

BALATA MALZEMELERİNDE KULLANILAN YAPISALLARIN BALATANIN TRİBOLOJİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

*Rukiye ERTAN**

*Nurettin YAVUZ**

Özet: Bu çalışmada, binek taşıtların fren sistemlerinde kullanılan balata malzemelerinin yapısal komponentlerinin deneysel analizi yapılmıştır. Kullanılan yapısal bakır tozu, kaya yünü ve aramid lifler olup bu malzemelerin balatanın tribolojik ve fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Toz halindeki karışıma farklı oranlarda yapısal malzemeler katılarak sabit üretim koşullarında üretilen numunelere sürtünme testleri Chase tipi sürtünme cihazında yapılmıştır. Bu testler sonucunda sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı, frenleme sayısına bağlı sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri elde edilmiştir ve numuneler birbiriyle karşılaştırılmıştır. Fiziksel özelliklerin kıyaslaması ise farklı oranlarda yapısal içeren balata numunelerinin yoğunluk, yüzey pürüzlülüğü ve sertlik değerleri ölçülerek yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan yapısal malzemelerin balatanın frenleme performansı açısından önemli etkilere sahip olduğu, uygun oranlarda kullanılması durumunda balatanın ömrünü artırdığı ve daha kontrollü ve güvenli frenleme sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fren Balatası, Sürtünme, Aşınma, Yapısal.

Effects of the Reinforcements Used in Brake Pad Materials on the Tribological and Physical Properties of the Brake Pad

Abstract: In this study, reinforcement components in brake pad materials used in brake systems of vehicles were analyzed experimentally. The reinforcements are consisted of copper powder, rock wool and aramid pulp and effect of these materials on the brake pad tribological and physical properties was investigated. The samples in which the reinforcements were added to the powdered mixture at the different proportions were manufactured at constant conditions and tested on the Chase type friction tester. The result of these tests, the coefficient of the friction related to the temperature, coefficient of the friction related to the braking number and wear rate were obtained and the samples were compared with each other. The density, surface roughness and hardness of the brake pad samples including reinforcements at the different proportions were measured for the comparison of the physical properties. From results, it was seen that the reinforcement materials have important effects on braking performance, the brake pad service life increases and more controlled and safe braking obtains in case of proper proportions using.

Key Words: Brake Pad, Friction, Wear, Reinforcements.

1. GİRİŞ

Bir fren sisteminde frenleme görevini yerine getiren temel eleman çifti balata ve disklerdir. Sistemin performansı dönen diske (veya kampanaya) karşı baskı uygulayan balata ile arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Motorlu taşıtlarda sistem arıza veya yetersizliğinden dolayı meydana gelen kazaların büyük bir kısmı fren sistemlerinden ve dolayısıyla güvenlik sınırları dışındaki sürtünmeden kaynaklanmaktadır. Fren sistemi farklı çalışma şartlarında (buzlu, ıslak veya kuru yollarda, boş veya tamamen dolu bir taşıtta, düz veya dönemeçli yollarda, yeni veya eski sürtünme elemanlarının kullanımında, ıslak veya kuru frenlerde, deneyimli veya yeni sürücü sürüşünde) güvenlik sınırlarını aşmadan görevini yerine getirmelidir. Bunun için fren sistemi içerisindeki sistemlerin birbirine uyumlu ve verimli çalışacak şekilde tasarlanmış olması gerekir.

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa.

Balata malzemeleri, disk malzemeleri ve ara yüzeydeki temas durumu hakkında yapılan bilimsel yayınların sayısı çok fazla olsa da, sistemin mikro-boyuttaki teması ve sürtünme mekanizmaları hakkındaki temel bilgiler günümüzde oldukça sınırlıdır. İki farklı malzeme ara yüzeyinde moleküler boyutta kimyasal ve mekaniksel değişimler meydana gelir ve oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir (Erikson ve diğ. 2001). Bu değişimler temel olarak balata malzemesinin kompozisyonu ve mikroyapısı tarafından kontrol edilmektedir. Bu bakımdan sürtünme malzemesi içindeki her bir bileşenin tek başına ve başka bileşenler ile bir araya gelmesi sürtünme özellikleri üzerinde birinci derecede öneme sahiptir (Österle ve diğ., 2007).

Bu çalışmada özellikle yapısal malzemelerin analiz edilmesinin sebebi bu malzemelerin fren balatasının mekaniksel dayanımını, sertliğini, termal kararlılığını, aşınma direncini ve sürtünme kararlılığının büyük oranda etkilemeleridir. Yapısal malzemeler öncelikle sürtünme malzemesi içindeki diğer bileşenleri kuvvetlendirmek (desteklemek) için kullanılırlar (Uyyuru ve diğ., 2006). Genellikle çelik yünü, bakır tozları, karbon, cam yünü, kaya yünü ve aramid lifler kullanılır ve çok nadiren farklı mineraller ve seramik lifler de kullanılabilir. Metal malzeme olarak bakır, çelik, demir, pirinç, bronz ve alüminyum gibi malzemeler lifler veya partiküller şeklinde sürtünme malzemesi içerisinde kullanılmaktadır (Jang ve diğ., 2004).

