bölgesinde logaritmik bir artış gözlenmektedir (Şekil 2). Buna karşın, dinamik sürtünme bölgesinde sıcaklık-zaman eğrisi lineer bir eğilim göstermektedir. Statik ve dinamik sürtünme bölgelerinde oluşan aşınma yüzeyi değişimleri dolaylı olarak sürtünme yüzeyi sıcaklığını etkilemiştir.

Tablo 2. Deney Numunelerinin Fiziksel Özellikleri.

Numune Kodu	Kütle Kaybı (g , $m_1 - m_2$)	Yoğunluk (g/cm^3)	Ortalama Sürtünme Katsayısı (μ)	Özgül Aşınma (v) (g/mm^2)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
4005	0,261	1,923	0,44	$1,37652 \times 10^{-06}$	2.12
4010	0,299	1.953	0,51	$1,3396 \times 10^{-06}$	2.50
4015	0,305	1,878	0,55	$1,3177 \times 10^{-06}$	2.55

Sürtünme deneylerinde kullanılan balataların ortalama kütle kaybı, ortalama yoğunluğu, ortalama sürtünme katsayısı, ortalama özgül aşınma değeri ve ortalama yüzey pürüzlülüğü Tablo 2’de verilmiştir. Numunelerin yoğunluk değerleri Arşimet Prensibi uyarınca ölçülmüştür. Karbon fiber

katkı oranı arttıkça yoğunluğun arttığı gözlenmiştir. Elde edilen yoğunluk değerleri ve ortalama sürtünme değerleri kullanılarak balata yüzeyindeki özgül aşınma değerleri hesaplanmıştır. Artan karbon fiber oranıyla birlikte az da olsa özgül aşınma değerinin de azaldığı görülmüştür. Özgül aşınma değeri; yoğunluk ve ortalama sürtünme katsayısının bir fonksiyonudur. Dolayısıyla, sürtünme katsayısı artmasına rağmen yoğunluktaki azalma özgül aşınma değerlerinde de küçük bir azalmaya sebep olmaktadır. Deneylerde kullanılan balataların sürtünme testi sonrasında yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Kompozit yapı içeriğindeki karbon fiber katkı oranı artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı artmış ve aşınma değerleri azalmıştır. Bu durum, ortalama yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmuştur.

Conclusions

Deney sonuçlarına göre karbon fiber katkı oranındaki artışın sürtünme performansına olumlu etki sağladığı gözlenmiştir. Kütlece %5-10-15 karbon fiber katkısı ile üretilen balata numuneleri arasında en yüksek ortalama sürtünme katsayısı %15 karbon fiber katkılı numunede $\mu_{0.15}=0,55$ olarak elde edilmiştir. Balata kompozisyonuna yapılan karbon fiber takviyesi kütleli olarak arttıkça ortalama yoğunluk değeri ve ortalama aşınma değeri azalmış, yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Yapılan çalışmada;

1. Karbon fiber katkısının oransal olarak artışı ortalama sürtünme katsayısında artış meydana getirmiştir. Dolayısıyla karbon fiber asbeste alternatif malzeme olarak değerlendirilebilir.
2. Sürtünme deneyleri neticesinde kullanılan bütün deney numunelerinde hem adhesiv hem de abrazif aşınma meydana gelmiştir.
3. Geleneksel balata kompozisyonuna ek olarak yapılan karbon fiber takviyesi ile taşıt güvenliği için uygun sürtünme katsayısına ve yoğunluğa sahip fren balataları üretilmiştir.
4. Bu çalışmaların ışığında yapılacak çalışmalarda karbon fiber oranı ve fiber uzunluğu değiştirilerek daha efektif sonuçlar elde edilebilecektir.

References

- [1] M. Bijwe ve J. Kumar, «Studies on reduced scale tribometer to investigate the effects of metal additives on friction coefficient – temperature sensitivity in brake materials.,» *Wear*, no. 269, pp. 838 -846, 2010.
- [2] K. K. Rakkesh ve K. S. Bhabani, «Synergistic effect of tungsten disulfide and cenosphere combination on braking performance of composite friction materials.,» *Mater. Des.* , no. 56, pp. 368 - 378, 2014.
- [3] M. Kchaou, A. Sellami, R. Elleuch ve H. Singh, «Singh H. Friction characteristics of a brake friction material under different braking conditions.,» *Mater. Des.*, no. 52, pp. 533-540, 2013.
- [4] B. Öztürk, S. Ö. Öztürk ve A. A. Adigüzel, «Effect of type and relative amount of solid lubricants and abrasives on the tribological properties of brake friction materials.,» *Tribol.*

Trans., no. 56, pp. 428 - 441, 2013.

