

Asbest İçermeyen Fren Balata İmalatında Farklı Sinterleme Sıcaklığı ve Süresinin Tribolojik ve Mekanik Özelliklere Etkisi

Benek HAMAMCI^{*}, Merve SALI¹

ÖZET: Otomotiv fren balataları birçok farklı malzemenin birleşiminin sinterlenmesi ile üretilmektedir. Baltaların farklı üretim parametreleri ile üretildikleri akademik çalışmalardan görülmektedir. Bu çalışmada, farklı sıcaklıklarda ve farklı sürelerde sinterleme ile imal edilen asbest içermeyen balataların, tribolojik ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Üretilen balataların sürtünme katsayısı, kesme dayanımı, özgül aşınma değerleri, sıcaklığı, sertlik değerleri, yoğunluğu ölçülmüş ve SEM/EDS analizi yapılarak farklı sinterleme sıcaklığı ve sürelerinin etkileri gözlemlenmiştir. Sinterleme sıcaklığı ve süresindeki artışın balata sürtünme katsayısı, özgül aşınma oranı, kesme gerilme değerleri ve balata sıcaklık değerleri açısından olumlu olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fren balata, sinterleme, mekanik özellikler, triboloji

The Effect of Different Sintering Temperature and Time on Tribological and Mechanical Properties in Non Asbestos Brake Pad Manufacturing

ABSTRACT: Automotive brake pads are produced by sintering the combination of many different materials. Brake pads are produced with different parameters in different studies. In this study, tribological and mechanical properties of non- asbestos brake pads produced by sintering at different temperatures and different hours were investigated. The friction coefficient, shear strength, specific wear values, temperature, hardness values, density and SEM / EDS analysis of the brake pads were measured and the effects of different sintering temperatures and sintering time effect were observed. It was found that the increase in sintering temperature and sintering time was positive in terms of friction coefficient, specific wear rate, shear stress values and brake pad temperature values.

Key words: Brake pad, sintering, mechanical properties, tribology

¹ Benek HAMAMCI (Orcid ID: 0000-0002-5180-6798), Merve SALI (Orcid ID: 0000-0002-0610-7584) Kafkas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kars, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Benek HAMAMCI, e-mail: benekhamamci@kafkas.edu.tr

GİRİŞ

Frenleme sisteminin en önemli elemanlarından biri olan balatalar, frenleme sistemlerinin performansını etki eden önemli parçalarından biridir (Kuş, 2014; Sugözü,2009). Fren balataları, frenleme sırasında aracın kinetik enerjisini sürtünme ile termal enerjiye dönüştürmektedir. Balata, frenleme esnasında disk yüzeyine temas ederek aracın yavaşlamasını veya durmasını sağlayan elemandır (Kuş, 2014; Öztürk ve ark., 2013).

Fren balatalarından, (sıcak, soğuk, ıslak, nemli vb.) farklı ortamlar da; yüksek termal kararlılık (Kocabaş, 2012; Kuş, 2014), yüksek aşınma direnci (Yüce, 2013), kararlı ve yüksek sürtünme katsayısı (Yüce, 2013; Adıgüzel, 2015; Sugözü, 2009; Algan, 2015), yüksek mukavemet özelliği (Kocabaş, 2012; Sugözü, 2009; Algan, 2015), frenleme esnasında düşük ses (Adıgüzel, 2015; Sugözü, 2009), yağ ve suya karşı direnç (Kuş, 2014), diske zarar vermeme (Kuş, 2014), anti-titreşim karakteristiği (Kahya, 2017; Yüce, 2013) hafiflik, düşük maliyet ve yüksek basınç altında sorunsuz çalışabilme, korozyona karşı direnç, (Öztürk ve ark., 2013) gibi özellikleri karşılanması gerekmekte ve bu özellikler göz önünde tutularak üretilbilir olması istenmektedir.

Günümüzde insan sağlığına zararlı olan asbest içerikli balatalar yerine insan sağlığını tehdit etmeyen asbestsiz ve çevreci balatalar üretilmektedir. Son yıllarda daha mukavim fren balatalar üretimi için asbest yerine birçok değişik mineral ve lifler tercih edilmiştir (Sugözü, 2015). Fren balatalar üretilirken farklı malzemelerden üretildiği gibi farklı üretim parametreleri ile de üretilmesi, balata mukavemetini etkilediği düşünülmektedir.

Bu çalışmada presleme sıcaklığı sabit tutularak farklı sinterleme sıcaklık ve sürelerinde üretilen balatalara sürtünme aşınma testi, kesme dayanımı, özgül aşınma dayanımı, sıcaklık, sertlik, yoğunluk ve SEM/EDS analizleri yapılmış, sonuçlar tartışılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Balata Üretimi