Günümüzde, çelik lifler sürtünme malzemesi endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü çelik lifler iyi bir aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda kararlı bir sürtünme etkisi üretir. Buna karşın, çelik lifler diskte aşınma ve kalınlık değişimine neden olurlar ve frenlerde vibrasyon ve gürültüye sebebiyet verirler. Çelik liflerin bir fren rotoruna karşı olan abrasif etkisi onların yüksek sertliği ve çelik-dökme demir arasındaki metalik adezyon sebebiyle ortaya çıkar. Bununla birlikte yapı içerisinde çelik lif oranının artmasıyla kesikli sürtünmeye olan eğilimi şiddetli bir şekilde arttırdığı gözlenmiştir (Jang ve diğ., 2001). Yoğunluğu düşük bileşenler ile çelik yününün birlikte kullanılması ile aşınma direncini arttırdığı gözlenmiştir. Çelik yününün disk-balata sürtünme ara yüzeyinde oluşturduğu demir içerikli sürtünme filmi sebebiyle aşınmayı azaltmada önemli bir rol oynar (Tang ve Lu, 2004). Bakır ve bakır alaşımları sürtünme ara yüzeyinde genelde termal dağılımı iyileştirmek için eklenir. Ayrıca bakır yüksek sıcaklıklarda ara yüzeyde bakır oksit oluşturarak sürtünme katsayısını düşük tutar. Bu yüzden, bakır veya bakır alaşımları, karşıt yüzeye karşı olan agresifliğinden sakınmak ve sürtünme değişimini kontrol etmek için eklenir. Alüminyum lifler sürtünme malzemesine alüminyum metal matrisli kompozit (Al-MMC) fren rotorları kullanıldığı zaman eklenir.

Jang ve diğ. (2004) sürtünme malzemesi içindeki metalik liflerin sürtünme karakteristikleri üzerindeki etkisini belirli bir aralıktaki kayma hızı için test etmişlerdir. Disk malzemesi olarak gri dökme demir ve balata malzemesi olarak üç farklı (Cu, çelik, Al) lif içeren sürtünme malzemesi kullanılmıştır. Bakır (Cu) lifleri içeren sürtünme malzemesinde kayma hızı arttıkça sürtünme katsayısı düşmüştür ve benzer durum çelik lifleri içeren malzeme için de geçerlidir. Diğer taraftan, Alüminyum (Al) lifler içeren sürtünme malzemesi kayma hızı ile çok küçük bir değişim göstermiştir.

Organik yapısal malzemelerden olan aramid lifler balatanın ısıl direncini ve sürtünme kararlılığını artırır. Aramid liflerin miktarı ile ısıl direnç doğru orantılı olarak artarken, sürtünme kararlılığı çok fazla değişmez (Kim ve Jang, 2000). Aramid lifler iyi bir doldurma özelliğinin yanı sıra ön şekillendirme prosesi için yeterli dayanımı sağlar. Lif doğrultusunda güçlü bir kovalent bağ ve enine doğrultuda da zayıf hidrojen bağına sahip olan kristal yapısı sebebiyle yüksek derecede anizotropik özellik sergilemektedir. Aramid lif oranı yüksek olan bir balata malzemesinin sürtünme filmi oluşturduğu aşınma ürünlerine bakıldığında partiküllerin büyük olduğu görülür (Kim ve diğ., 2001).

Düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemeler, daha iyi yalıtkanlık özellikleri sağlar. Kaya yünü, yanma olayında bozulmadan kalabilen iyi bir yalıtkanlık özelliğine sahiptir. Bu bakımdan, kaya yünü içinde bulunduğu malzeme kompozisyonunu ve diğer bileşenleri de yangından koruyabilme özelliğine sahiptir (Satapathy ve Bijwe, 2005). Günümüzde kaya yünü, bazı taş türlerinin eritilerek lif şekline dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. Liflere bağlayıcı eklenerek yün haline getirilir. Bağlayıcı malzeme 250°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmesine karşın, kaya yünü 1000°C'ye kadar ergimeden kalabilir. Bunun yanında, iyi ses absorbe etme ve darbe seslerini etkin bir şekilde yalıtma özelliğine sahiptir.

Bu çalışmada, fren balata malzemesinde kullanılan yapısal malzemelerin balatanın tribolojik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi deneysel olarak analiz edilmiş ve farklı oranlarda kullanılan yapısal malzemelerin etkisi karşılaştırılmıştır.

