

CAM ELYAF TAKVİYELİ DİSK FREN BALATALARININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İbrahim MUTLU* Cengiz ÖNER**

* Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş M.Y.O., 46500, Kahramanmaraş
** Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 23100, Elazığ

ÖZET

Otomotiv fren balatalarında temel katkı maddesi olarak asbest kullanılır. Bu çalışmada asbestin çevre kirliliği ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak amacıyla asbestsiz fren balatası üretilmiştir. Frenleme sırasında sürtünme nedeniyle fren balataları aşırı ısınmaktadır. Aşırı sıcaklık nedeniyle balataların frenleme performansı değişebilmekte veya balatalar mekanik deformasyona uğramaktadır. Bir fren balatasının temel özellikleri, standartlara uygun aşınma direnci, sürtünme katsayısı ve ekonomik olmasıdır.

Asbeste alternatif fiberlerden olan cam elyaf kullanılarak üretilen fren balatalarının özelliklerini belirlemek amacıyla Türk Standartlarında istenilen deneyleri yapabilmek için özel test düzeneği hazırlanmıştır. Bu test düzeneğinde sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Balataların üretim aşamasında kullanılan yöntemin balata performansı üzerinde oldukça etkili olduğu anlaşılmıştır. Özellikle pişirme sonrası balataların fırınlanması halinde sürtünme katsayısının daha da yükseldiği gözlenmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldı ve aralarındaki uyumun çok iyi olduğu görüldü.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Fren Balatası, Fren Sürtünme Malzemeleri, Sürtünme

ABSTRACT

Asbestos is usually, used in the automotive brake linings as a basic component. In this study, in order to decrease the negative effect of the asbestos on the environmental pollution and human health, non-asbestos brake lining is manufactured. Brake lining extremely warms up during braking due to friction. The braking performance of braking lining has been changeable or braking lining has been undergone to mechanical deformation due to excessive temperature. The essential properties of a brake lining must be standard value of wear resistant, the friction coefficient and economical.

The special test equipment have been prepared to make experiments wanted by Turkish Standard Institutes to determine the properties of brake lining which is produced by using glass fiber. This type of brake lining is alternative to the brake lining with asbestos. The wear tests and the friction coefficient change experiments with temperature have been studied by this prepared equipment. The important of method used during the production of brake lining is clearly understood the effect on the performance of the brake lining. Especially, friction coefficient has increased in the brake lining with the baked after cook. From the results of these experiments are compared and it is seen that the agreement between all of them are better.

Keywords: Brake Lining, Brake Friction Materials, Friction, Wear

1. GİRİŞ

Sürtünme malzemeleri son derece önemli malzemelerdir. Literatürde sürtünmeye dayanıklı malzemeler hakkında geniş bilgiye yer verilmekle birlikte sürtünme malzemeleri konusunda çok az kaynak vardır [1]. Bunun nedeni kısmen çok bileşenli malzemelerin tribolojik mekanizmalarının karmaşık olmasına bağlanabilir. Araştırmalar, mekanizmanın anlaşılmasından çok kompozit formülasyonu ve değerlendirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır [2].

Fren balataları yapımında elyaf malzeme olarak en çok asbest kullanılmaktadır. Ancak asbestin çevre kirliliği ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle günümüzde asbest özelliklerini sağlayan komponent malzemelerin araştırılması güncelliğini korumaktadır. Bilindiği gibi elyaf malzemeler sürtünme katsayısı üzerinde oldukça etkili olup taşıt emniyeti bu değerle doğrudan ilgilidir [3].

Balata üretimi ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda genellikle balata bir kompozit malzeme olarak ele alınmış ve bütün katkıları içeren balata bileşimi yerine çok çeşitli elyaf matris bileşimleri incelenmiştir. Bir balatanın bileşiminde bulunması gereken bütün katkılarla yapılan çalışmaların sonuçları ticari önem taşıdığından genellikle yayınlanmayı patent alma yolu seçilmektedir [2].