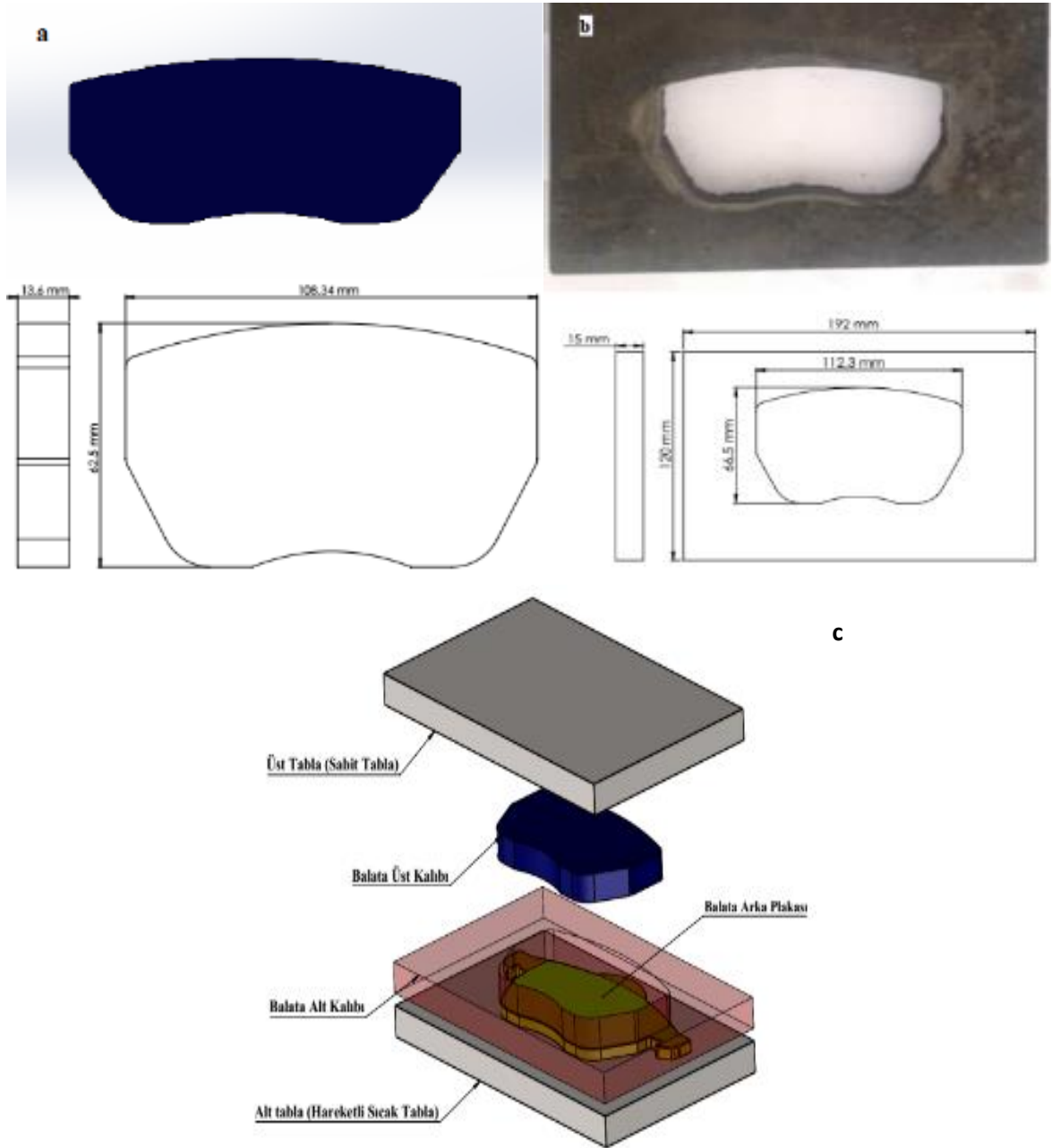
Fren balataları, bağlayıcı, dolgu malzemesi, takviye elemanları ve sürtünme düzenleyici malzemeler kullanılarak kalıplar yardımıyla preslenip daha sonra sinterlenerek üretilmiştir. Karışımın ağırlık yüzdeleri Çizelge 1’ de verilmiştir.

Çizelge 1. Fren balataların kütlece % bileşim oranları

% Birleşim	Malzeme	Kullanım Amacı
20	Fenolik Reçine	Bağlayıcı
31	Barit	Dolgu malzemesi
3	Mika	
11	Aramid	Fiber
5	Demir Tozu	Metal Toz
7	Bakır Tozu	
7	Al ₂ O ₃	Aşındırıcı
3	SiO ₂	
10	Grafit	Yağlayıcı ve Sürtünme Düzenleyici
3	Toz kauçuk	
Toplam 100		

Çizelge 1’ de verilen kompozisyona uygun olarak tozlar hazırlanmış ve M-TOPE-MS3040D marka laboratuvar tipi karıştırıcı ile malzemeler homojen bir yapı elde edilinceye kadar 2000 devir/dk’ da 40dk boyunca karıştırılmıştır.

Hazırlanan toz karışımın preslenebilmesi için ölçülere uygun bir kalıp tasarlanmıştır. Şekil 1’de görüldüğü gibi ölçüleri 192x120mm olan balata kalıpları, üst kalıp (erkek kalıp), balata alt kalıp (dişi kalıp) ve balata arka kalıp olmak üzere 3 parçadan imal edilmiştir. Presleme işlemi sahip Hidrokar marka sıcak pres kullanılarak yapılmıştır. Presleme işlemi ısıtılmalı hidrolik pres yardımıyla 180°C ön ısıtılan 21.5MPa basınçla hareketli alt tabla ile sabit üst tabla arasında gerçekleştirilmiştir. Sıcak pres alt tablanın üzerinde arka plaka bulunmaktadır. Balata üretimi için hazırlanan toz karışım, dişi kalıp içine kademeli olarak yerleştirilip preslenerek üretilmiştir. Toz karışım birkaç defa elle serilmiş ve her bir katman 10dak boyunca preslenmiştir.