2. NUMUNE ÜRETİMİ VE TEST CİHAZLAR

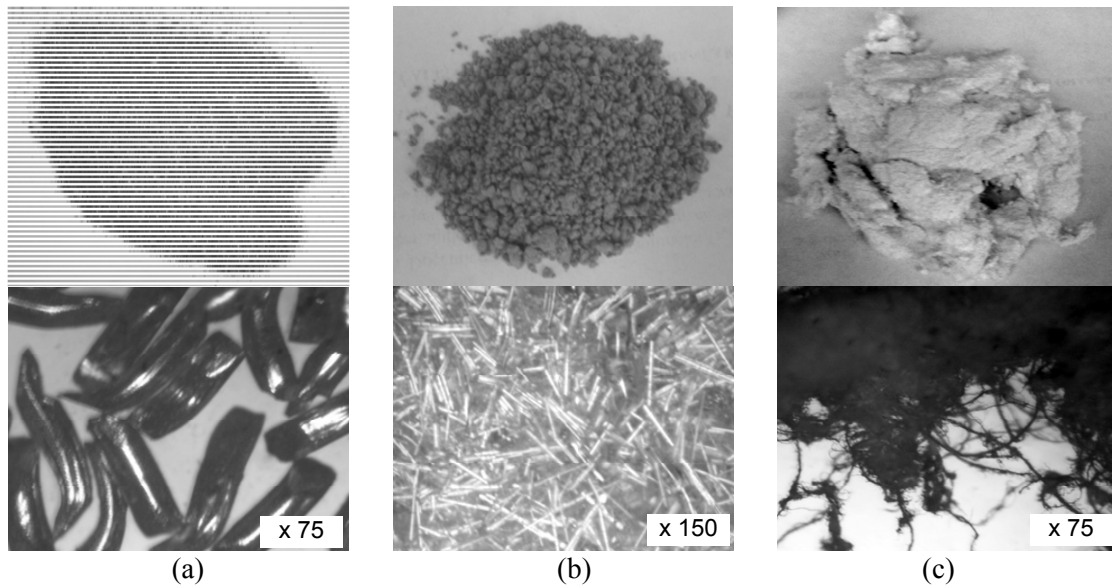
2.1. Numune Üretimi

Bu çalışmada kullanılan fren balata malzemesi yapısal malzemeler, bağlayıcılar, yağlayıcılar, abrazyon ve dolgu malzemeleri olmak üzere görev bakımından 5 farklı gruba ayrılmıştır. Bu malzemeler ve oranları % kütleli Tablo I'de verilmiştir. Diğer malzeme oranları sabit kalmak suretiyle sadece bakır tozu, kaya yünü ve aramid lif oranları değiştirilerek 7 farklı numune hazırlanmıştır. Bu numunelerde toplam yapısal oranı değişmemiş, etkisi araştırılan malzeme veya malzemelerin oranları değiştirilerek farklı kombinasyonlarda karışımlar hazırlanmıştır.

Tablo I. Balata kompozisyonunu oluşturan bileşenler ve oranları (% kütleli).

Malzemeler	% Ağırlıkça Oranları						
	BM1	BM2	BM3	BM4	BM5	BM6	BM7
Bakır tozu	10	2	2	6	6	2	4,664
Kaya yünü	10	18	10	14	10	14	12,664
Aramid lifleri	5	5	13	5	9	9	7,664
Fenolik reçine	8	8	8	8	8	8	8
Lastik tozu	2	2	2	2	2	2	2
Grafit tozu (doğal)	9	9	9	9	9	9	9
Coke	7	7	7	7	7	7	7
ZnS	4	4	4	4	4	4	4
ZrSiO ₄	6	6	6	6	6	6	6
Fe ₂ O ₃	4	4	4	4	4	4	4
Cashew tozu	5	5	5	5	5	5	5
BaSO ₄	15	15	15	15	15	15	15
CaCO ₃	7	7	7	7	7	7	7
Wollastonite	8	8	8	8	8	8	8
Toplam	100	100	100	100	100	100	100

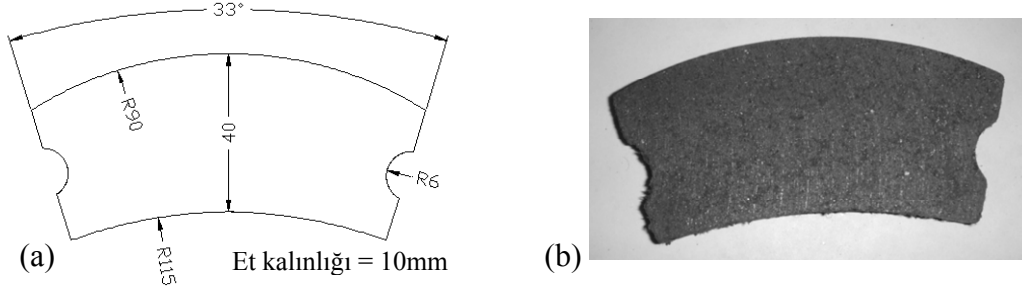
Bu çalışmada incelenen yapısal malzemelerin büyütmesiz fotoğrafları ve optik mikroskopta büyütülmüş fotoğrafları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1:

