
Araştırma Makalesi / Research Article

Askeri Araçlar için Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin İncelenmesi

Cansu ENDES YILMAZ¹, İrem Yaren ÇAPKIN¹, Osman DALAR¹, Buse DEMİREL¹, Turgay YILDIRAN¹, İlker SUGÖZÜ^{2*}

¹ Beşer Balata, İzmir, TÜRKİYE

² Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, TÜRKİYE
cansu.yilmaz@beser.com.tr, yaren.capkin@beser.com.tr, osman.dalar@beser.com.tr, buse.demirel@beser.com.tr,
turgay.yildiran@beser.com.tr, ilkersugozu@mersin.edu.tr

Received/Geliş Tarihi: 03.11.2023

Accepted/Kabul Tarihi: 12.12.2023

Özet: Bu çalışmada, askeri araçlar için özel koşullara uygun fren balatası üretimi ve bu balataların frenleme karakteristiklerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, özel çalışma koşullarına sahip askeri tanklar için ideal bir frenleme sistemi oluşturmak amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, askeri tanklarda kullanılmak üzere balata formülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve sıcak basım yöntemiyle üretilen fren balatalarının performansı Chase ve Dinamometre testleriyle değerlendirilmiştir. Ayrıca, fırınlama işlemi öncesi ve sonrasında kimyasal testlerle balata özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Askeri araçların güvenliği ve etkinliği için kritik bir bileşen olan fren balatasının yapılan testler sonucu F grubu balata standardında yer aldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, balata malzemesinin özelliklerindeki değişimleri ve balatanın frenleme performansının belirlenmesini sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Dinamometre testi, Fren balata üretimi, Tank balataları

Brake Pad Production and Braking Characteristics Analysis for Military Vehicles

Abstract: In this study, the production of brake pads suitable for special conditions for military vehicles and the examination of the braking characteristics of these pads were carried out. In addition, it is intended to create an ideal braking system for military tanks with special operating conditions. In this direction, pad formulation studies were carried out for use in military tanks and the performance of brake pads produced by hot pressing method was evaluated with Chase and Dynamometer tests. Additionally, the pad properties were examined in detail with chemical tests before and after the baking process. As a result of the tests, it has been determined that the brake pad, which is a critical component for the safety and effectiveness of military vehicles, is included in the F group pad standard. The results obtained enabled the changes in the properties of the pad material and the braking performance of the pad to be determined.

Keywords: Dynamometer test, Production of brake pad, Tank brake pads

1. Giriş

Uçak, araba, motosiklet, tır ve çeşitli makineler dahil olmak üzere hareketli tüm ekipmanların yavaşlatılması veya durdurulması için frenleme sistemleri kullanılmaktadır. Fren sistemlerinin en önemli parçaları disk ve balata çiftidir. Fren balataları kaliper içerisine yerleştirilir, tekerleklerin dönmesi ile birlikte dönen disk üzerinde yer alan kaliper frenleme esnasında içerisinde yer alan piston ile fren balatalarını disk yüzeyine iterek sürtünme ile frenlemeyi sağlar. Frenleme sırasında kinetik enerji, sürtünme ile termal enerjiye dönüştürülerek aracın durması sağlanır (Yılmaz, 2022).

Gelişen teknolojiye bağlı olarak araç fren sistemleri günden güne değişmektedir. Fren balatalarının performansı ve ömrü kullanıldıkları araç türüne, yol güzergâhına, iklim şartları ve taşınan yüke bağlı