Şekil 1. a) Erkek kalıp, b) Dişi kalıp c) Kalıplama İşlemi Şematik Gösterimi

Çizelge 2’ de gösterildiği gibi sinterleme işlemi 150 ve 180°C ‘de 6-12-18-24 saat süre ile PROTHERM-PLF 120/10 marka endüstriyel tip fırında gerçekleştirilmiştir ve numuneler isimlendirilmiştir.

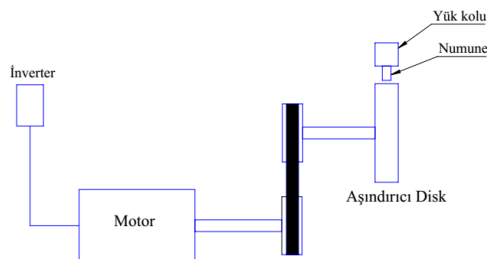
Çizelge 2. Balata Üretim Parametreleri

Numune Kodu	Karıştırma	Presleme	Sinterleme
O1	40dk/2000devir/dk	180°C/30 dk	150°C/6s
O2	40dk/2000devir/dk	180°C/30 dk	150°C/12s
O3	40dk/2000devir/dk	180°C/30 dk	150°C/18s
O4	40dk/2000devir/dk	180°C/30 dk	150°C/24s
O5	40dk/2000devir/dk	180°C/30 dk	180°C/6s
O6	40dk/2000devir/dk	180°C/30 dk	180°C/12s
O7	40dk/2000devir/dk	180°C/30 dk	180°C/18s
O8	40dk/2000devir/dk	180°C/30 dk	180°C/24s

Testler ve İncelemeler

Üretilen balataların sürtünme katsayısı, kesme dayanımı, özgül aşınma değerleri, sıcaklığı, sertlik, yoğunluk değerleri ölçülmüş ve Atatürk Üniversitesi DAYTAM Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde bulunan Zeiss marka SEM/EDS cihazı kullanılarak analizi yapılmıştır.

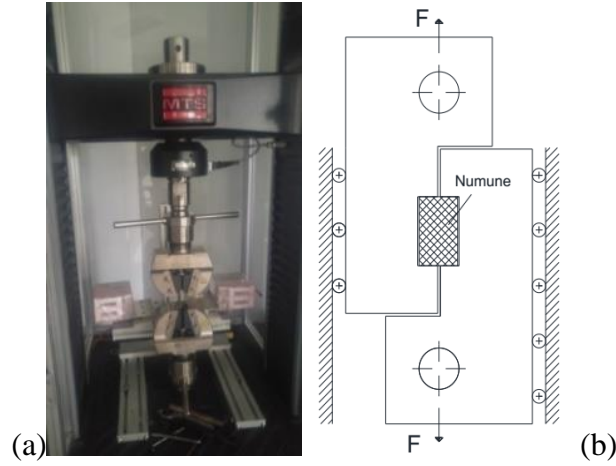
Sürtünme testi: Blok-On-Disk cihazı kullanılarak sürtünme-aşınma testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Blok-on-disk Test Cihazı

Numuneler sürtünme aşınma testi için 10x10x30mm ölçülerinde kesilmiştir. Blok-on-disk cihazında aşındırıcı disk, 210mm çapında 54-56HRC sertliğinde değerine sahip 4140 çeliğidir. Her bir balata ile yapılan deney öncesinde, kullanılan aşındırıcı disk temizlenerek kalıntı vb. durumlar ortadan kaldırılmış ve test değerlerini etkilemesi engellenmiştir. Deneye başlamadan önce, numune ortalama 5 dakika boyunca sürtünmeye tabi tutulmuş ve böylece numune yüzeyinin disk üzerine tam oturması sağlanmıştır. Deneyler, TS 555 standartlarına uygun şekilde 9420m kayma mesafesinde, 50dk boyunca 3.14 m/sn ’lik hızda gerçekleştirilmiştir. Ağırlığın asılı olduğu yük kolunda balata numunesinin yerleştirilebileceği yuva mevcuttur. Numune yuvaya yerleştirildikten sonra kol serbest bırakılır ve balata numunesi ile disk arasında temas sağlanır. Böylece yük koluna ağırlık yerleştirilerek istenilen 2.8-4.8MPa aralığında basınç sağlanmış ve bu şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Kesme dayanımı testi: Çekme cihazı MTS System Corporation-FXSA105A marka olan (Şekil 3 (a)), özel olarak hazırlanmış (Şekil 3 (b)) bir aparat ile kesme dayanım test yapılmıştır.



Şekil 3. a) Çekme Testi Makinası, b) Kesme Testi Özel Aparatı

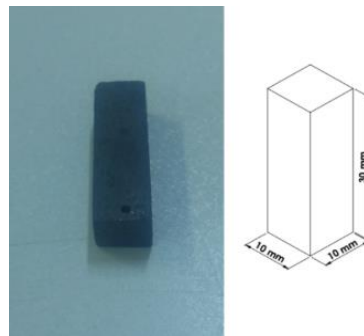
Balata numuneleri kesme testine uygun olan 25x25x10 mm boyutlarına getirilmiştir. Numunelere, gerilme yönüne paralel ve artan yük 5mm/dk hızla uygulanmış, malzeme kopuncaya kadar yük artırılmaya devam edilmiştir. Eşitlik 1 ile numunelerin kesme kuvveti dikkate alınarak kesme dayanımı hesaplanmıştır. Burada τ kesme dayanımını (MPa), F kesme kuvvetini (N) ve A numunenin kesmeye maruz kalan kesit alanını (mm^2) ifade etmektedir.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Özgül aşınma değeri: 0.01mg hassasiyetindeki hassas teraziyle numunelerin kütlesi aşınma deneyinden önce ve sonra ölçülmüş ve eşitlik 2 ile özgül aşınma miktarları hesaplanmıştır (Adıgüzel, 2015). Eşitlikteki \dot{w}_s ($\text{mm}^3/\text{N.m}$) sembolü özgül aşınma miktarını, Δm (gr) numune ağırlık kaybını (aşınma testinden önceki ve sonraki kütle farkı), L (m) alınan toplam yolu, ρ (gr/cm^3) numune yoğunluğunu ve F_n (N) ise numuneye uygulanan yükü ifade etmektedir.