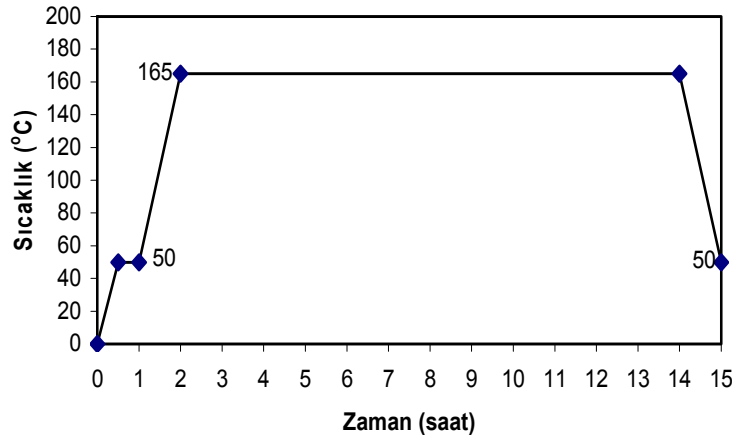
Çalışmada kullanılan yapısal malzemelerin büyütmesiz (üstteki) ve büyütülmüş (alttaki) fotoğrafları; (a) Bakır tozu, (b) Kaya yünü, (c) Aramid lif.

Fren balata malzemeleri toz metalurjisi yöntemi ile üretilmektedir. Balata malzemeleri de sırasıyla karıştırıcı, sıcak kalıplama presi ve sinterleme fırınından geçerek üretilmiştir. Kompozisyonu oluşturan malzemeler öncelikle laboratuvar tipi döner kollu (8'li) elektrikli mikserde 5 dak. süre ile karışım homojen bir hal alana dek karıştırılmıştır. Kullanılan mikser 36 kW güce sahip ve dönme hızı 2000 dev/dak'dır. Karıştırma işlemi takiben karışım malzemeleri preslerde bulunan 8'li kalıp boşluğuna eşit ağırlıklarda (100 g) dökülerek 7,5 MPa basınçta ve 150 °C sıcaklıkta 5 dakika süre ile kalıplanmıştır. Balata şeklini almış toz karışımın (Şekil 2) alt ve üst yüzeyleri taşlama makinasında temizlenip istenilen boyuta getirildikten sonra sinterleme fırınına verilmiştir.



Şekil 2:
Kalıplama sonucunda elde edilen balata numunesinin;
(a) Teknik resmi, (b) Fotoğraf görüntüsü.

Sinterlemede kullanılan fırın konveyörlü tipte bir sinterleme fırınıdır. Numuneler kalıplama işleminden sonra Şekil 3'de verilen sinterleme sıcaklığında ve süresinde sinterlenmiştir. Sinterleme fırınının giriş ve çıkış bölümlerinde balata malzemelerinin atmosferdeki oksijenden etkilenmesini önlemek amacıyla bütan gazı ile bir alev perdesi oluşturulmuştur. Ön sinterleme, sinterleme ve soğutma işlemlerini takiben balata malzemesi fırın içerisinde konveyörler üzerinde ilerleyerek sinterlenmiştir.



Şekil 3:
Sinterleme fırınında zamana bağlı sıcaklık değişimi.

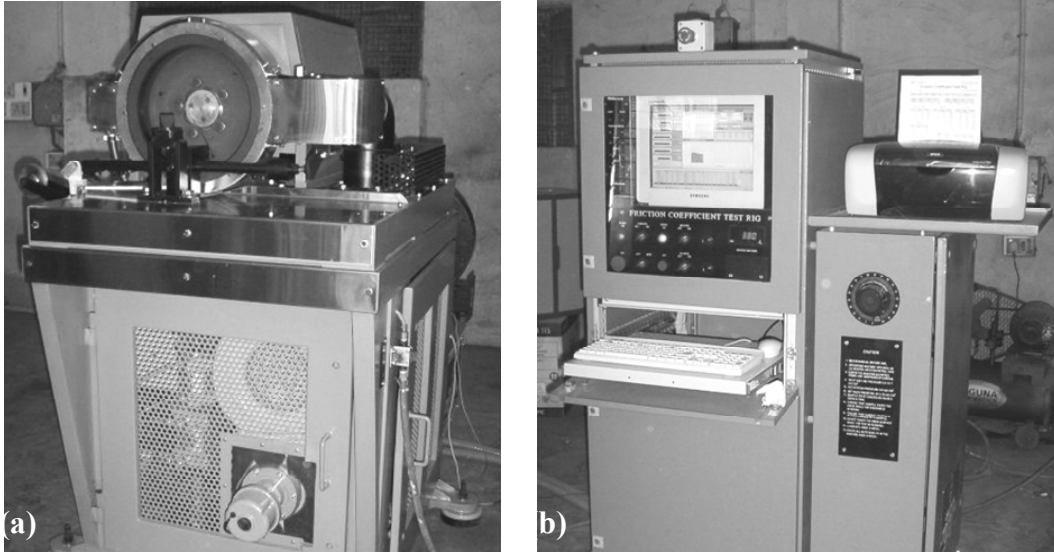
2.2. Test Cihazları

Çalışmada yapılan testler genel olarak iki ana kısma ayrılmaktadır. Bunlar; balatanın tribolojik özelliklerini değerlendirmek için yapılan sürtünme – aşınma testleri ve balatanın fiziksel özelliklerini değerlendirmek için yapılan yoğunluk, yüzey pürüzlülüğü ve sertlik testleridir. Bunların yanında balata malzemelerinin optik mikroskopta yüzey karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Sürtünme - Aşınma Testleri

Kullanılan sürtünme – aşınma test cihazı Pyramid Precision Engineering (2005 model) ürünü olan Chase Sürtünme cihazıdır. Bu test cihazı sürtünme malzemesini SAE J661 ve IS 2742

standartlarına göre test etmek için tasarlanmıştır. Sistem dönen bir kampanaya karşı uygulanan balata numunesinden oluşmaktadır (Şekil 4). Kampana malzemesi DDL-20 (gri dökme demir) olup kampananın maksimum dönme hızı 411 d/dak ve maksimum uygulanan basınç 6,5 kg/cm²'dir.



