

Otomobil Disk Fren Balatalarının Deneysel Yöntemlerle Karakterizasyonu ve Karşılaştırılması

Characterization and Comparison of Automobile Disc Brake Pads With Experimental Methods

Polat TOPUZ¹ , Ahmet TOPUZ² 

¹ İstanbul Gedik Üniversitesi, Gedik Meslek Yüksekokulu, 34909, Pendik/İstanbul, Türkiye

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Müh., 34220 Esenler/İstanbul

Öz

Bu çalışmada ülkemizde kullanılan otomobillere ait yerli ve yabancı olmak üzere 3 adet fren disk balatasının bileşenleri; aşınma-sürtünme karakteristikleri, mekanik ve fiziksel özellikleri açısından deneysel çalışmalarla incelenmiş, yerli, yabancı ve orijinal (OEM) olanların birbirleri ile çevre ve kullanım açısından karşılaştırılmaları yapılmıştır. Kimyasal analizlerde, tarama elektron mikroskobu EDS (enerji dağılımlı X-ışını analizi) sistemi ve XRF (X-ışını floresans spektrometresi) kullanılmıştır. Balata malzemelerinin sıcağıdaki kütle kayıplarını belirlemek için TG (Termo Gravimetrik) analizleri yapılmıştır. Ayrıca ısısız değişiklikleri tespit amacıyla DT (Diferansiyel Termal) analizleri gerçekleştirilmiştir. Balataların aşınma sürtünme testleri JIS 4411 standardına göre yapılmıştır. Bunların dışında balataların sertlik, yoğunluk, iç kesme dayanım değerleri ölçülmüştür. Deneysel veriler yabancı ve yerli balatalar için çevre ve kullanım açısından karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otomobil, disk fren, balata, karakterizasyon, çevre ve kullanım

Abstract

Brake linings are a key brake part because they are the component that contacts and applies pressure and friction to a vehicle's brake rotors – those flat, shiny discs that you can sometimes see just behind the wheels of some vehicles. The pressure and friction applied to the brake rotor is what slows and stops the wheel. Once the wheels stop turning, the vehicle stops moving, too. Though the role of brake linings as braking parts is pretty simple, the brake linings themselves are anything but. If the car in motion cannot be stopped, there may be situations that could lead to loss of life and property. For this reason, the most important system in terms of safety of life and property in road vehicles such as automobiles is brake system. The most important part of the brake mechanism, which provides friction to the vehicle by slowing down, is the brake lining. Brake linings must be at an acceptable cost proportional to a balanced coefficient of friction, low wear rate, low noise level, lightness, environmental damage, good mechanical strength, corrosion resistance and performance. High temperature during braking; fading phenomenon, premature wear, evaporation of brake fluid, bearing failures, thermal cracks and thermally induced vibrations. Brake decline is a decrease in stopping power, especially in overload or repeated braking situations in high speed conditions. Brake weakening is a phenomenon that occurs due to temperature in vehicles such as cars, trucks, motorcycles, planes and bicycles that have a friction wheel. Proper driving style, brake equipment, material design and choice are factors that can significantly affect brake attenuation. Brake pads were formerly manufactured using mainly asbestos as the friction material. That's because brake pads are exposed to [Açıklamalar] a lot of friction, which generates a lot of heat. Asbestos is a good material for absorbing and dissipating heat. So what was the problem? When asbestos breaks down, it's creates dust that's dangerous to breathe – and brake pads can create a lot of brake dust when they're slowing and stopping vehicles on the roads. Now, some brake pads and other brake parts are made from safer organic materials.

Organic brake pads, sometimes called nonasbestos organic brake pads, are made from natural materials liked glass and rubber, as well as resins that can withstand high heat.

All these features can be provided by composite brake linings containing many different components. These components are used as binders (phenolic resins and rubber), as abrasives (steel, copper, brass, aramid, potassium titanate, rock wool, glass fiber), abrasive (zirconium silicate, aluminum oxide, SiO₂), fillers (barium sulphate, calcium carbonate, vermiculite), as a lubricant and as a friction modifier (graphite, petroleum coke, molybdenum sulfur, antimony trioxide, zinc sulphide). For a composite brake lining, at least 10 of the above

components are used in different quantities to produce pillars with very different compositions and performances. Brake linings, which are mainly produced by powder metallurgy, are obtained by passing through mixing, molding and sintering steps. The materials that make up the lining material are first mixed homogeneously for a certain period of time. This mixture is then pressed into the mold in the shape of a lining at a certain pressure, temperature and time. After pressing, the mixture, which has been shaped like a mold, is subjected to heat treatment in a sintering furnace at a certain temperature and for a certain period of time. After the heat treatment, the cooled sample of the lining becomes ready for the pre-use tests.

Composite brake linings are important safety elements used in friction brake systems. Composite materials in brake linings; metallic, semi-metallic, composite and carbon based. Some performance characteristics of composites such as friction coefficient and wear in brakes and clutches are the complex functions of matrix components and compound components that the process cannot ignore.

In this study, the components of 3 disk brake linings, local and foreign, belonging to automobiles used in our country; abrasion-friction characteristics, mechanical and physical properties of these materials were investigated by experimental studies and compared with those of local, foreign and original (OEM) in terms of environment and usage. In chemical analyzes, scanning electron microscopy EDS (energy dispersive X-ray analysis) system and XRF (X-ray fluorescence spectrometry) were used. TG (Thermo Gravimetric) analyzes were performed to determine the mass losses in the disc brake lining materials. In addition, DT (Differential Thermal) analyzes were performed to detect the thermal changes. Wear friction tests of linings were made according to JIS 4411 standard. Apart from these, the hardness, density and internal shear strength values of the linings are measured. The experimental data are compared for the environment and use for foreign and local linings.