$$\dot{w}_s = \frac{\Delta m}{L \cdot \rho \cdot F_n} \quad (2)$$

Sıcaklık ölçümleri: Deney sırasında diskte ve balata numunesinde sürtünmeden kaynaklı sıcaklık artışı meydana gelmektedir. TT Technic marka sıcaklık ölçüm cihazıyla disk yüzey sıcaklığı her test öncesi ve sonrası ölçülmesi için balata numunelerine 1mm çaplı termokupl delikleri açılmış ve bu yuvaya yerleştirilen termokupl ile sıcaklıklar ölçülmüştür (Şekil 4).



Şekil 4. Balata termokupl yuvası ve balata test numune ölçüleri

Sertlik ve yoğunluk ölçümleri: Numunelerin sertlik değerleri sürtünme-aşınma testi sonrası Bulut Makina dijital Rockwell sertlik ölçüm cihazı ile oda sıcaklığında ölçümler gerçekleştirilmiştir.

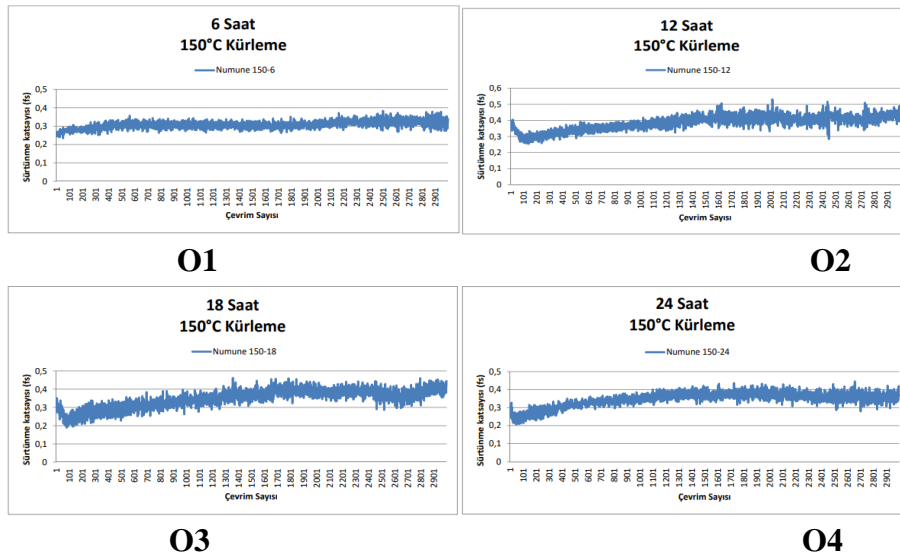
Sertlik ölçümünde Rockwell-R skalası kullanılmıştır. Sertlik değerleri elde edilebilmesi için numuneye yüzeyinde 5 farklı noktadan ölçüm yapılmış. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmış bu şekilde sertlik değerleri belirlenmiştir. Aynı zamanda numune yoğunlukları Arşimet deneyine göre hesaplanmıştır.

SEM/EDS analizi: Balata numuneleri aşınan yüzeylerinde sürtünme karakteristiklerini belirleyebilmek için SEM/EDS cihazı kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Çizelge 1’ de verilen malzemelerle üretilen fren balatalarının, farklı sinterleme sıcaklık ve sinterleme zamanının, tribolojik ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

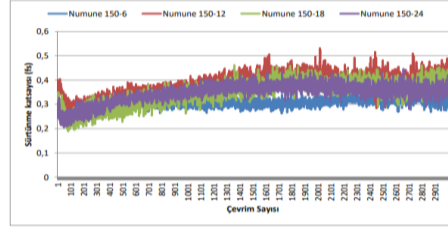
Sürtünme Katsayısı Bulguları: Çalışmada 150°C, 180°C’ de ve 6, 12, 18, 24 saat sinterleme yapılarak elde edilen balatalar, TS 555 standardı referans alınarak 50dk boyunca 3.14m/sn’lik hızda 9420 m dönen diskle temas ettirilerek sürtünme katsayıları ve sürtünme katsayısının zaman (sn) ile değişim grafikleri elde edilmiştir. Şekil 5’ten de görüldüğü gibi 150°C/6s sinterleme sıcaklığında ve süresinde üretilen balata numunesinin ortalama 0.25 ile başlayan sürtünme katsayısı (μ), zaman (sn) arttıkça 0.3 değerine ulaşmıştır. O1 balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0.3 olarak hesaplanmıştır. 150°C/12s sinterleme sıcaklığında ve süresinde üretilen balata numunesinin başlangıç ortalama μ değeri 0.4 ile başlamış, süre değeri 200sn’ye ulaşıncaya kadar 0.26’ye kadar düşmüş daha sonra 1400 saniyeye gelinceye kadar yavaş yavaş çıkmış. 1400 saniyeden sonra ortalama 0.41 değerine ulaşmıştır. O2 balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0.43 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Farklı sürelerde 150°C’ de sinterlenen balataların sürtünme katsayısı grafikleri