Şekil 4:
Sürtünme testlerinin gerçekleştirildiği Chase sürtünme cihazı;
(a) testin gerçekleştirildiği kısım, b) kontrol paneli.

Chase sürtünme-aşınma cihazı üzerinde yapılan testlerde balata numunesindeki aşınma oranı TSE 555 standardına göre (1) no'lu denklemdeki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır;

$$w = \frac{1}{2\pi R} \times \frac{A}{f_m n} \times \frac{m_1 - m_2}{\rho} \quad (1)$$

Burada; w özgül aşınma oranı (cm³/Nm), R dönen disk merkezi ile numune merkezi arasındaki uzaklık (m), A numunenin disk ile temas eden yüzey alanı (m²), n diskin dakikadaki devir sayısı, m_1 ve m_2 numunenin test öncesi ve sonrasındaki ortalama kütleleri (g), ρ balatanın yoğunluğu (g/cm³) ve f_m ortalama sürtünme kuvveti (N) aşağıdaki bağıntıya (2) göre hesaplanmaktadır;

$$f_m = \mu \times F \quad (2)$$

$$F = P \times A \quad (3)$$

Burada; μ balatanın ortalama sürtünme katsayısı, F balata yüzeyine gelen normal kuvvet (N), P frenleme hidrolik basıncıdır (MPa).

2.2.2. Mekanik Testler

Balata malzemesinin tribolojik testlerinin yanı sıra yoğunluk, yüzey pürüzlülüğü ve sertlik gibi mekanik testlerinin yapılması balatanın fiziksel özelliklerini belirleme açısından önemlidir. Bu çalışmada yoğunluk ölçümü Archimedean prensibine göre sürütünme testinden önce yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde Taylor-Hobson (Surtronic 3+) marka yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Pürüzlülük değeri 2,5 mm'lik (Lc) bir doğru boyunca iğne uçlu bir sensörün hareketiyle elde edilmektedir. Ölçülen değerlerin toleransı 0,2 µm'dir. Üretilen balata malzemelerinin yüzeyleri çok pürüzlü olduğundan yüzey pürüzlülüğü ölçümleri sürtünme testinden sonra aşınmış yüzey üzerinden alınmıştır. Ölçümler kayma yönüne dik yönde ve her bir numuneden 3 farklı bölge üzerinden yapılarak ortalaması alınmıştır. Yüzey sertliği için yumuşak ve poroziteli malzemelerin sertlik ölçümünde kullanılan Shore D sertlik ölçüm metodu kullanılarak CV Instruments Analogue Shore D Tester cihazı ile aşınma testinden sonra yapılmıştır.

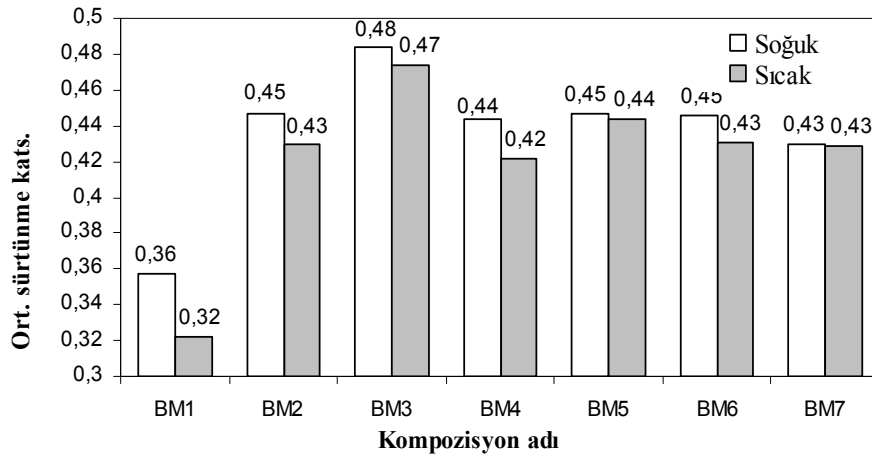
3. DENEY SONUÇLARI

Üretilen balata numuneleri gerekli kesim işlemlerinden sonra istenilen boyuta getirilip öncelikle yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Sürtünme testlerinden sonra da yüzey pürüzlülüğü ve sertlik ölçümleri yapılarak Tablo II’de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Yoğunluk genel olarak bakır oranıyla artış gösterirken (BM1, BM4 ve BM7), aramid lif oranıyla azalmıştır (BM3, BM5 ve BM7). Yüzey pürüzlülüğü ise balata içerisindeki lifli malzeme oranına bağlı olarak değişim göstermiştir. Kaya yünü ve aramid liflerin artışıyla yüzey pürüzlülüğünde artış gözlenmiştir (BM2, BM3, BM5 ve BM6). Sertlik değerleri bakır tozu oranına bağlı olarak artış göstermiştir. En düşük sertlik değerleri kaya yünü oranının yüksek olduğu numunelerde görülmüştür. Bakır tozu oranının yüksek olduğu BM1, BM5 ve BM7 numunelerinde en yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır.