Keywords: Automobile, disc brake, lining, characterization, environment and usage

I. GİRİŞ

Hareket halindeki otomobil durdurulamaz ise, can ve mal kaybına yol açabilen durumlar söz konusu olabilir. Bu nedenle otomobil gibi kara taşıtlarında can ve mal güvenliği açısından en önemli sistem, fren sistemidir. Fren sistemi, aracın hareket enerjisini, fren mekanizmasındaki sürtünmeyle ısı enerjisine dönüştürerek, aracın yavaşlamasını veya durmasını sağlar[1].

Günümüzde, modern otomobillerin çoğunda disk fren sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde prensip olarak fren pedalına bastığımızda sistemdeki hidrolik sıvısı hareket eder, bu hareket fren disklerine bir piston yardımıyla iletildiğinde, araç disk üzerindeki sürtünme kuvvetinin etkisiyle yavaşlamaya başlar. Ne kadar fazla güç uygularsanız disk o kadar baskıya maruz kalır ve tekerleğin dönüş hızı yavaşlar[2].

Fren mekanizmasında yer alan ve diske sürtünerek aracın yavaşlamasını sağlayan en önemli parça ise balatadır. İdeal bir disk fren balatası, uygulanan yük, sıcaklık, hız, fren modu, ıslak ve kuru hava gibi çeşitli koşullarda özelliklerini koruyacak sabit bir sürtünme katsayısına sahip olmalıdır[1]. Fren balataları dengeli bir sürtünme katsayısı, düşük aşınma oranı, düşük gürültü seviyesi, hafiflik, çevresel hasar, iyi mekanik mukavemet, korozyon direnci ve performans ile orantılı olarak kabul edilebilir bir maliyette olmalıdır. Bir taşıtın frenleme performansını belirleyen en önemli değişkenlerden biri de, fren sistemindeki elemanlarda oluşan sıcaklık artışıdır. Fren balatası ile disk arasındaki sürtünme ara yüzeyinde meydana gelen kütleli sıcaklık 300 °C'ye kadar çıkmaktadır. Frenleme esnasında oluşan yüksek sıcaklık; fren zayıflamasına (fading fenomeni), erken aşınmalara, fren sıvısının buharlaşmasına, yatak arızalarına, termik çatlaklara ve termik olarak uyarılmış titreşimlere sebep olur. Fren zayıflaması, özellikle yüksek yük ya da yüksek hız koşullarında tekrarlı frenleme durumlarında meydana gelen durdurma gücündeki azalmadır. Fren zayıflaması, sürtünmeli frene sahip olan otomobil, kamyon, motosiklet, uçak ve bisiklet gibi taşıtlarda sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen bir olaydır. Uygun sürüş tarzı, fren ekipmanları, malzeme dizaynı ve seçimleri fren zayıflamasını kayda değer şekilde etkileyebilecek faktörlerdir [3]. Tüm bu özellikler, bir çok farklı bileşeni içeren kompozit fren balataları tarafından sağlanabilir. Bu bileşenler bağlayıcılar (fenolik reçineler ve kauçuk), takviye olarak (çelik, bakır, pirinç, aramid, potasyum titanat, kaya yünü, cam elyafı), aşındırıcı olarak (zirkonyum silikat, alüminyum oksit, SiO₂), dolgu olarak (baryum sülfat, kalsiyum karbonat, vermikülit), yağlayıcı ve sürtünme düzenleyici olarak (grafit, petrokok, molibden sülfür, antimuan tri sülfür, çinko sülfür) kullanılmaktadır[4].

Bir kompozit fren balatasında, yukarıdaki bileşenlerden en az 10 tanesi farklı miktarlarda kullanılarak çok değişik bileşim ve performanslara sahip balatalar üretilmektedir. Bunlara ait pek çok patent de alınmıştır[5]. Fren ve debriyaj balatası imalatçıları, malzemelerinin sürtünme özelliklerini, tüm çalışma koşulları altında karşı karşıya kalacak yüzeye karşı bilmelidirler [6]. Ancak balata üreticileri kullandıkları formülasyon ve üretim şartlarını sır gibi saklamaktadırlar. Zira bileşenlerden herhangi birinin %1-2'lik değişimi bile frenleme performansını etkilemektedir[7]. Temel olarak toz metalurjisi ile üretilen fren balataları, karıştırma, kalıplama ve sinterleme basamaklarından geçerek elde edilmektedirler. Balata içeriğini oluşturan malzemeler öncelikle homojen şekilde belli bir süre karıştırılırlar. Bu karışım daha sonra belli bir basınç, sıcaklık ve sürede, balata şeklindeki kalıp içine preslenmektedirler. Presleme işlemi sonrası kalıbın

şeklini almış karışım, sinterleme fırınında belirli bir sıcaklık ve süre ile ısıtılıp işleme tabi tutulmaktadır. Isıl işlem sonrası soğutulan balata örneği, kullanım öncesi testler için hazır konuma gelmiş olur [8].