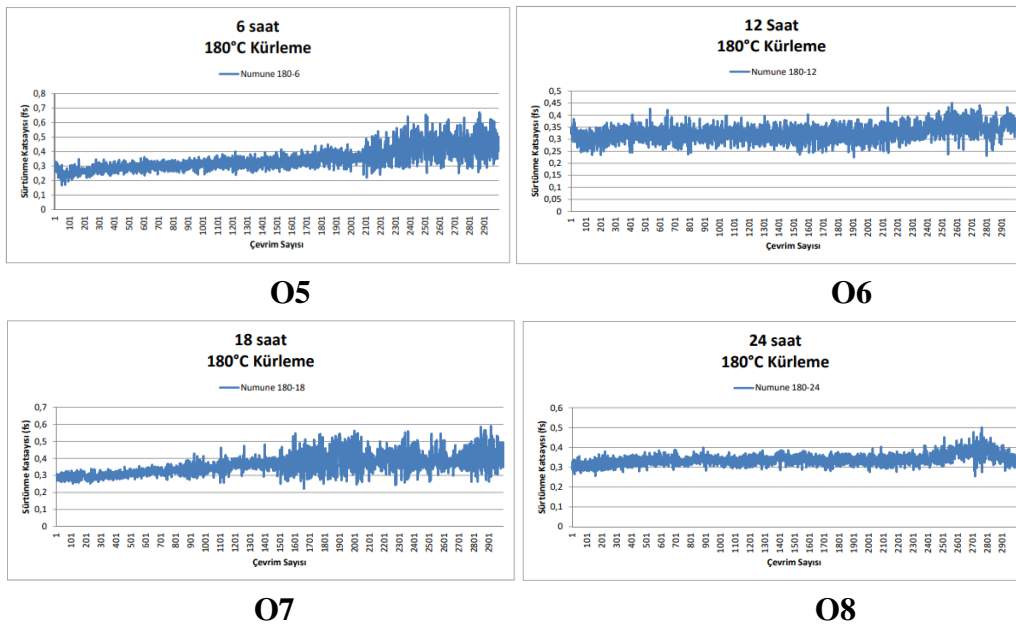
150°C/18s sinterleme sıcaklığında ve süresinde üretilen balata numunesinin ortalama μ değeri 0.32 ile başlamış 100 saniyeden sonra 1800 saniyeye kadar yavaş yavaş artmıştır. 1400 saniyeden sonra ortalama 0.41 değerinde kalmıştır. O3 balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0.41 olarak hesaplanmıştır. 150°C/24s sinterleme sıcaklığında ve süresinde üretilen balata numunesinin ortalama 0.32 değeri ile başlamış 60 saniyeye kadar düşmüştür. O4 balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0.38 olarak hesaplanmıştır

150°C sinterleme sıcaklığı ve farklı sinterleme süresine göre üretilen balataların sürtünme katsayısının değişimi ortak olarak grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Tüm farklı parametrelere göre ortalama sürtünme katsayısı değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3' den de anlaşılacağı gibi 150°C' de 12 saat sinterlenerek üretilen balata değeri en yüksek sürtünme katsayısı olan 0.43 olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6. 6, 12, 18, 24 saat, 150°C' de sinterlenen balataların ortak sürtünme katsayısı grafiği

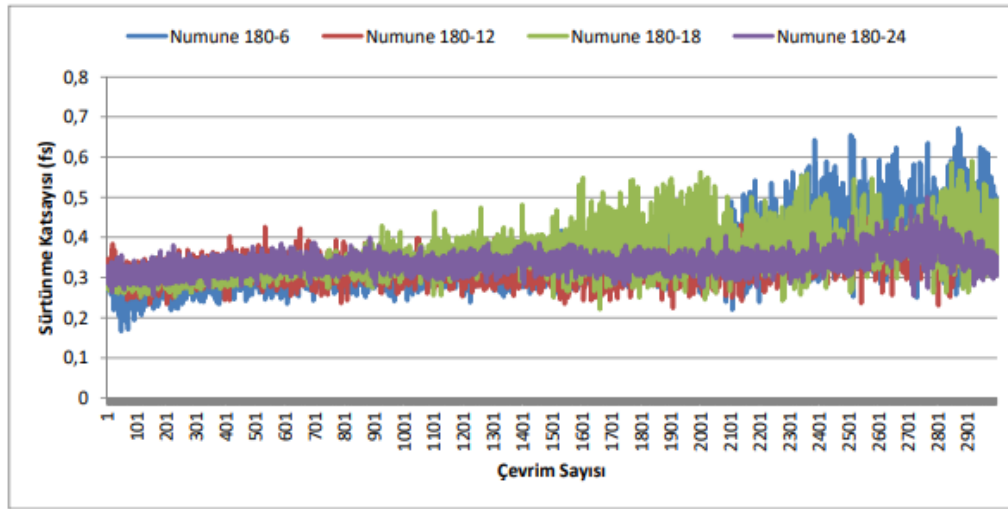
Şekil 7'de farklı sürelerde 180°C' de sinterlenen balataların sürtünme katsayısı grafikleri ayrı ayrı verilmiştir. Şekil 7'ye göre 180°C/6s sinterleme sıcaklığında ve süresinde üretilen balata numunesinin ortalama 0.3 ile başlayan sürtünme katsayısı zaman (sn) arttıkça 0.5 değerine kadar ulaşmıştır. O5 balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0.40 olduğu görülmüştür. 180°C/12s sinterleme sıcaklığında ve süresinde üretilen balata numunesinin başlangıç ortalama μ değeri 0.35 ile başlamış, 2900 saniyeye gelinceye kadar değişim göstermeden devam etmiştir. O6 balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0.35 olduğu anlaşılmıştır. 180°C/18s sinterleme sıcaklığında ve süresinde üretilen balata numunesinin sürtünme katsayısı ortalama 0.3 değeri artarak 0.5 değerine ulaşmıştır. O7 balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0.42 olarak hesaplanmıştır. 180°C/24s sinterleme sıcaklığında ve süresinde üretilen balata numunesinin ortalama 0.32 değeri ile başlamış 60 saniyeye kadar düşmüştür. Daha sonra 1400 saniyeye kadar yükselişe geçmiş ve ortalama μ değerinin 0.38 olduğu gözlemlenmiştir. O8 balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0.34 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Farklı sürelerde 180°C' de sinterlenen balataların sürtünme katsayısı grafiği