Tablo II. Balata kompozisyonlarının fiziksel özellikleri.

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Sertlik (Shore D)
BM1	1,99	8,8	85
BM2	1,93	11,6	72
BM3	1,60	12,3	73
BM4	2,02	10,2	79
BM5	1,80	11,7	82
BM6	1,74	14,2	75
BM7	1,96	9,8	82

Balata malzemesinin bir fren diski ile beraber çalışması esnasında sürtünmenin etkisi ile ara yüzey sıcaklığı sürekli artış gösterir. Bu sıcaklığın etkisiyle balata malzemesinin yapısı ve sergilediği tribolojik özellikler de değişmektedir. Bu çalışmada, balataların sürtünme-aşınma test sonuçlarına göre belirli bir sıcaklığın üzerinde ölçülen sürtünme katsayıları sıcak, altındakiler de soğuk olarak isimlendirilmiştir. Buna göre 205 °C’nin altında ölçülen sürtünme katsayıları soğuk, üzerindeki ise sıcak olarak isimlendirilmiştir. Şekil 5’de soğuk ve sıcak sürtünme katsayılarının balata kompozisyonu türüne bağlı değişimi gösterilmiştir. Soğuk sürtünme katsayısı sıcak sürtünme katsayısına göre her zaman daha yüksek değerlere sahiptir. Çünkü 205 °C’nin altında balata-disk ara yüzeyindeki aşınma oranı yüzeyde sürtünme filmi oluşturamayacak kadar azdır (veya çok ince bir film meydana getirebilir) ve sürtünme filmi ara yüzeydeki temasın kesilmesinde ve sürtünme katsayısının düşmesinde büyük rol oynar. Bu yüzden yüksek sıcaklıklarda sürtünme katsayısının düşmesinin başta gelen sebebi, sürtünme filmidir. En yüksek ortalama soğuk ve sıcak sürtünme katsayıları BM3 balatasında elde edilmiştir. Buna karşın en düşük ortalama sürtünme katsayısı BM1 balatasında görülmektedir. Ayrıca bu balatanın ortalama sıcak sürtünme katsayısı 0,32 gibi düşük bir değerdir. Soğuk ve sıcak sürtünme katsayısı arasındaki fark ne kadar fazla ise balatanın sürtünme kararlılığı o kadar düşüktür.



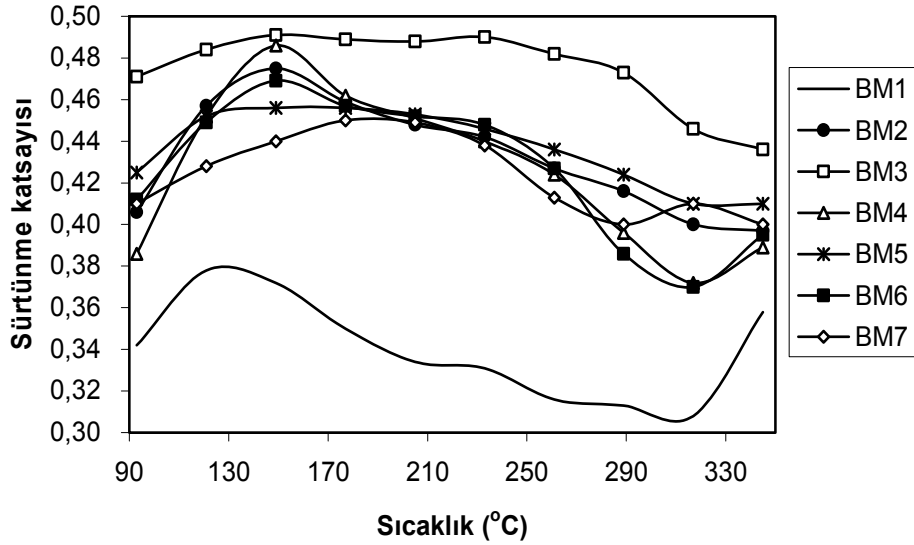
Şekil 5:

Sıcak ve soğuk ortalama sürtünme katsayılarının balata kompozisyonuna göre değişimi.

Güvenli bir sürüş için sürtünme katsayısının yüksek olmasının yanı sıra bu katsayının sürekli (kararlı) olması istenir. Yapılan testlerden 0,01'lik bir farkla en yüksek kararlılığa sahip balata malzemesinin BM7 olduğu görülür. Ancak bu balatanın ortalama sürtünme katsayısı değeri BM2, BM3, BM5 ve BM6'ya göre daha düşüktür.