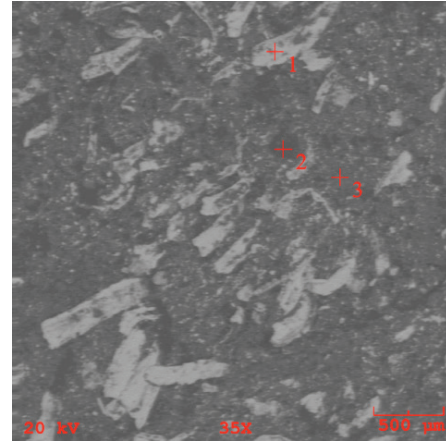
Kompozit fren balataları üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Nairobi Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, farklı oranda aynı bileşenler kullanılarak üretilen 3 ayrı balata numunesi aşınma testlerinin yanı sıra sertlik, iç kesme dayanımı ve makroskobik incelemeler sonucunda, takviye amaçlı kullanılan liflerin artışına bağlı olarak sertlikte düşüş, iç kesme dayanımında yükselme tespit edilmiştir [9]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Tezi olarak yapılan bir başka çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan kompozit sürtünmeli fren balatalarında yerli uçucu kül katkısının balata özelliklerine etkisinin incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, uçucu küllerin kütlece %50 oranında dolgu olarak kullanıldığı balata örneklerinin incelenen ticari balatalara en yakın sürtünme-aşınma özelliklerini sağladığı tespit edilmiştir [10].

Kompozit fren balataları, sürtünmeli fren sistemlerinde kullanılan önemli emniyet elemanlarıdır. Fren balatalarındaki kompozit malzemeler; metalik, yarı metalik, kompozit ve karbon bazlı olarak ayrılır [11]. Fren ve debriyajlarda sürtünme katsayısı ve aşınma gibi kompozitlerin bazı performans özellikleri, matris malzemesinin ve işlemenin göz ardı edilemeyeceği bileşik bileşenlerin karmaşık fonksiyonlarıdır [12]. Bu çalışmada, otomobillerde kullanılan farklı markalardan 3 adet fren balatasının bileşenleri, mekanik ve fiziksel özellikleri yönünden deneysel olarak incelenmiş sonuçlar çevre ve kullanım yerlerindeki performansları açısından değerlendirilmiştir.

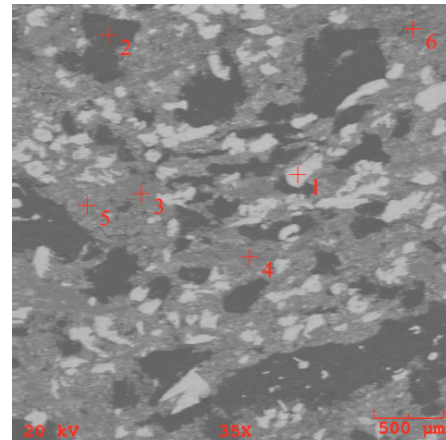
II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar için 1 adet yabancı orijinal, 1 adet yabancı yan sanayi ve 1 adet yerli sanayi üretimi olmak üzere 3 farklı otomobil disk fren balatası kullanılmıştır. Öncelikle her bir balatanın yaklaşık içeriğini belirleyebilmek için XRF analizlerinin yanı sıra, tarama elektron mikroskopunda geri saçılan elektronlar kullanılarak elde edilen

görüntüler üzerinde farklı fazlara ait oluşumların EDS ile nokta analizleri ve genel analizleri gerçekleştirilmiştir. Nokta analizlerin alındığı yerleri gösteren resimler altta Şekil 1, 2 ve 3'te yer almaktadır.



Şekil 1. Orijinal balata



Şekil 3. Yabancı yan sanayi balata

XRF analiz sonuçlarının, EDS genel analiz ve nokta analizlerle elementel olarak teyit edilmesiyle elde edilen balata numunelerine ait yaklaşık bileşenleri altta Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan balataların ortalama bileşen miktarları

Balata	Reçine %	Cashew %	Grafit %	BaSO ₄ %	CaCO ₄ %	Vermikülit %	Çelik Yünü %	Pirinç (Cu-Zn alaşımı) %	Sb ₂ S ₃ %	ZnS %	ZrSiO ₄ %	Diğer
Orijinal	22	-	10,5	5-5,3	13-20	21-25	19	-	3-5,5	5	3-4,8	-
Yerli	24	10-14	10	6-11	-	19-22	26	8-10	3,5-3,8	-	3-3,8	Al tozu
Yabancı yan sanayi	25	10-15	9	5-9,5	13-21	27-28	18	-	-	2	-	-

Balatalara ait aşınma sürtünme testleri JIS 4411 standardına göre yapılmıştır. Bu standart otomobillerde kullanılan kampanalı veya disk fren balataları ile ilgili Japon Endüstriyel Standardıdır. Temel olarak sabit hızlı sürtünme test cihazında aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerini belli toleranslar içinde test etmeyi anlatmaktadır. Bu standart ışığında, deneylerde sabit 1 MPa basınç, 480 d/d devir sayısı kullanılmıştır. Her bir deneyde 25x25x7 mm boyutlarında "A" ve "B" olarak isimlendirilen 2'şer numune kullanılmıştır. Sürtünme katsayısı noktasal olarak ve aşınma değerleri her bir numune için 5 noktadan ölçülmüştür. Deneylerde 100-150-200-250-300 ve 350°C sıcaklıklarda ısınan diske sürekli frenleme gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları TS 555'e göre değerlendirilmiştir. Altta Tablo 2'de sıcaklık bazında sürtünme katsayılarının ortalama değerleri ve ayrıca normal ve sıcak sürtünme katsayıları görülebilir. 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 normal (soğuk) olarak isimlendirilmiştir [13]. Buna göre 300°C'nin altında ölçülen sürtünme katsayıları normal, üzerindeki ise sıcak olarak isimlendirilmiştir. Buna göre normal ve sıcak sürtünme katsayıları tüm numuneler için TS 555'in öngördüğü 0,25-0,55 değerleri arasında kalmaktadır. TS 555, sürtünme katsayılarına göre balatalar sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma altta Şekil 4'de gösterilmektedir.