180°C sinterleme sıcaklığı ve farklı sinterleme süresine göre üretilen balataların sürtünme katsayısının değişimi ortak olarak grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Toplu olarak verilen bu grafikten 180°C 18 saat ve 180°C 6 saat sinterlenen balatalarda daha yüksek sürtünme katsayısı olduğu görülmektedir.

Fakat 180°C 18 saat sinterleme yapılan balatanın daha kararlı sürtünme katsayısına sahip olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 8. 6, 12, 18, 24 saat, 180°C’ de sinterlenen balataların ortak sürtünme katsayısı grafiği

Ticari balata referans değerlerine göre, balataların sürtünme katsayıları 0.38-0.52 değer aralığında olmalıdır (Yawas ve ark., 2016; Idris ve ark., 2013; Singhve ark., 2016). O2, O3, O4, O5, O7 balatalarının sürtünme katsayısı değerlerinin ticari balata değerleri aralığında olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Farklı süre ve farklı sıcaklıklarda sinterlenen balataların ortalama sürtünme katsayıları

Numune Kodu	Üretim Parametresi	Sürtünme Katsayısı
O1	150°C/6s	0.3
O2	150°C/12s	0.43
O3	150°C/18s	0.41
O4	150°C/24s	0.38
O5	180°C/6s	0.4
O6	180°C/12s	0.35
O7	180°C/18s	0.42
O8	180°C/24s	0.34

Çizelge 4’ de TS555 standardında balata sürtünme katsayılarına göre balata sınıflandırılması verilmiştir (Karaoğlu, 2006). Çizelge 4’ e göre E ve F sınıfına uygun balata üretimi yapılmıştır.

Çizelge 4. TS 555’e Göre Balata Sınıflandırılması

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 yüksek

Kesme Testi Sonuçları

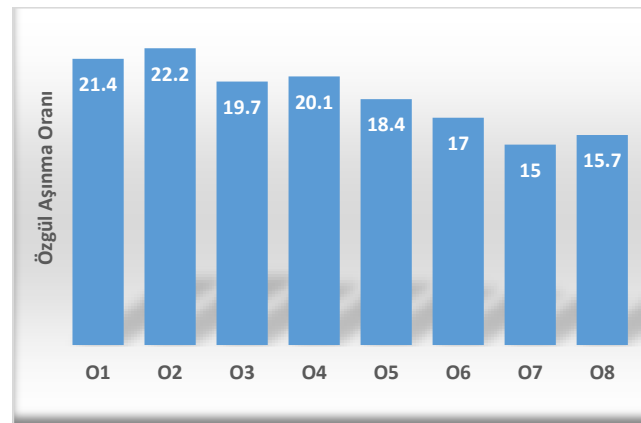
Balataların kesme gerilmesinin minimum 2.5MPa değerinde olması, ortalama 6MPa değerinde olması istenmektedir. Çizelge 5’ de kesme gerilmesi değerleri verilmiştir. Bu değerlere göre incelediğimizde balataların kesme gerilmesinin 3.1 ila 5.4MPa aralığında olduğu görülmektedir. Tüm

değerler standart değerler arasında olduğu gözlemlenmiştir. Sinterleme sıcaklık ve süresinin artması kesme gerilmesinin artmasına sebep olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 5. Kesme Gerilme Değerleri

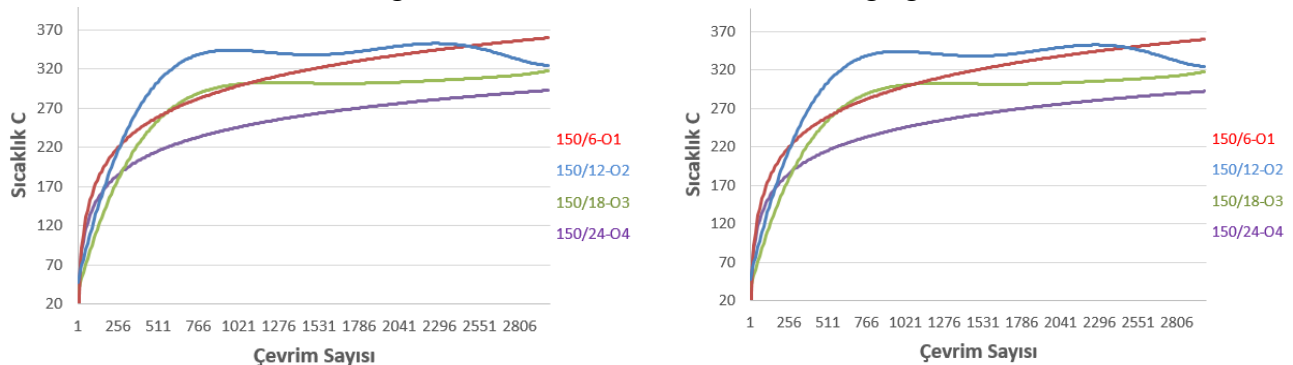
Numune Kodu	Üretim Parametresi	Sürtünme Katsayısı
O1	150°C/6s	3.1
O2	150°C/12s	3.8
O3	150°C/18s	4.6
O4	150°C/24s	4.7
O5	180°C/6s	4.1
O6	180°C/12s	5.1
O7	180°C/18s	5.4
O8	180°C/24s	5.4