olarak çalışma koşullarına göre değişkenlik göstermektedir. Fren balatalarının istenilen özellikleri sağlamalarında malzeme seçimi oldukça önemli bir kriterdir. Temel fren balata bileşenleri bir aracın hızını azaltmak veya durdurmak için kullanılan malzemelerden oluşmaktadır. Birden fazla malzemenin bir araya gelmesi ile oluşan fren balataları kompozit bir yapıya sahiptir. Fren balata malzemeleri; tribolojik, mekanik, fiziksel ve termal özelliklere sahip olması ve çevreye zarar vermeyen malzemelerden oluşması gerekmektedir (Ünaldı ve Kuş, 2018). Fren balatalarında kullanılan malzemeler genel kapsamda 4 gruptan oluşmaktadır; sürtünme düzenleyiciler, dolgu, bağlayıcı ve takviye edici malzemelerdir. Sürtünme düzenleyici malzemelerinin yapısında aşındırıcı ve yağlayıcı özelliklere sahip malzemeler bulunur. Aşındırıcı malzemeler, fren balatasının sürtünme katsayısını arttırmak ve yüzeyin aşınmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle aşındırıcı malzeme olarak oksit grupları (alüminyum oksit, magnezyum oksit), sarı talaş, zirkonyum silikat, bor karbür ve çelik yünü kullanılmaktadır (Yavuz ve Bayrakçeken, 2022; Yavuz, 2023). Yağlayıcı malzemeler, fren balatalarında sürtünme katsayısını yüksek sıcaklıklarda stabil tutma, titreşim sönümlenme, aşınma miktarının kontrolünü sağlama ve ses problemini önleme amacıyla kullanılmaktadır. Dolgu malzemelerinin ise en önemli kullanım amacı maliyet düşürmedir. Buna ek olarak, fren balatalarında boşluk doldurucu olarak kullanılırlar. Çoğunlukla dolgu malzemesi olarak barit kullanılmaktadır. Barite ek olarak vermiculit, mika ve talk kullanılmaktadır. Bağlayıcı malzeme olarak genellikle fenolik reçine kullanılmaktadır. 1980'li yıllara kadar istenilen mekanik özellikleri karşıladığından dolayı asbest türü lifli malzemeler kullanılmıştır. Ancak asbest türü lifli malzemelerin çevreye ve insan sağlığına zararlı olduğunun belirlenmesiyle bu malzemelerin kullanımı yasaklanmıştır. Bu nedenle asbest türü lifli malzemeler yerine pamuk, metal, mineral veya organik malzemeler tercih edilmiştir. Bu bağlayıcı malzemelerin kullanım amacı balatayı bir arada tutmak ve kararlı bir matris yapısını oluşturmaktır (Sugözü, 2018). Takviye edici malzemeler, fren balatalarına iyi aşınma direnci, mekanik dayanım ve termal kararlılık sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. Genellikle cam elyaf, aramid, çelik yünü, taş yünü ve seramik malzemeler takviye edici malzemeler olarak tek başına ya da farklı bileşimlerle birlikte bir arada kullanılmaktadır. Fren balatalarında kullanılan malzemelerin, düşük aşınma oranlarına, yeterli mekanik dayanıklılığına ve düşük nem hassasiyetine sahip olmaları önem taşımaktadır. Buna ek olarak, bu malzemelerinin, taşıtlar için performans artırıcı bileşenleri içermesi ve formülasyonunun optimize edilmesi önem taşımaktadır. Fren balata malzemesi farklı özellikleri içeren 5 ila 20 farklı malzemenin karışımı ile farklı teknikler kullanılarak üretilmektedir. Fren balata oluşumunda kullanılacak malzemeler farklı devir ve zaman aralıklarını içeren ve farklı ağırlık oranlarındaki bir karıştırıcı ile karıştırılır. Hazırlanan karışım, farklı basınç, sıcaklık ve zaman aralıklarında sadece sıcak veya soğuk/sıcak kalıplama yöntemleri kullanılarak fren balata üretimi gerçekleştirilir. Farklı çalışmalarda, üretim yöntemlerine ek olarak kütleme ve sinterleme işlemleri de gerçekleştirilmiştir. Fren balataları üretimi ile ilgili yapılan çalışmalarda birçok seçenek bulunmasına rağmen araç üreticileri için güvenlik ve optimum çalışmayı sağlamak amacı ile uygun balata malzemesinin seçiminin dikkatli yapılması gerekmektedir. Bu seçim sırasında sürtünme katsayısına ve daha az aşınmaya sahip olan malzemelerin seçimi önem taşımaktadır (Yavuz, 2023; Sugözü, 2018; Lawal vd., 2019).