Asbestsiz sürtünme malzemelerinde ana yapının mukavemetini arttırmak amacı ile %10-15 oranında cam elyafına yer verilmektedir. Ayrıca cam elyafın ısı iletiminin az olması asbest liflerine iyi bir alternatif olması ve fleksibl özelliğinden dolayı sürtünme malzemelerinde kullanılabilir yapıya sahiptir [4,5]. Cam elyafı, genellikle 1500-1550 °C sıcaklıkta eritilmiş cam karışımının basınçlı hava ile sıkıştırılması sonucu özel olarak yapılmış bölmelerden aşağı akıtılarak elde edilir [4,6]. Bu işlem sırasında dolamit ve alümina katılarak istenilen fiziksel özelliklerde, çekilerek, çekim hızına bağlı 10-15 µm arası kalınlıklara sahip elyaflar elde edilir. Bu akan sıvı cama hava verilererek sıvı camın soğuması ve lifin elde edilmesi sağlanır. Liflerin yoğunluğu 2,5-2,54 gr/cm³ arasında değişir. Ticari amaçlı elyaflar hasır şeklinde örülerek yalıtım malzemesi olarak veya bağlayıcılarla birleştirilerek değişik amaçlar için kullanılır [4]. Fenolik bağlayıcı balata üretiminde cam elyaf takviyesi için "E" camı elyafından "PH2" kırılmış demetleri geliştirilmiştir. Yüksek integrite, kolay akma, iyi işlenebilirlik, iyi mekanik dayanım özelliklerine sahip olup, silan esaslı bağlayıcısı, fenolik reçineler ile uyumludur. PH2 kırılmış demetleri TS-EN-150 9002' ye göre üretilmektedir. Kırma boyu 3- 4,75 mm, elyaf çapı 13µm nem miktarı maksimum 0.07'dir [7].

Tablo 1. E-Camı içeriği (% kütleli) [9]

SiO ₂	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O , K ₂ O	Ba ₂ O ₃
52,4	14,4	17,2	4,6	0,8	10,6

Cam elyafın kullanıldığı balata kompozisyonlarında ön şekil verme aşamasında malzemelerin kuru olmasından dolayı problemler olduğu, bunu gidermek için harmanlama sonrasında %3 alkollü su püskürtülebileceği belirtilmiştir [4]. Cam elyafının takviye elemanı olarak kullanıldığı balatalarda işletme şartlarına uyum gösterebildiği fakat uygulamalarda ses çıkardığı gözlenmiştir. Balataların ses yapma özellikleri, balata kompozisyonu ve üretim proses özellikleri ile yakından ilgilidir. Literatürde Phenol-formaldehit reçine oranının azaltılması ile iyileştirilebileceği belirtilmiştir [8]. Asbestsiz balata üretiminde kullanılan E camının kompozisyonları Tablo 1'de verilmiştir [9]. Cam elyafın fiziksel, mekanik ve termal özellikleri Tablo 2'de verilmiştir [10].

Tablo 2. E-Camların fiziksel, mekanik ve termal özellikleri [10]

Fiziksel özellikler	
Yoğunluk	2,54
Mohs sertlik	6,5
Mekanik özellikler	
Çekme mukavemeti (MPa)	
22°C sıcaklıkta	3448
371°C sıcaklıkta	2620
538°C sıcaklıkta	1724
Elastisite modülü (GPa)	72,4
Kopma uzaması (%)	4,8
Termal özellikler	
Lineer ısı genleşme katsayısı (m/°C)x10 ⁻⁶	5
Isı iletkenlik katsayısı (W/m ² K)	10,4
Özgül ısı (kJ/kgK)	0,197
Yumuşama sıcaklığı (°C)	841

Her kompozitte öğütölmüş cam elyafın uzunluğu, çapı ve yüzey şartları farklıdır. Elyafın yüzey şartlarını sadece çekme dayanımını artırdığı eğilme dayanımının ise artan elyaf boyu ile arttığı, azalan elyaf çapı ile azaldığı tespit edilmiştir. Eğilme modülünün artan elyaf çapı ile arttığı elastiklik modülünün ise elyaf boyu, çapı ve yüzey şartlarına bağlı olmadığı görölmüştür. Kompozitlerin sürtünme katsayılarını 0,21 ile 0,33 arasında olduğu ve bu miktarın fren balataları için uygun olmadığı belirlenmiştir. Mekanik özelliklerin sürtünme özellikleriyle doğrudan ilişkili olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmalar cam elyafın sürtünme performansı üzerindeki etkisinin anlaşılmasına yardımcı olmuştur. Cam elyaf takviyeli fenolik kompozitlerin incelenmesinden elde edilen sonuçlar şunlardır [11,12,13].