Aşınma değerleri; ağırlık azalması, kalınlıktaki değişim ve özgül aşınma yönünden de değerlendirilmiştir. Aşınma miktarı hacimsel olarak hesaplanmak istendiğinde

malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine uygulanan yük dikkate alınarak, birim yol ve birim yüklemeye ağırlığına karşılık gelen hacim kaybı kullanılarak ağırlık kaybı belirlenebilir. Buradan elde edilen sonuç Özgül Aşınma değerini vermektedir. Özgül aşınma miktarı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır[15].

$$W_s = \Delta m / d F_n S \quad (1)$$

Kod Adı	(g/cm ³)	(cm ³ .dan. m ⁻¹)	Direnci	Katsayısı (µ)	(°C)
GM11	2,30	0,09	11,10	0,35	294
DK 2	2,17	0,06	16,60	0,27	280
NK 11	2,42	0,04	25	0,36	240

Tablo 2'de sürtünme katsayısına göre balataların sınıflandırılması görülmektedir. Burada gösterilen harflendirmeler standartlarda belirtilmiş olup test cihazından alınan sürtünme katsayısı değerleri standartlara uygun olduğunu ispatlamıştır.

Tablo 2 SAE-J661 ve TSE 555 Standartlarına Göre Balataların Sınıflandırılması [8,10]

Sınıf	Sürtünme katsayısı
C	0,15'e kadar
D	0,15-0,25
E	0,25-0,35
F	0,35-0,45
G	0,45-0,55
H	0,55'ten yukarı

Şekil 4. TS555'e göre balata sınıfları [14]

Burada; W_s : Özgül aşınma miktarı (mm^3 / Nm), Δm : Ağırlık kaybı (mgr), d : yoğunluk (mgr/mm^3), F_n : Uygulanan normal kuvvet (N) ve S : Aşınma mesafesi (m)'ni ifade etmektedir. TS 555, özgül aşınma değerlerinin $5 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / \text{N.m}$ 'yi geçmemesini önermektedir[14]. Tablo 3'te, balata numunelerine ait farklı sıcaklıklarda $\text{cm}^3 / \text{N.m} \times 10^{-7}$ cinsinden özgül aşınma değerleri verilmiştir.

Ağırlık ve kalınlıktaki değişim miktarları Tablo 4 ve 5'te yer almaktadır.

Tablo2. Sürtünme katsayısı değerleri

Balata	Sürtünme Katsayıları						Sıcak sürtünme katsayısı	Normal sürtünme katsayısı
	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C		
Orijinal	0,452	0,453	0,454	0,4425	0,4165	0,4065	0,411 F	0,453 F
Yerli	0,265	0,295	0,3	0,288	0,346	0,3365	0,341 E	0,286 E
Yabancı yan sanayi	0,489	0,502	0,495	0,460	0,427	0,395	0,411 F	0,495 G

Tablo 3. Farklı sıcaklıklarda $\text{cm}^3 / \text{N.m} \times 10^{-7}$ cinsinden özgül aşınma değerleri

Balata	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C
Orijinal	0,258	0,454	0,601	0,862	1,310	1,765
Yerli	0,212	0,185	0,408	0,432	0,497	0,403
Yabancı yan sanayi	0,272	0,411	0,306	0,436	0,672	0,593