Özgül Aşınma Değeri: Şekil 9'da tüm numunelere ait özgül aşınma oranları gösterilmiştir. Sonuçlara göre sinterleme sıcaklık ve süresi özgül aşınma oranına olumlu oranda etkilediği görülmektedir. En uygun sinterleme sıcaklığının 180°C olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Farklı Numunelerin Özgül Aşınma Oranları

Sıcaklık Bulguları: TS 555 standardını referans alınarak 50dk boyunca 3.14m/sn'lik hızda 9420m dönen diskle temas eden balatalardan alınan sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Şekil 10'da görüldüğü gibi sıcaklık yaklaşık 20°C ile başlamış, çevrim ilerledikçe sürekli artış göstermiştir. O1, O2, O3, O4 balatalarının ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla 350, 330, 300, 270°C olduğu O5, O6, O7, O8 balatalarının ortalama sıcaklık değerleri ise 300, 350, 300, 270°C olduğu görülmektedir.



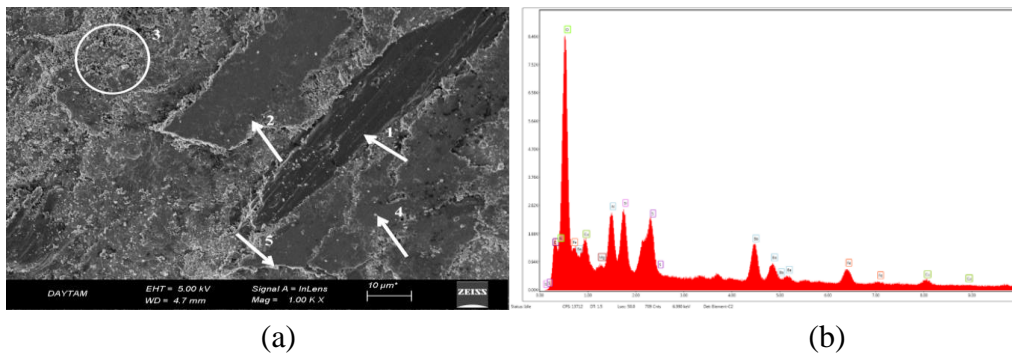
Şekil 10. 150°C ve 180°C'de farklı sürelerde sinterlenen balataların sıcaklık değişim grafiği

Sertlik Bulguları ve Yoğunluk Değeri: Beş farklı noktadan 3 ayrı tekrar yapılarak elde edilen sertlik sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir. Ticari balata ve referans alınan çalışmalardaki sertlik değerlerinin HRR 30-80 aralığındadır. Görülmektedir ki tüm balata sertlik değerleri yaklaşık bu aralıktadır. Arşimet prensibine göre numunelerin yoğunlukları hesaplanmıştır. Elde edilen değerlerin ortalama olarak $1.635 - 2.09 \text{ g.ml}^{-1}$ aralığında olduğu görülmüştür.

Çizelge 6. Numunelerin sertlik değerleri

Numune Kodu	Üretim Parametresi	Sertlik HRR
O1	150°C/6s	72.89
O2	150°C/12s	79.33
O3	150°C/18s	78.23
O4	150°C/24s	76.63
O5	180°C/6s	75.71
O6	180°C/12s	79.92
O7	180°C/18s	80
O8	180°C/24s	81

SEM/EDS Analizi Sonuçları: O7 numunesinin SEM görüntüsüne bakıldığında (Şekil 11(a)) 1 numara ile gösterilen bölgede bulunan deformasyonun abrasiv aşınmadan kaynaklı olduğu düşünülmektedir. 2 numara ile gösterilen bölgede ise adhesiv aşınma görülmektedir. Adhesiv aşınmanın sebebi sürtünme yüzeylerinden kopan parçaların tekrar yüzeye yapışmasıyla oluştuğu bilinmektedir. 3 numara ile gösterilen bölgede balata imalat sırasında oluşan topaklanmaların oluşturduğu düşünülmektedir. Bunun sebebinin de baritten kaynaklandığı (Sugözü, 2009). 4 numara ile işaretlenen bölgede küçük parçalar ise sürtünmeye katılan metal parçacıklarından olduğu sanılmaktadır. 5 numara ile gösterilen parlak beyaz oluşumların ise yüzeyde meydana gelen oksit tabakası nedeniyle olduğu tahmin edilmektedir (Gültekin, 2007). Şekil 9 (b)ve (c) için alınan O7 numunesinin EDS analiz sonucunu incelediğimizde, oksijen elementinin en fazla olduğunu sürtünme bölgesinde anlaşılmıştır. Bunun nedeni, şu şekilde açıklanabilir; aşındırıcıların tamamında ve barit içerisinde oksijen bulunması ve yüzeyde oluşan oksit miktarıdır (Gültekin, 2007). O, Al ve Si elementlerinin bulunması balata yüzeyinde yüksek oranda aşındırıcı bulundurduğunun kanıtıdır.