- Artan yük, kayma hızı ve sıcaklıkla, sürtünme katsayısı μ ve özgül aşınma miktarı azalmıştır. Özgül aşınma miktarı ise sıcaklıkla artmıştır. Mikroskopik incelemeler reçinelerin yüksek sıcaklıkta ayrıştığını elyaf-matris bağının zayıfladığını göstermiştir. Bu suretle matristen elyaf çekilmesi özgül aşınmayı artırmıştır.
- Fren zayıflama özellikleri numunenin önceki kullanım şartlarıyla ilgilidir. Aşınmış çelik veya cam elyafların uçlarında toplanan; dolgu maddesi, cam elyaf, demir ve karbon içeren film fren zayıflamasını artırır. Bu filmin zımparalanarak kaldırılması fren zayıflamasını azaltmıştır.
- Yüksek ve kararsız μ değeri ve kötü fren zayıflama dayanımı bu kompozitin sürtünme malzemesi olarak kullanılmasını engellemektedir.

Yapılan çalışmalarda, asbest elyaf takviyeli numunelerde bağlayıcı reçine, demir tozu, asbest, grafit, bakır, alüminyum silika vd. kullanılmıştır [14]. Deneyleer dinamometre ve sürekli aşınma deneyleri şeklinde yapılmıştır. Bütün numunelerde artan ilk hızla ortalama sürtünme katsayısının azaldığı, frenleme süresinin arttığı görölmüştür. Yüzey basıncı arttıkça frenleme süresi kısalmaktadır. Deneme aralığı (0,1-0,4 MPa basınç aralığı) sürekli aşınma deneylerinde artan yüzey basıncıyla sürtünme katsayısında önce biraz artma daha sonra düşme olduğu görölmüştür. Artan kayma hızıyla sürtünme katsayısında bir düşme olmaktadır. Yüzey basıncıyla frenleme momenti ve kayma hızı arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve artan yüzey basıncı ve kayma hızıyla frenleme momentinin arttığı görölmüştür.

2. MATERYAL VE METOD

Üretilen numuneler fenolik bağlayıcı balatalar olup, üretim metoduna göre presleme yoluyla üretilmiş balata grubuna girmektedir. Bu balataların üretiminde asbest içermeyen takviye malzemeleri ve belirlenen diğer bileşenler yüksek sıcaklıkta termal bozulmayı önleyecek ve balatanın mekanik ve tribolojik özellikleri güçlendirecek şekilde seçilmiştir. Elyaf katkı olarak cam elyafı kullanılmıştır. Cam elyafın komponent içerisindeki % oranları değiştirilerek standartlara uygun sürtünme katsayısı, termomekanik özellikler ve uygun aşınma direncinin sağlanmasına çalışılmıştır. Üretilen numunelerde sürtünme katsayısını ve aşınma direncini artırmak için seramik katkı olarak SiC kullanılmıştır. Kullanılan SiC, 32 μm anma boyutu tane büyüklüğüne sahiptir. Bu numunelerde maliyet dikkate alınarak cam elyaf oranının düşürülmesi yönünde değişiklik yapılması düşünülmüştür. Bu sebeple cam elyaf oranının orta değerlere çekildiği %10 fenolik reçine %10 sıvı reçinenin kullanıldığı %18 pik tozu katkılı farklı bir numune üretilmiştir. Buna ilave olarak cam elyafı oranının %2'ye indirilerek pik tozu oranının %35'e çıkarıldığı diğer bir numune daha üretilerek frenleme özellikleri incelenmiştir. Bu numuneler elyaf takviye oranının azaltılmasına rağmen olumlu sonuçlar vermiştir.