Tablo 4. Ağırlıkça aşınma değerleri

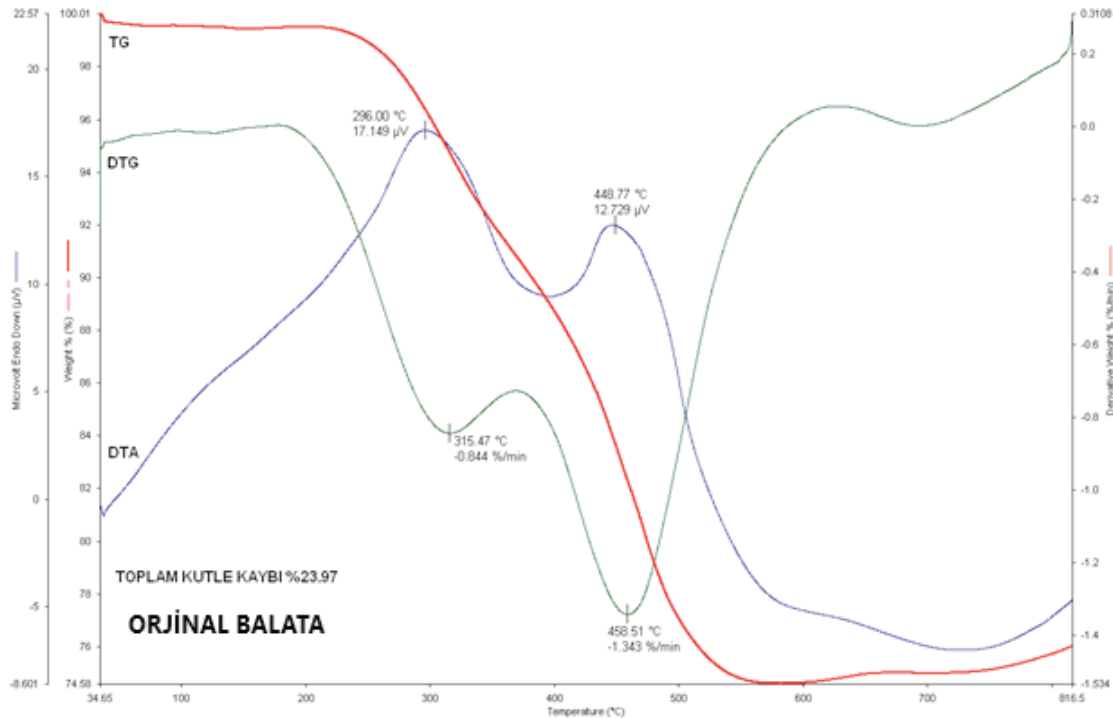
Balata	A (gr)		B (gr)		A fark		B fark	
	Başlangıç	Bitiş	Başlangıç	Bitiş	gr	%	gr	%
Orijinal	8,685	7,269	7,931	6,478	1,416	16,3	1,453	18,3
Yerli	9,418	8,875	8,941	8,395	0,543	5,7	0,546	6,1
Yabancı yan sanayi	9,731	8,694	9,874	8,837	1,037	10,6	1,037	10,5

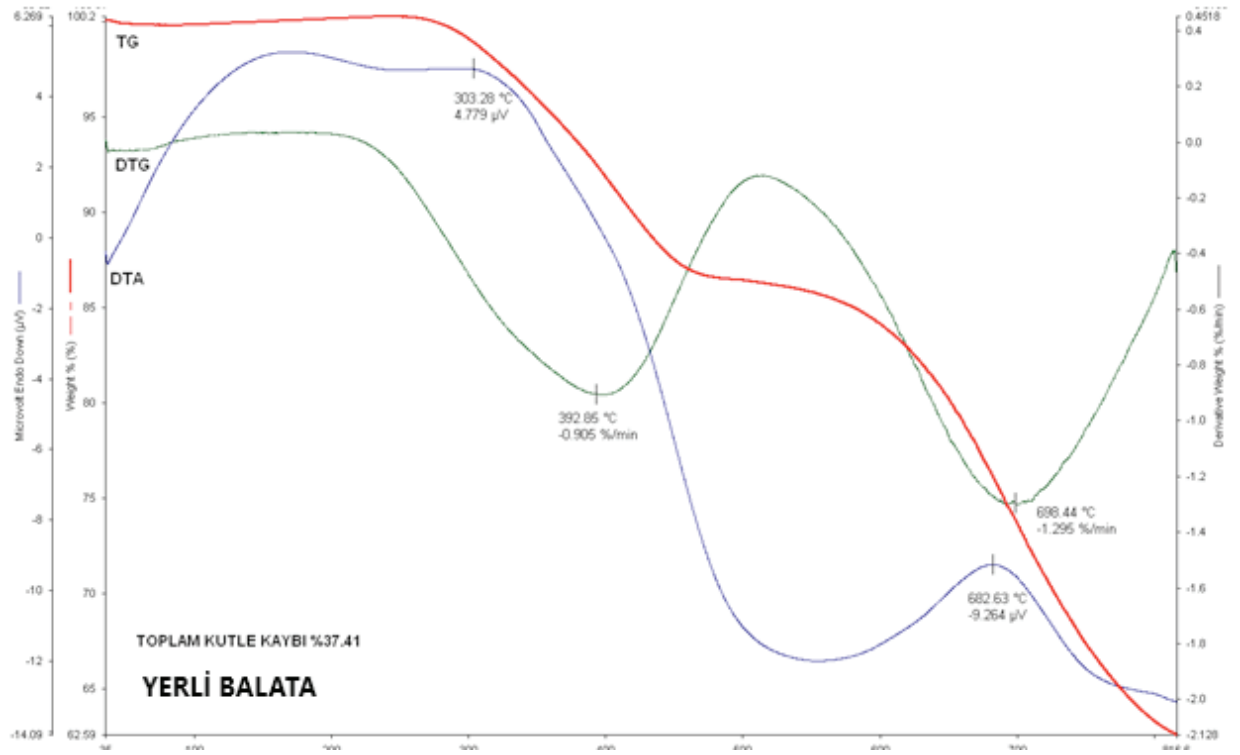
Tablo 5. Kalınlıkça aşınma değerleri

Balata	A Başlangıç kalınlığı (mm)	A Bitiş Kalınlığı (mm)	B Başlangıç kalınlığı (mm)	B Bitiş Kalınlığı (mm)	Δt_A Kalınlık Farklılığı (mm)	A Kalınlık Değişimi (%)	Δt_B Kalınlık Farklılığı (mm)	B Kalınlık Değişimi (%)
Orijinal	6,619	5,713	6,157	5,219	0,896	13,5	0,938	15,2
Yerli	6,130	6,000	5,862	5,578	0,13	2,12	0,284	4,8
Yabancı yan sanayi	6,395	5,882	6,407	5,900	0,513	8	0,507	7,9