Element	C K	N K	O K	Mg K	Al K	Si K	S K	Ba L	Fe K	Cu K	Toplam
Ağırlık (%)	3.95	6.12	34.34	0.53	6.54	6.44	10.41	23.36	4.93	3.37	100.00

(c)

Şekil 11. O7 Numunesinin (a)Aşınma Yüzeylerinin SEM Görüntüleri (b) Numunesinin EDS Analizi (c)Elementel Analiz Sonuçları

SONUÇ

150 ve 180°C sıcaklık da, 6, 12, 18 ve 24 saat fırınlanarak üretilen balata örneklerinde;

- Çalışmanın en önemli sonucu Asbest içermeyen çevreye duyarlı ve zararsız fren balataların üretilmesidir.
- Numune sürtünme katsayısı değerleri ve kesme gerilme değerleri sinterleme sıcaklığı arttıkça attığı gibi sinterleme zamanı arttıkça da artmıştır.
- Tüm balatalar TS555 standardında E ve F sınıfına uygundur.
- Ticari balatalara uygun sürtünme katsayısı değerleri O2, O3, O4, O5, O7 balatalardır.
- Özgül aşınma oranının en düşük olduğu numune O7 ve O8'dir. Özgül aşınma oranında sinterleme sıcaklığı ve sinterleme zamanından etkilendiği görülmektedir.
- Akademik çalışmalarda bu değerlerin örtüştüğü görülmektedir. Testlerde en az sıcaklık değeri O4 ve O7 balata numunesinden elde edilmiştir.
- Balata sertlik değerleri 30-80HRR sertlik değerler aralığında fakat en üst sınırında olduğu anlaşılmıştır.
- Numunelerin yoğunluk değerleri ticari balatanın yoğunluk değer aralığından (2,0-2,3 g/cm³) daha düşük değerde olduğu tespit edilmiştir.
- O7 balatasının kesme testi yapılan yüzeyden alınan SEM görüntülerine göre abrasiv aşınma, adhesiv aşınma, topaklanma ve oksit tabakası olduğu anlaşılmıştır.
- EDS sonuçlarına göre balata yüzeyinde Al ve Si bolca aşındırıcı bileşenler bulunmaktadır. Yüzeyde oluşan oksit miktarı, diğer bileşenlerin sayesinde arttığı gözlemlenmiştir.
- Tüm parametreler ışığında 180°C de 18 saat sinterlenerek elde edilen O7 balata numunesinin tribolojik ve mekanik açıdan en yüksek performanslı balata olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Adıgüzel AA, 2015. Katı Yağlayıcı ve Aşındırıcı Bileşenlerin Fenolik Reçine Esaslı Fren Balatalarının Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon (Basılmış).
- Algan İB, 2015. Organik Fren Balatalarında Kullanılan Metal Tozlarının Aşınma ve Sürtünme Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (Basılmış).
- Gültekin D, 2007. Metal Matrisli Kompozit Fren Diski, Balatası Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya (Basılmış).
- Hee KW ve Filip P, 2005. Performance of Ceramic Enhanced Phenolic Matrix Brake Lining Materials for Automotive Brake Linings. *Wear*, 259: 1088-1096.
- Kahya K, 2017. Otomotiv Fren Balatalarında Farklı Bağlayıcı Malzeme Kullanımının Frenleme Performansına Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin (Basılmış).
- Karaoğlu, Y., (2006). Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kocabaş İ, 2012. Kompozit Malzemelerin Fren Balatalarında Kullanılabilirliğinin ve Frenleme Performansının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ (Basılmış).
- Kuş H, 2014. Bronz Esaslı Seramik Takviyeli Fren Balatalarının Performansının Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (Basılmış).
- İdris UD, Aigbodion VS, Abubakar IJ ve Nwoye CI, 2013. Eco-friendly Asbestos Free Brake-Pad: Using Banana Peels. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 27: 185-192.

- Singh T, Patnaik A ve Chauhan R, 2016. Optimized Selection of Cement Kiln Dust Filled Brake Pad Formulation for Best Tribo-Performance Properties Using Grey Relation Analysis Approach. *Materials and Design*, 89: 1335-1342.
- Sugözü İ, 2009. Bor Takviyeli Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ (Basılmış).
- Sugözü İ, Mutlu İ ve Öner C, 2011. Fren Balatası Üretiminde Sıcak Presleme Süresinin Frenleme Karakteristiğine Etkisinin Araştırılması. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey.
- Sugözü, İ., Mutlu, İ., And Keskin, A., 2015. The effect of using heat treated ulexite and cashew in automotive friction materials. *Materials Testing* 57(9): 744-749.
- Öztürk B, Öztürk S ve Adıgüzel AA, 2013. Effect of Type and Relative Amount of Solid Lubricants and Abrasives on the Tribological Properties of Brake Friction Materials. *Tribology Transactions*, 56(3): 428-441.
- Yawas DS, Aku SY ve Amaren SG, 2016. Morphology and Properties of Periwinkle Shell Asbestos-Free Brake Pad. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 28: 103-109.
- Yüce S, 2013. Otomotiv Fren Balatası Sürtünme Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin (Basılmış)