2.1. Balatanın Üretimi

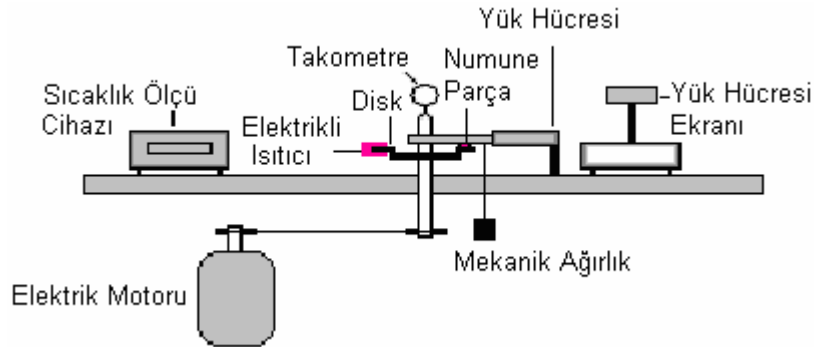
Üretim esnasında malzeme oranları belirlemede hesaplama kolaylığı için kütle oran esas alınmıştır. Belirlenen oranlarda hazırlanan karışımın homojenliğini sağlamak için yüksek hızlı mikserde karıştırılmıştır. Malzemenin komprime aşamasında dağılmaması için karıştırma % 3 alkollü su, toplam karışım kütle oranının % 4'ü oranında pülverize olarak karışıma püskürtölmüştür. 9810 kPa (100 kg/cm²) basınçta komprimasyonu (ön şekillendirme) yapılan karışım 150 °C sıcaklıkta 14715 kPa (150 kg/cm²) basınçtaki pişirme kalıbında ilk 10 dakikada 30 saniye aralıkla havalandırılması yapılarak 20 dakika pişirilmiştir. Üretilen numunelerin bir kısmı 24 saat süre ile 100 °C'de normal atmosfer şartları altında fırınlama işlemi yapılmıştır. Söz konusu fırınlama işlemine tabii tutulmuş numuneler CF112, BG442 kodlu numunelerdir.

Tablo 3. Numunelerin karışımdaki malzeme oranları (kütlesel)

Elementler	CF11	CF112	BG44	BG442	FF55
Cam Elyaf	25	25	10	10	2
Pik Tozu	15	15	18	18	35
Grafit	7	7	7	7	7
SiC	3	3	3	3	3
Cashew	11	11	11	11	11
Barit	5	5	15	15	5
F.Reçine	21	21	10	10	21
Sıvı Reçine	-	-	10	10	-
Tanen	-	-	3	3	3
Diğerleri	13	13	13	13	13

2.2. Deney Düzenegi

Deney düzeneginde, elektrik motorundan alınan dairesel hareket yatay konumda olan diske aktarılmıştır. Diskin bağlandığı mile yataklandırılan kol üzerine, numune parçanın yerleşebilmesi için açılan yuvaya numune balata yerleştirilmiş ve numune balatanın yerleştirildiği kol üzerine ağırlık asılmak suretiyle mekanik yük uygulanmıştır. Kol'un dayandığı loadcell'den sürtünme kuvveti alınmıştır. Balatanın sürtünme yüzeyine 2 mm derinlikte, numune parçanın ağırlık merkezine karşı gelecek noktaya delik açılarak termokupl yerleştirilmiştir. Deneylerin TS 555 ve TS 9076'da belirtilen şartlara uygun olarak yapılabilmesi için deney düzenegine bir takım aparatlar ve ölçü aletleri konulmuştur [15].



Şekil 1. Deney düzeneginin genel görünüşü

2.3. Deney Şartları

Deney aşamasında Türk Standartları esas alınmıştır. Numune malzemeler, alıştırma aşamasında 20-45 dakika değişen sürelerde yüzeyin % 95'i temas edinceye kadar 700 kPa basınç altında çalıştırılmıştır. Alınan değerler, TS'de belirtildiği gibi aynı karışım özelliklerine sahip üretilen beş farklı numuneden alınan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. TS 9076'da, fren balataları için sürtünme katsayısının belirlenmesinde uygulanacak deney şartları açıklanmıştır. Bunlar;

Sıcaklık Grubu A: 350 °C'ye kadar sınırlanmış sıcaklıkta ve 1050 kPa basınçta yapılan aşınma deneyi,

Sıcaklık Grubu B: 400 °C'ye kadar sınırlanmış sıcaklıkta ve 3000 kPa basınçta yapılan aşınma deneyi, deney programları belirtilmiştir. Ayrıca soğuk ve sıcak sürtünme katsayısı değerleri de hesaplanmıştır.