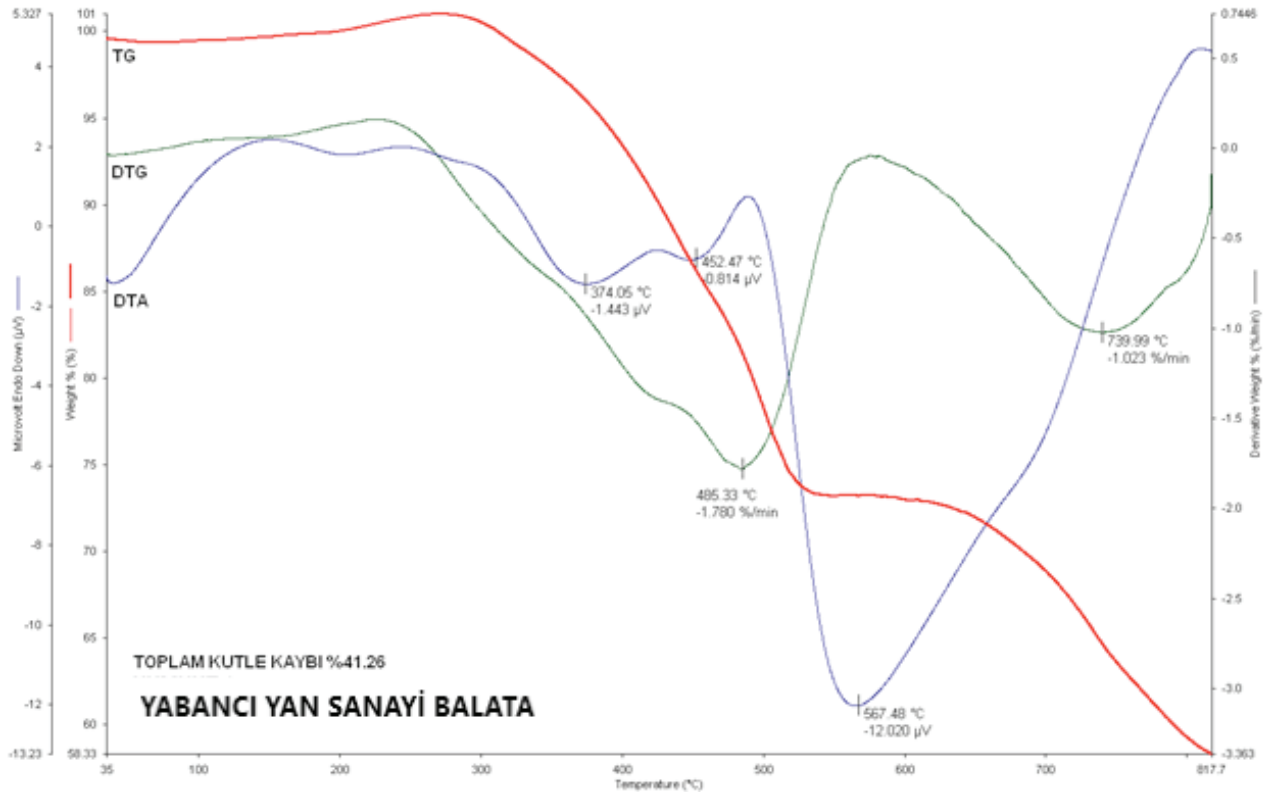
Balata malzemelerinin sıcakta kütle kayıplarını belirlemek için TG (Termogravimetrik) analizleri yapılmıştır. Termogravimetrik analizde, numune azot atmosferinde sabit bir hız ile ısıtılıp/soğutulurken, ağırlığındaki değişme zamana veya sıcaklığa bağlı olarak kaydedilmektedir. Elde edilen eğriler ile numune ağırlığının ısı etkisiyle nasıl değiştiği tespit edilebilmektedir. Ayrıca ısıl değişiklikleri tespit amacıyla DT (Diferansiyel Termal) analizleri gerçekleştirilmiştir. DT Analizinde, numunenin istenilen sıcaklığa kadar

ısıtılırken ağırlığı sürekli izlenmektedir. Kütlein sıcaklığa karşı çizilen grafiğine termogram denilmektedir. Bu cihazda hassas bir analitik terazi, bir fırın, bir fırın sıcaklığı control edici, bir programlayıcı ve bir de kaydedici bulunur. Kaydedici, numunenin kütleinin sıcaklığa karşı grafiğini çizer [16]. Elde edilen diyagramlarda kırmızı renkte yer alan TG eğrileri, sıcaklığa bağlı olarak yüzdesel kütle kayıplarını göstermektedir. Balata numunelerine ait diyagramlar altta şekil 5, 6 ve 7’de yer almaktadır.