Fren balatalarında aranan en önemli özellik sürtünme katsayısı ve aşınma direncidir. Sürtünme katsayısı, fren balatalarının frenleme işlemi sırasında aracı yavaşlatmak veya durdurmak amacıyla fren diskine veya fren tamburuna baskı yapmasıyla meydana gelen sürtünme kuvvetinin büyüklüğünü ifade eder (Sugözü ve Sugözü, 2020). Fren balatalarında sürtünme katsayısı değerinin yüksek, ancak aşınma değerinin düşük olması gerekmektedir. Ayrıca fren balatasını oluşturan malzemelerin diski kısa süre içerisinde aşındırmaması da önemli olan diğer bir faktördür. Sürtünme katsayısı bazı faktörlere (fren balatasının malzemesi, yüzey özellikleri vb.) bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Frenlemeden dolayı sıcaklığın artmasıyla sürtünme katsayısında azalma meydana gelir (Abutu vd., 2018). Bu azalmanın minimum seviyede olması beklenir (Sugözü ve Sugözü, 2018; Egeonu vd., 2015). Bu nedenle, fren balatalarının sürtünme katsayısının yüksek sıcaklıklarda stabil olması gerekmektedir (Abutu vd., 2018). Literatüre bakıldığında; birçok araştırmacı tarafından istenilen

özelliklere sahip fren balatalarının yenilikçi malzemelerin araştırılması, farklı içeriklere sahip formülasyon denemeleri ile kararlı yapıya sahip fren balatası üretimi üzerine birçok araştırma yapıldığı görülmektedir (Chauhan vd., 2021; Jeganmohan ve Sugözü, 2020; Krishnan vd., 2021). Engebeli arazi, uygun olmayan yol güzergahları gibi gerek araç tipi gerekse taşınan yük açısından yüksek ağırlıklara dayanıklı ve dolayısı ile binek araçlar ile karşılaştırıldığında özel çalışma koşullarına sahip askeri tank vb. araçlar için fren balatası üretilmesi konusunda bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, özel çalışma koşullarına sahip askeri tanklarda kullanılmak üzere geliştirilen balata formülasyonu sıcak basım yöntemi ile üretilmiştir. Özel şartlara sahip olan askeri araç tank balatalarının yüksek sürtünme katsayısı, zor çalışma koşulları altında stabil ve kararlı bir yapıda kalma gibi gereksinimleri karşılama performansları Chase sürtünme ve Dinamometre aşınma testleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, fırınlama işlemi öncesi ve fırınlama işlemi sonrasında kimyasal ve fiziksel testler ile balatanın özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada savunma sanayiinde kullanılan tank tipi araçlara uygun fren balatalarının üretimi için yeni formülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Balata içeriğini oluşturan malzemeler ve görevleri

Malzeme adı	Görevi
Fenolik reçine	Bağlayıcı
Aramid	Dayanım
Grafit	Yağlayıcı
Sürtünme tozu	Dolgu malzemesi
Oksit grupları	Aşındırıcı
Çelik tozu	Aşındırıcı
Petrol koku	Yağlayıcı
Kireç	Dolgu malzemesi
Çinko tozu	Aşındırıcı
Sarı talaş	Aşındırıcı
Metal sülfid karışımı	Aşındırıcı