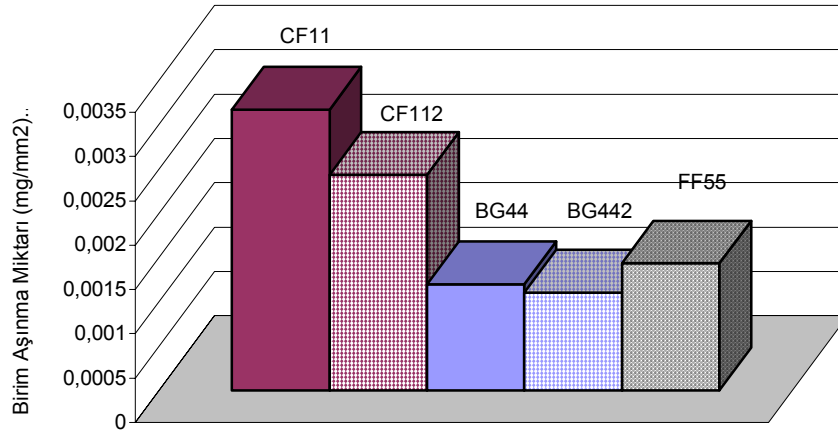
Soğuk sürtünme katsayısı: Aşınma deneyi esnasında sıcaklık grubu A şartlarında 100,150, 200 °C'de ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

Sıcak sürtünme katsayısı: Sıcaklık grubu A şartlarında 300–350 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyi esnasında, sıcaklık grubu B şartlarında 350–400 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyi esnasında ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamasıdır [16].

Deneyisel çalışmalar söz konusu şartlar altında 6 m/s hızda 50 °C sıcaklıktan 400 °C sıcaklığa kadar 50 °C aralıkla kaydedilmiştir. Diskin ısınması gerektiğinde diskin yüzeyine yakın yerleştirilen sıcaklık ayarlı elektrikli ısıtıcı işleme konmuştur. Aşınma deneyinde 1050 kPa basınç altında 675 d/d'da bir saat süre ile 23400 m yol alması sağlanmıştır. Bu deney sonunda her bir numune balata hassas terazide tartılarak kütle kaybı bulunmuştur. Bulunan kütle kaybının sürtünme yüzey alanına bölümüyle birim alana düşen aşınma miktarı belirlenmiştir. Özgül aşınma değerleri TS 9076'da verilen kütle kaybını esas alan formül ile hesaplanarak tespit edilmiştir. Deneyde piyasadan temin edilen Tofaş marka otomobil ön disk'i kullanılmıştır. Disk, numune değişimlerinde 320 numara zımpara ile zımparalanmıştır. Deney aşamasındaki numunenin sıcaklığı, sürtünme yüzeyinin 2 mm derinliğinde, yüzey orta noktasına denk gelecek şekilde yerleştirilen termokupl'un bağlı olduğu cihazdan okunmuştur. Ayrıca sürtünme ve aşınma deneyleri sonrasında numune balataların mikro yapısını incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışması yapılmıştır.