**Şekil 5.** Orijinal balataya ait TG-DTA eğrileri



Şekil 6. Yerli balataya ait TG-DTA eğrileri



Şekil 7. Yabancı yan sanayi balataya ait TG-DTA eğrileri

TG-DTA verileri ışığında, balata numunelerin 20 ila 800°C arasında ölçülmüş toplam kütle kayıpları altta Tablo 6 'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Toplam kütle kayıpları

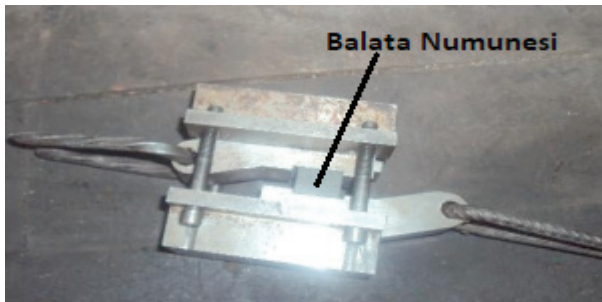
Balata	(TG) ye göre 20-800°C arasında Toplam Kütle Kayıpları (%)
Orijinal	23,97
Yerli	37,41
Yabancı yan sanayi	41,26

Her bir balata numunesinin yine TG-DTA verileri ışığında, sıcaklığa göre kütle kayıpları da incelenmiş, sonuçları altta Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. TG analiz sonuçlarına göre % kütle kayıpları

Balata	250°C	350°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
Orijinal	0	7	11	22	25	25	25
Yerli	0	5	7,5	15	16	28	37
Yabancı yan sanayi	0	3	7,5	22	27	33	40

Son olarak, balata örneklerinin yoğunlukları, sertlikleri ve iç kesme dayanımları ölçülmüş, sonuçlar altta Tablo 8'de verilmiştir. Yoğunluk ölçümlerinde, "bir cisme etki eden kaldırma kuvveti, cismin yerini değiştirdiği sıvının ağırlığı kadardır" hipotezini savunan Arşimet Prensibi'nden faydalanılmıştır. Sertlik ölçümleri için Rockwell-L yöntemi kullanılmıştır. İç kesme dayanımları için, bir çeşit çekme deneyi prensibi kullanılmıştır. Buna göre; Çekme Mukavemeti, çekme kuvvetinin, malzemenin kesit alanına (kopmanın gerçekleştiği yüzeyin kesit alanı) bölünmesiyle bulunmaktadır. Normal çekme deneylerinden farklı olarak, malzemenin çeneler arasına yerleştirilmesi için özel bir aparat kullanılmaktadır. Bu aparatın bir benzeri altta Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Çekme testinde kullanılan özel aparat

Tablo 8. Yoğunluk, sertlik ve iç kesme dayanım değerleri

Balata	Yoğunluk (gr/cm ³)	Sertlik (HRL)	İç Kesme Dayanımı (MPa)
Orijinal	2,13	88	16,2
Yerli	2,48	46	16,5
Yabancı yan sanayi	2,51	67	16,4

III. SONUÇLAR

- Giriş kısmında yer alan literatür bilgileri ışığında, balata örneklerine yapılan analizler neticesinde balataların tümünde bağlayıcı olarak reçine, yağlayıcı ve sürtünme düzenleyici olarak grafit, dolgu malzemesi olarak BaSO₄ ve vermikülit, takviye olarak çelik yünü kullanıldığı belirlenmiştir. Aşındırıcı olarak her balatada farklı bileşenler kullanılmış, ayrıca hiç bir balatada asbeste rastlanmamıştır.
- Tüm balata numunelerinde, normal ve sıcak sürtünme katsayıları TS 555'in öngördüğü 0,25-0,55 sınırları arasındadır, sınıf olarak E, F ve G'ye uymaktadırlar. Standartta göre, sıcak ve normal sürtünme katsayısı arasındaki farkın %15'i geçmemesi istenmektedir. Tüm numuneler bu değerlere uymaktadır.
- Farklı sıcaklıklarda incelenen sürtünme katsayıları arasındaki fark hiçbir numunede %20'yi aşmamış, sürtünme katsayılarının aynı sıcaklıktaki değişiminin kararlı olduğu görülmüştür.
- Özgül aşınma değerleri tüm örnekler için TS 555'in öngördüğü 5x10⁻⁷ cm³/N.m'yi geçmemiştir. Tablo 3'te de görüldüğü üzere, frenleme esnasında ısınan diske sürtünen balataların farklı sıcaklıklarda ölçülen özgül aşınma değerlerine göre, hiçbir balata numunesinde bu değerler aşılmamıştır. Bunun sebebinin balata bileşenleri içerisinde yer alan, yağlayıcı ve sürtünme giderici olarak kullanılan grafit, çinko sülfür veya antıman sülfür gibi bileşenlerin toplam hacimdeki yoğunluğu olduğu söylenebilir.
- TS 555'e göre, ağırlıkça aşınma değerlerine bakıldığında, ağırlıktaki değişimin %10'dan fazla ölçüldüğü numuneler orijinal ve yabancı yan sanayiye ait balata numuneleridir. % 10'dan az kütle kaybına uğrayan yerli balatanın içerisinde yer alan takviye ve dolgu amaçlı bileşenlerin farklı oluşu ve oranları arasındaki farkın bu durumu oluşturduğu söylenebilir.
- Kalınlıktaki değişim değerlerine göre, orijinal balata numunesinde %10'un üzerinde değer elde edilmiştir. Bu durumun da aynı ağırlıkça aşınma değerlerinde olduğu gibi, takviye ve dolgu amaçlı kullanılan bileşenlerin farklı oluşu ve oranları arasındaki farkın bu durumu oluşturduğu söylenebilir.