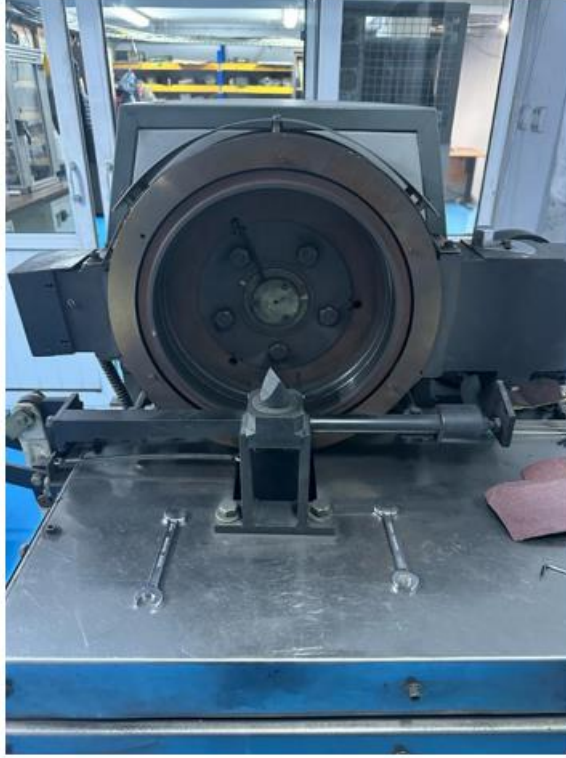
Oluşturulan formülasyonda; yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direnci sağlayan, termal kararlılığı yüksek olan bağlayıcı malzeme fenolik reçine, mekanik dayanımı artırması amacı ile aramid, sertlik, termal kararlılık ve kararlı sürtünme katsayısı özellikleri sağlaması nedeniyle ise takviye edici malzemeler kullanılmıştır. Hacmi arttırmak ve maliyeti azaltmak için dolgu malzemeleri, sürtünmeyi stabilize etmek için sürtünme ayarlayıcı malzemeler istenilen kriterleri elde etmek amacı ile seçilmiştir. Balata içeriği Tablo 1’de verilmiştir.

Balata üretim prosesinin ilk aşaması olan malzeme karışımının hazırlanmasında kullanılan hammaddeler sıra ile tartılmış, ilk olarak aramid karıştırıcıya aktarılıp 4 dk karıştırılmış ve sonrasında bütün hammaddeler karıştırıcıya eklenerek 6 dk boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen karışımın; bulk yoğunluğu, nem, aseton ve kül testleri gerçekleştirilerek formülasyona ait toz malzemelerin karışımdaki etkisini belirlemek için kimyasal özellikleri incelenmiştir. Balata üretim işlemi toz metalürji yöntemi olan sıcak pres ile Tablo 2’de verilen üretim koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Balata üretim parametreleri

Gösterge Basıncı (bar)	60
Deney Basıncı (bar)	490
Sıcaklık (°C)	150

Balata üretimi sonrasında fırınlama işlemi; 125°C’de 30 dk., 150°C’de 120 dk. ve 200°C’de 120 dk. olmak üzere üç farklı kademede 2.2°C/dk artış ile toplamda 6 saatte gerçekleştirilmiştir. Fırınlama öncesi ve sonrası yoğunluk, aseton ekstraksiyon, kül miktarı ve kalınlaşma ölçümleri yapılarak balatanın fiziksel/kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Fırınlama işlemi sonrası balataların Şekil 1’de gösterilen Chase sürtünme cihazı ile sürtünme katsayıları ve Şekil 2’de verilen aşınma test cihazı ile aşınma oranları SAE J661 ve TS 555 standartlarında belirlenen kriterlere uygun olarak belirlenmiştir (TS 555, 2019; SAE J661, 2021).



Şekil 1. Sürtünme test cihazı ve numune balata görseli



Şekil 2. Aşınma test cihazı ve numune balata görseli

Sürtünme testi için çalışma kapsamında üretilen balata kare blok halinde kesilerek balatanın üç farklı noktadan kalınlığı ve ağırlığı ölçülmüş sonra zımpara ile yüzey alıştırma işlemi uygulanmıştır (SAE

J661, 2021). Sonrasında balata, aşınma test cihazına takılarak bilgisayarda SAE J661 standardının tanımlı olduğu program üzerinden testler yapılmıştır. Test tamamlandıktan sonra kalınlık ve ağırlık ölçümü yapılmış ve aşınma miktarı belirlenmiştir.

Fren balatasının kalınlaşma deneyi TS 555'e göre yapılmıştır (TS 555, 2019). Balata temas yüzeyleri zımparalanmış ve balata taşıyıcısının kaplaması çıkartılmıştır. Balata üzerindeki iki farklı noktadan ortam sıcaklığında kalınlık ölçülmüş ve işaretlenmiştir. 300°C sıcaklıkta balata yüzeyi fırın cidarına değecek şekilde balata yerleştirilmiş ve 10 dakika fırında bekletilmiştir. İşlem sonrası balata fırından çıkarılmış 30 saniye içerisinde daha önce işaretlenmiş iki noktadan ölçüm yapılarak kalınlık farkı elde edilmiş ve balata kalınlaşma değeri belirlenmiştir.