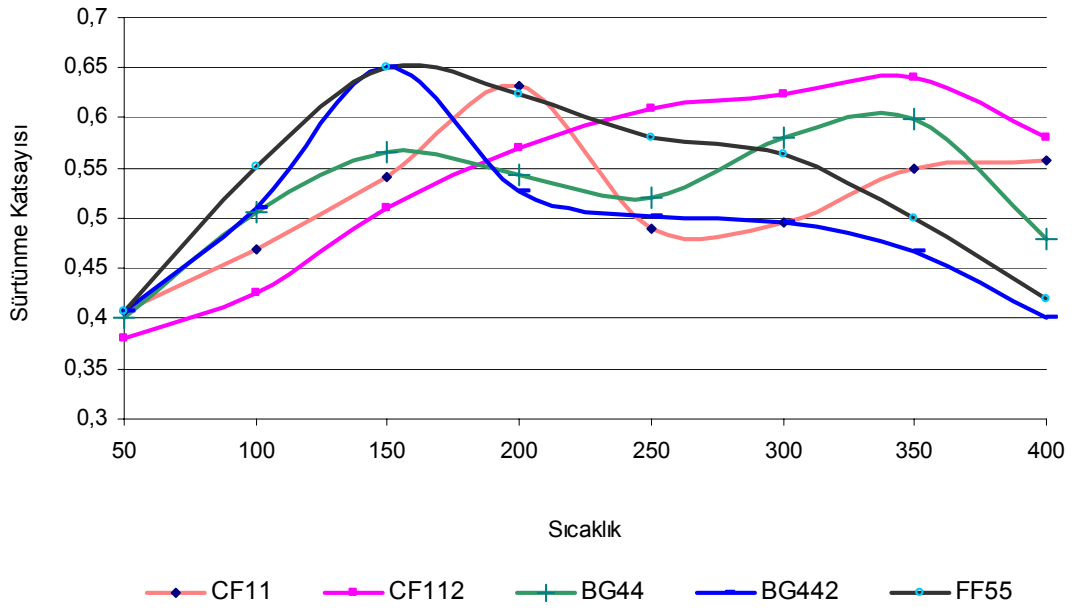
3. BULGULAR

Deneyler sırasında elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktararak grafikleri çizdirildi. Şekil 2'de görüldüğü gibi birim alana düşen aşınma miktarında BG kodlu olan numuneler daha az aşınmıştır. CF kodlu numuneler daha fazla aşınmıştır. FF kodlu numuneler orta aşınmıştır. Ayrıca fırınlanmış olan numunelerde fırınlanmamış olanlara göre daha az aşınmıştır.

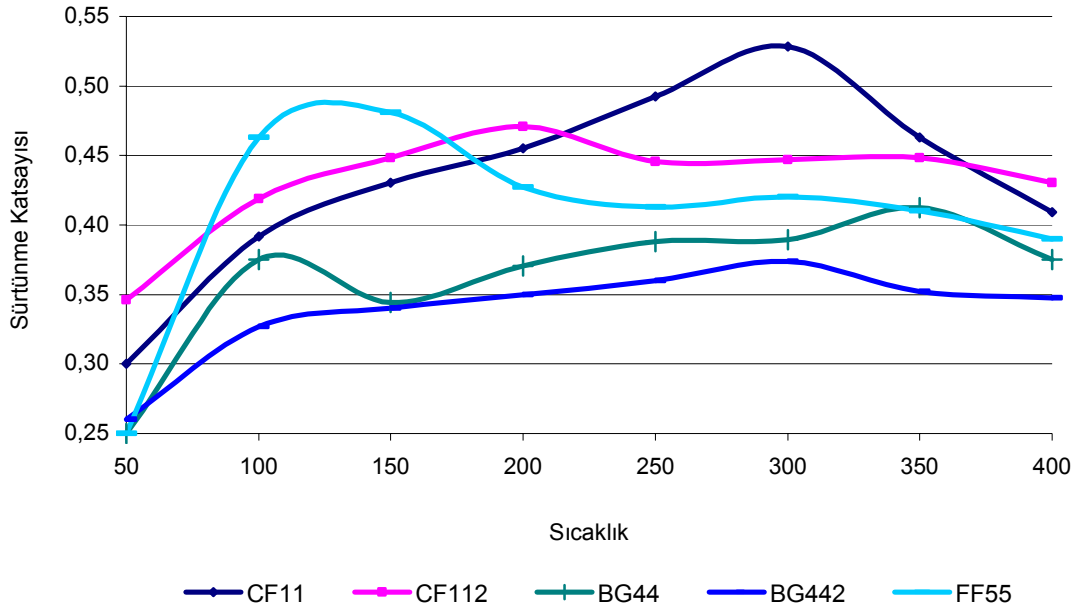


Şekil 2. Cam Elyaf katkılı numunelerde birim aşınma miktarı (mg/mm²)