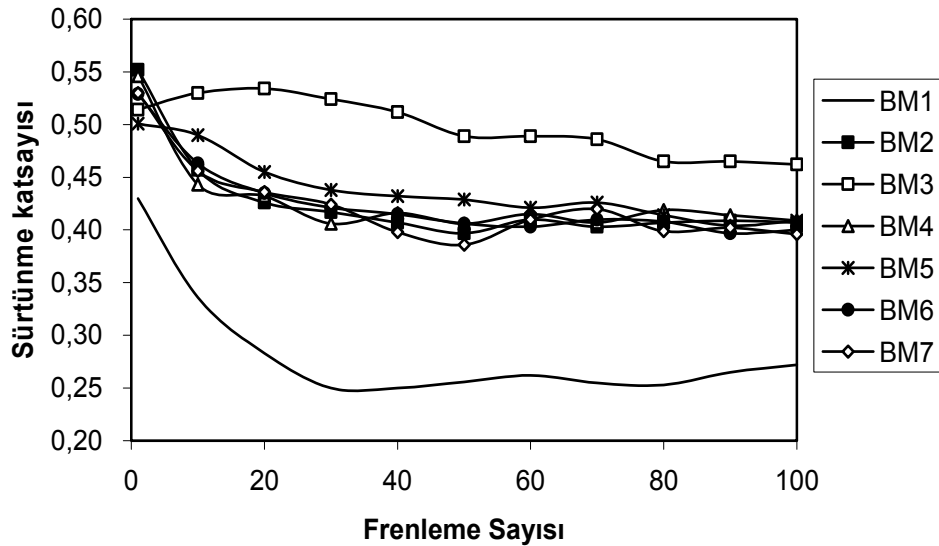
BM3 balatasında aramid lif oranı en yüksek değerinde iken BM1'de bakır tozu en yüksek, BM2'de ise kaya yünü en yüksek değerini alır. Dolayısıyla aramid lif oranının artmasıyla ortalama sürtünme katsayısı artmıştır, bakır tozu oranının artmasıyla ise azalmıştır genellemesi yapılabilir. Bakır oranının artmasıyla birlikte yüksek sıcaklıkta disk-balata ara yüzeyinde oluşan bakır oksit miktarı artmıştır. Bu sebeple sürtünme katsayısı düşmüştür (Jang ve diğ., 2003).

Sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Sürtünme katsayısındaki en kararsız değişimi BM1, BM2, BM4 ve BM6 sergilemiştir, en kararlı değişim ise BM5 ve BM7'de görülmüştür.



Şekil 6:
Yapısalarda sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

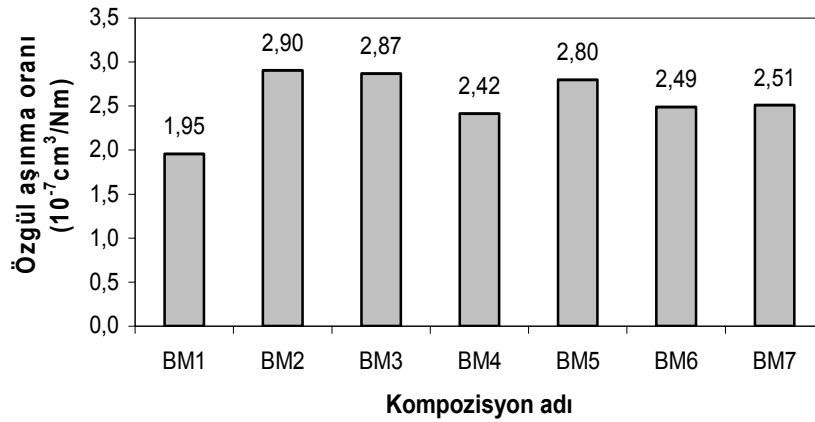
Frenleme sayısına bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi Şekil 7'de verilmiştir. En yüksek performansı BM3 balatası göstermiştir. BM1 en kötü performansa sahip olmuştur. Geri kalan diğer balataların performanslarının genel olarak aynı olduğu görülmüştür.



Şekil 7:
Yapısalarda frenleme sayısına bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

Bir fren sisteminde yer alan balata malzemesinin sergilediği sürtünme katsayısı değişimi, frenleme performansını değerlendirmek için yeterli değildir. Sürtünme katsayısı çok yüksek olsa bile ömrü az olan bir balatanın, maliyeti ve değiştirme süreleri önemli bir dezavantaj oluşturur. Bu bakımdan balata ömrünü belirleyen aşınma oranı da en az sürtünme katsayısı kadar önemli ve gereklidir. Her iki özellik birlikte değerlendirilip optimum performansı sağlayan balata malzemelerinin seçimine gidilmelidir.