7. İç kesme dayanımı ve yoğunluğu en düşük numunenin, orijinal balata numunesi olduğu, sertlik olarak en yüksek değeri de yine aynı numunenin verdiği tespit edilmiştir. Bu duruma yol açan etken, takviye olarak kullanılan yoğunluğu düşük bileşenlerin oranıdır.
8. TG-DTA verileri ışığında, balata numunelerin 20 ila 800°C arasında ölçülmüş toplam kütle kayıpları bakıldığında, en az kütle kaybının orijinal balata numunesinde, en çok kaybın ise yabancı yan sanayi balata numunesinde olduğu tespit edilmiştir, ayrıca kütle kayıpları tüm numunelerde 300°C civarında başlamıştır. Özellikle 500°C'de kütle kaybı tüm numunelerde büyük bir oranda artmıştır. Bu sıcaklıktan sonra orijinal balatada azalış sabit kalmış, yerli ve yabancı yan sanayi balata da ise artmaya devam etmiştir. Fren balataları aşırı ısındıklarında özellikle diske temas eden yüzeylerde reçine yanarak bağlantı zayıflamakta yüzeyden başlayan bir aşınma oluşmaktadır. Deneylerde kullanılan tüm balata örneklerinde, aşırı ısınma durumunda kütle kayıpları artmış ve aşınma hızlanmıştır. Özellikle yüksek sıcaklıkta bağlayıcı ve sentetik malzemeler kütle kaybına uğramaktadır, bu durum frenleme sırasında aşırı ısınma olduğunda meydana gelmektedir.

IV.TARTIŞMA

Yukarıda literatür araştırmalarından da görüleceği üzere, balata ile fren diski arasındaki yüzeyde oluşan max ısı 300°C civarındadır. Max. 350°C sıcaklığa kadar gerçekleştirilmiş olan aşınma testlerine göre numunelerden elde edilen veriler ile max. 800 °C sıcaklığa kadar gerçekleştirilmiş olan TG-DTA analizlerinden elde edilen veriler TS 555'e uygun değerlerdir. Özellikle 500 °C üzerine çıkıldığında kütle kayıplar tüm numunelerde artmıştır. Ağırlıkça aşınma değerleri ele alındığında gerek sürtünme aşınma testleri, gerekse TG-DTA analizlerine göre max. kullanım sıcaklığı olan 350°C'ye kadar her 3 numune de standart şartlarını sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Priyanka S. Bankar, S. N. Khan,(2014). A Review Paper on Composite Brake Friction Lining for lining Applications on Band Brake. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology* Volume 2, Issue 8, November, ISSN 2349-4409 (Online), 116-122
- [2] <http://www.bilgiustam.com/otomobillerde-fren-sistemi-ve-disk-frenler-nasil-calisir/> (erişim08.03.2018)
- [3] Kwangjin Lee, (1993) "Frictionally-excited thermoelastic instability in automotive disk brakes" *University of Michigan Press*,63-64.
- [4] P.J. Blau, (2001). Compositions, functions and testing of friction brake materials and their additives. Oak Ridge National Laboratory *Technical Report* ORNL/TM-2001/64, Oak Ridge, Tennessee
- [5] E. Gümüş, A. Topuz, (2012). Effects of fly ash additive on the properties of composite brake friction materials. *International Materials and Metallurgical Congress*, Turkey, Istanbul.
- [6] K.G. Budinski, (1992). Laboratory Testing Methods for Solid Friction in: *ASM Handbook: Friction, Lubrication, and Wear Technology*, ASM International, Materials Park, OH., 18
- [7] A.Saffar, A.Shojaei., (2012). Effect of rubber component on the performance of brake friction materials. *Wear*, Volumes 274–275, 27 January, Pages 286-297, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2011.09.012>
- [8] Mohammad Asif, K. Chandra, P.S. Misra, (2011). Development of Iron Based Brake Friction Material by Hot Powder Preform Forging Technique used for Medium to Heavy Duty Applications. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 10, No.3, pp.231-244.
- [9] Joel Jeremiah Gachoki, Marangu Dickson Katheranya, (2011). Design of Brakepad Friction Material. *University of Nairobi, Final Year Project*, Project No. Jmo/01/2011
- [10] E.Gümüş, (2012). Otomotivde Kullanılan Kompozit Sürtünmeli Fren Balatalarında Yerli Uçucu Kül Katkısının Balata Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. YTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, *Yüksek Lisans Tezi*.
- [11] S. Mohanty, Y.P. Chugh, (2007). Development of Fly Ash Based Automotive Brake Lining. *Tribology International* 40, 1217–1224. doi:10.1016/j.triboint.2007.01.005
- [12] James Gary Pruett, (2001). Matrix Contribution to Composite Properties in: *ASM Handbook: Composites*, ASM International, Materials Park, OH, V. 21
- [13] Ertan, R. ve Yavuz, N., (2010). Balata Malzemelerinde Kullanılan Yapısalın Balatanın Tribolojik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 15, Sayı 1.
- [14] TS 555, (17.03.1992). Karayolu taşıtları-Fren sistemleri – Balatalar – Sürtünmeli frenler için.
- [15] M. Karabaşoğlu, (2008). Aşınma Deney Cihazı Tasarımı ve İmalatı. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*.
- [16] Cem ŞENSÖĞÜT, Ö. Serdar YILDIRIM, İbrahim ÇINAR ve A. Hadi ÖZDENİZ, (2002). Bazı Yerli Kömürlerin Termogravimetrik Karakteristiklerine İstatistiksel Yaklaşım. *Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 29-31 Mayıs, Zonguldak, Türkiye