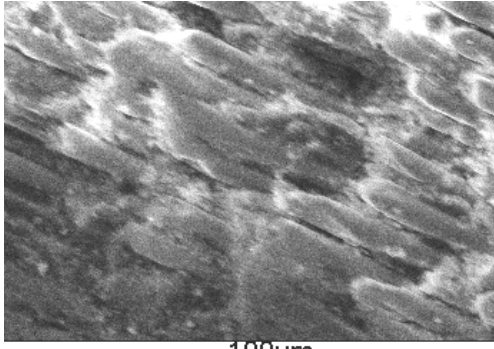
1050 kPa ve 3000 kPa basınç altında sürtünme katsayılarının belirlenmesinde 50 °C 'den başlatılarak 400 °C ye kadar 50 °C aralıklarla alınan değerler grafiğe aktarılmıştır. Bu grafikler incelendiğinde fırınlanmış olan numuneler daha az dalgalı sürtünme katsayısı verdiği görülmektedir. CF112 kodlu fırınlanmış numunelerin daha yüksek ve stabil sürtünme katsayısı verdiği gözlemlenmiştir. CF112 kodlu numunenin 1050 kPa basınç altında sıcaklık artışı ile sürtünme katsayısındaki yükselme daha fazla olduğu görülmektedir. Söz konusu numunenin fade başlangıç sıcaklığı 350 °C civarındadır. 1050 kPa ve 3000 kPa basınç altında sürtünme katsayı grafikleri Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 3. Cam elyaf takviyeli numunelerin 1050 kPa basınçta sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi grafiği

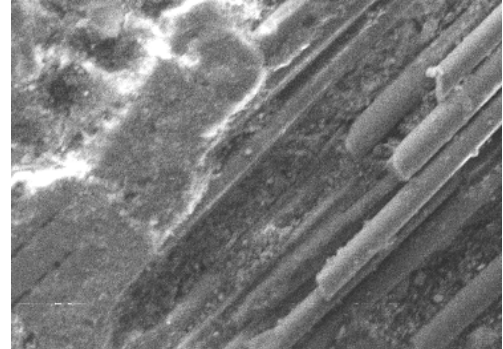


Şekil 4. Cam elyaf takviyeli numunelerin 3000 kPa basınçta sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi grafiği



MAG = 200 X 100µm
EHT = 20.00 kV

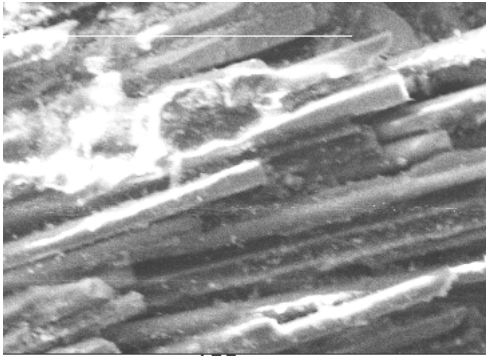
(a)



MAG = 200 X 100µm
EHT = 20.00 kV

(b)

Şekil 5. CF kodlu numunenin mikro yapı resimleri a) CF11 normal b) CF112 fırınlanmış



MAG = 200 X 100µm
EHT = 20.00 kV

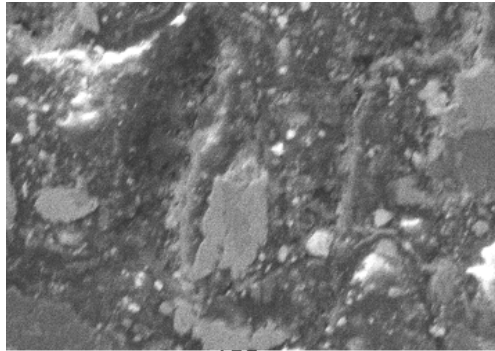
(a)



MAG = 200 X 100µm
EHT = 20.00 kV

(b)

Şekil 6. BG kodlu numunenin mikro yapı resimleri a) BG44 normal b) BG442 fırınlanmış



MAG = 200 X 100µm
EHT = 20.00 kV

Şekil 7. FF55 kodlu numunenin mikro yapı resmi

4- SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar, asbetsiz otomotiv fren balatası gelişiminde aşınmaya karşı direnç oluşturmada ve sürtünme katsayısının düzgünleşmesinde cam elyaf kullanılabileceğini göstermiştir. Cam elyafın kolay

temin edilebilir olması dikkate alınmalıdır. Ayrıca üretilen numunelere fırınlama işlemi yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

CF kodlu numunelerde cam elyaf %25 oranında kullanılmıştır. Oran olarak diğer cam elyaf katkılarına göre yüksek olması maliyete ek yük getirmektedir. Cam elyaf, BG kodlu numunelerde %10 ve FF kodlu numunede %2 kullanılmıştır. Olumlu sonuç veren BG ve FF kodlu numunelerde cam elyaf oranının düşürülmesi, cam elyafın maliyete etkisini daha da azaltılmıştır.