Şekil 8’de test edilen balataların özgül aşınma oranları verilmiştir. Aşınma oranı en yüksek olan balata malzemesi, sürtünme katsayı değişimleri en yüksek ve kararlı olan BM3’tür. Buna karşın, en düşük aşınma oranı BM1’de görülmüştür. Bunun sebebi daha önce de açıklandığı gibi, bakır oranının artmasıyla birlikte yüksek sıcaklıkta disk-balata ara yüzeyinde oluşan bakır oksit miktarının artması ve disk-balata temasının engellenmesi olduğu düşünülmektedir. Kaya yünü oranının maksimum olduğu BM2 ise BM1 ve BM3’ün arasında, genelde yüksek bir aşınma oranına sahip olmuştur. BM6 ise BM4, BM5 ve BM7’ye göre çok fazla olmasa da düşük bir aşınma oranı sergilemiştir. Bu malzeme, bakır tozu en düşük oranda yer alırken kaya yünü ve aramid lifleri ortalama bir değerde kullanılmıştır.



Şekil 8:

Yapısal için kompozisyon türüne bağlı aşınma oranı değişimi.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada binek taşıtlarda kullanılan ve gri dökme demir ile eş çalışabilecek bir balata malzemesinin yapısal komponentlerinin tribolojik ve fiziksel özelliklere etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Balata malzemesi içerisinde aramid lif oranının izafi olarak artmasıyla yoğunlukta düşüş, yüzey pürüzlülüğünde artış, sertlikte düşüş, ortalama sıcak ve soğuk sürtünme katsayısında artış ve aşınma oranında artış gözlenmiştir.
2. Bakır oranının artmasıyla yoğunlukta artış, yüzey pürüzlülüğünde düşüş, sertlikte artış, ortalama sıcak ve soğuk sürtünme katsayısında düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi de yüksek sıcaklıkta disk-balata ara yüzeyinde oluşan bakır oksit miktarının artması ve temasın engellenmesidir. Böylece ortalama sürtünme katsayısının yanında aşınma oranında da düşüş gözlenmiştir.
3. Kaya yünü'nün yoğunluk üzerinde önemli bir etkisi olmamasına karşın, kaya yünü oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artış, sertlikte düşüş, ortalama sıcak ve soğuk sürtünme katsayısında artış, aşınma oranında bakır tozu kadar önemli bir düşüş sağlamamasına rağmen belirli oranlarda kullanımı tercih edilmiştir.
4. Bu çalışmada kullanılan balata malzemesi için tespit edilen optimum özellikleri (düşük aşınma oranı ve kararlı sürtünme katsayısı değişimi) sağlayan yapısal oranı tüm testler göz önünde bulundurularak BM4 balatasında elde edilmiştir. Bu kompozisyon %6 bakır, %14 kaya yünü ve % 5 oranında aramid lif içermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasında bizlerden yardımlarını esirgemeyen, Fren tek Otomotiv ve Balataçılık Sanayi A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Erikson, M., Lord, J., Jacobson S. (2001) Wear and contact conditions of brake pads: dynamical in situ studies of pad on glass, *Wear*, 249, 272–278.
2. Jang, H., Kim, S.J. (2000) The effects of antimony trisulfide Sb_2S_3 and zirconium silicate $ZrSiO_4$ in the automotive brake friction material on friction characteristics, *Wear*, 239, 229–236.
3. Jang, H., Ko, K., Kim, S.J., Basch, R.H., Fash, J.W. (2004) The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials, *Wear*, 256(3-4), 406-414.
4. Jang, H., Lee, J.S., Fash, J.W. (2001) Compositional effects of the brake friction material on creep groan phenomena, *Wear*, 251, 1477-1483.
5. Kim, S.J., Cho, M.H., Lim, D.-S., Jang, H. (2001) Synergistic effects of aramid pulp and potassium titanate whiskers in the automotive friction material, *Wear*, 251, 1484-1491.
6. Kim, S.J., Jang, H. (2000) Friction and wear of friction materials containing two different phenolic resins reinforced with aramid pulp, *Tribology International*, 33, 477-84.
7. Österle, W., Kloß, H., Urban, I., Dimitriev A.I. (2007) Towards a better understanding of brake friction materials, *Wear*, 263(7-12), 1189-1201.
8. Satapathy, B.K., Bijwe, J. (2005) Fade and recovery behavior of non-asbestos organic (NAO) composite friction materials based on combinations of rock fibers and organic fibers, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 24, 563–577.
9. Tang, C.-F., Lu, Y. (2004) Combinatorial Screening of Ingredients for Steel Wool Based Semimetallic and Aramid Pulp Based Nonasbestos Organic Brake Materials, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23(1), 51-63.
10. TSE 555 (1992) Otomotiv Fren Balata Malzemeleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 6-33.
11. Uyyuru, R.K., Surappa, M.K., Brusethaug, S. (2006) Effect of reinforcement volume fraction and size distribution on the tribological behavior of Al-composite/brake pad tribo-couple, *Wear*, 260 (11-12), 1248-1255.

Makale 06.11.2009 tarihinde alınmış, 05.01.2010 tarihinde düzeltilmiş, 08.01.2010 tarihinde kabul edilmiştir. İletişim Yazarı: R. Ertan (rukiye@uludag.edu.tr).