- [5] W. Österle, M. Griepentrog, T. Gross ve I. Urban, «Chemical and microstructural changes induced by friction and wear of brakes,» *Wear*, no. 251, pp. 1469 - 1476, 2001.
- [6] F. Mutlu, I. Eldogan ve O. Findik, «Tribological properties of some phenolic composites suggested for automotive brakes,» *Tribol. Int.*, no. 39, pp. 317 - 325, 2006.
- [7] J. Bijwe, «Composites as friction materials: recent developments in non-asbestos fiber reinforced friction materials—a review,» *Polymer Composites*, cilt 3, no. 18, pp. 378 - 396, 1997.
- [8] P. W. Lee ve P. Filip, «Friction and wear of Cu-free and Sb-free environmental friendly automotive brake materials,» *Wear*, no. 302, pp. 1404 - 1413, 2013.
- [9] J. H. Park, J. O. Chung ve H. K. Rae, «Friction characteristics of brake pads with aramid fiber and acrylic fiber.»,» *Ind. Lubr. Tribol.*, no. 239, pp. 91-98, 2010.
- [10] H. Jang ve S. J. Kim, «The effects of antimony trisulfide (Sb₂S₃) and zirconium silicate (ZrSiO₄) in the automotive brake friction material on friction characteristics.»,» *Wear*, no. 239, pp. 229-236, 2000.
- [11] S. S. Kim, H. J. Hwang, M. W. Shin ve H. Jang, «Friction and vibration of automotive brake pads containing different abrasive particles.,» *Wear*, no. 271, pp. 1194-1202, 2011.
- [12] M. Eriksson, F. Bergman ve S. Jacobson, «On the nature of tribological contact in automotive brakes.,» *Wear*, no. 252, pp. 26-36, 2002.
- [13] H. Jang, K. Ko, S. J. Kim, R. H. Basch ve J. W. Fash, «The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials,» *Wear*, no. 256, pp. 406-414, 2004.
- [14] H. Fu, B. Liao, F.-j. Qi, B.-c. Sun, A.-p. Liu ve D.-l. Ren, «The application of PEEK in stainless steel fiber and carbon fiber reinforced composites,» *Composites Part B: Engineering*, no. 39, pp. 585-591, 2008.
- [15] S. B. K. Abadi, A. Khavandi ve Y. Kharazi, «Effects of Mixing the Steel and Carbon Fibers on the Friction and Wear Properties of a PMC Friction Material,» *App.l Compos. Mater.*, no. 17, pp. 151-158, 2010.
- [16] S. Şahin, İ. Özdemir ve B. S. Ünlü, «T/M Yöntemi ile Üretilmiş Al-SiCp Kompozitlerde Üretim Parametrelerinin Aşınma Davranışına Etkisi,» %1 içinde *3rd International Powder Metallurgy Conference*, Ankara, 2002.

- [17] S. H. Yetgin, M. Aydın ve A. Aksoy, «The Effect of the Mixer Type and Ratio of Reinforcement Particle on the Mechanical Properties of Nbc Reinforced Al Composite Material Produced Via Powder Metallurgy,» %1 içinde *EURO PM2005 Congress And Exhibition*, Prague, 2005.
- [18] H. A. Kuhn ve A. Lawley, *Powder Metallurgy Processing New Techniques and Analyses*, New York, San Fransisco.: Academic Press, 1978.
- [19] F. J. Washabaugh, «EMOCR 66 Ultra-Short Fibers for Asbestos-Free Friction Materials,» *SAE*, no. 8606630, 1986.
- [20] H. Youssef ve C. Comte, «Consolidation of High Performance Friction Materials,» *Elsevier Science Publishers*, 1989.
- [21] İ. Mutlu, «Investigation of tribological properties of brake pads by using rice straw and rice husk dust,» *Journal of Applied sciences*, cilt 9, no. 2, pp. 377-381, 2009.