Balata bileşenleri karıştırma sırasında cam elyafın yeterince homojen dağılmadığı, kompozit içerisinde düzensiz bir şekilde toplanmalar olduğu SEM fotoğraflarında görülmektedir.

Harmanlanmış komprime balatanın dağılmadan rahat bir şekilde taşınabilmesi için literatürde %3 alkollü su ile nemlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir [4,17]. İlk üretilen numunelerin pişirilme sonrası yapılan kontrollerde, ara tabakalarda sıkışan gazların tepkisi sonucu balata yapısında patlaklar oluşmuştur. Ayrıca numune iç yapısında minik boşlukların olduğu SEM resimlerinde görülmektedir. Düzgün iç yapı oluşturma amacıyla, pişirme sırasında reaksiyon sonucu oluşan gazların balata bünyesinden atılması için havalandırma sayısı artırılmıştır.

KAYNAKLAR

1. BIJWE, J., "Composites As A Friction Material: Recent Developments In Non- Asbestos Fiber Reinforced Friction Materials-A Review", **Polimer Composites**, 18, 3, 378-396, 1997.
2. DÖNMEZ, A.G., "Asbest Dışı Elyaflarla Üretilen Balata Malzemelerinin Özelliklerinin İncelenmesi", **Doktora tezi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.
3. GEMALMAYAN, N., "Ankara'da Pilot Bölge Seçilen Kızılay Kavşağında Taşıtların Fren sistemlerinden Atılan Tozlarda Asbest Analizi ve Sonuçları", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi**, s.79-80, Ankara, 1987.
4. GEMALMAYAN, N., "Sürtünme malzemelerinin özelliklerinin deneysel incelenmesi", **Doktora Tezi**, Gazi Üniversitesi Müh. Mimar. Fak., Ankara, 1984.
5. KATALOG, "ABEX", **Friction Products Division**, Michigan USA 1983.
6. WELCH, P.A. and A.F., "The Development of Mineral Wool From Florida Minerals", Greaves-Walker, **Fla. Eng. and Ind. Exp.** Sta. Bull. 59, 1953.
7. **ŞİŞECAM A.Ş.**, "Cam elyaf", camelyaf@sisecam.com.tr
8. ECKERT, A., BETHKE, H., "Neue Erkenntnisse zur Asbestsubstitution in Reibbelagen" (Recent Development and Results in the Substitution of Asbestos in Friction Materials), **Automobiltechnische Zeitschrift**, 89:145-147, 150-152, 1987.
9. HULL, D., "An Introduction to Composite Materials", **Cambridge University Press**, New York, 1987.
10. KNOX, C. E., "Fiberglass Reinforcement", **Handbook of Composites**, Van Nostrand Reinhold Company. 136-159, 1982.
11. GOPAL, P., DHARANI, L. R., BLUM, F. D., "Friction And Wear Characteristics of A Glass-Fiber-Reinforced Phenolic Friction Material", **Wear**, 174, pp. 119-127, 1994.
12. DHARANI, L.R., GOPAL, P., BLUM, F.D., "Load, Speed And Temperature Sensitivities of A Carbon-Fiber-Reinforced Phenolic Friction Material", **Wear**, 181-183, 913-921, 1995.
13. DHARANI, L.R., GOPAL, P. F., BLUM, D., "Hybrid Phenolic Friction Composites Containing Kevlar(R) Pulp: Part I. Enhancement Of Friction And Wear Performance", **Wear**, 193, pp. 199-206, 1996.
14. YAMAGUCHI, Y., "Tribology of Plastic Materials", **Tribology Series**, Vol.16, 1st Ed., Elsevier, Netherland, 1990.
15. MUTLU, İ., "Seramik Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin Deneysel İncelenmesi", **Doktora Tezi**, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, Kasım 2002.
16. TS 9076, "Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deneysel Parçaları İle Değerlendirilmesi", T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Nisan, 1991.
17. AYAR. H. H., "Disk Fren Balatalarında Bileşimin Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi", **Yüksek Lisans Tezi**, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1991.