3. Bulgular

Savunma sanayiinde kullanılan tank tipi araçlar; binek, hafif ticari ve ağır vasıta araç türlerine kıyasla daha özel şartlarda çalışmaktadır. Kullanım amacı gereği, yük açısından oldukça ağır ve zorlu arazi şartlarında kullanılmaktadır. Kompozit fren balatalarının sürtünme katsayıları, dayanım güçleri ve ömürleri, yol, arazi, iklim koşulları ve taşınan yük vb. parametrelere göre değişkenlik göstermektedir. Çalışma kapsamında, özel çalışma koşullarına sahip askeri tanklarda kullanılmak üzere üretilen sıcak basım fren balatalarının frenleme performansları gerçekleştirilen kimyasal ve fiziksel testler ile belirlenmiştir.

Fren balatasının kimyasal özellikleri, içerdikleri hammaddelere ve üretim koşullarına göre değişkenlik göstermektedir. Balatanın tribolojik ve morfolojik özelliklerini etkilemesi nedeni ile kimyasal analizler önem taşımaktadır. Tablo 3'te çalışma kapsamında üretilen balatalara ait fırınlama işlemi öncesi ve sonrası olmak üzere gerçekleştirilen analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 3. Balata analiz sonuçları

ANALİZ	Fırın öncesi	Fırın sonrası
Yoğunluk (g/cm ³)	2,82	2,74
Aseton Ext. (%)	1,16	2,20
Kül Miktarı (%)	91,03	89,58
Kalınlaşma (%)	-	0,37

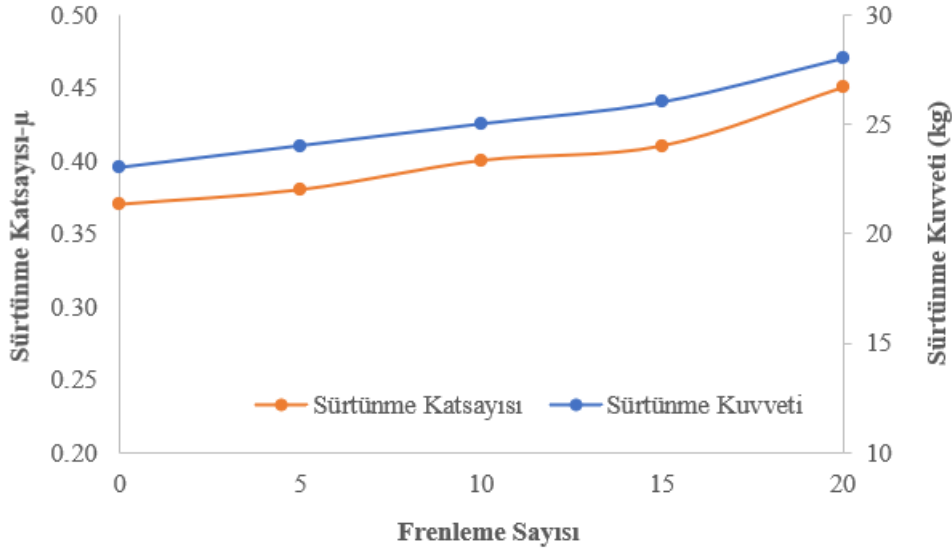
Fırınlama sonrası balata yoğunluğunun ve kül miktarının azaldığı görülmüştür. Bu durumun fırınlama sonrası balata kombinasyonundaki malzeme içeriğine bağlı olarak balata içerisindeki boşlukların (porozite) azalmasından kaynaklanabileceği literatürde belirtilmiştir (Yavuz ve Bayrakçeken, 2022; Yavuz, 2023; Sugözü, 2018).

Balata kalınlaşma deneyi sonucunda üretilen balatanın kalınlaşma test sonucu %0.37 bulunmuştur. Standartta balata kalınlaşmasının balata kalınlığının %1'inden fazla olmaması gerekmektedir (TS 555, 2019). Test sonucu balata kalınlaşma değerinin standart değerinde olduğu belirlenmiştir.

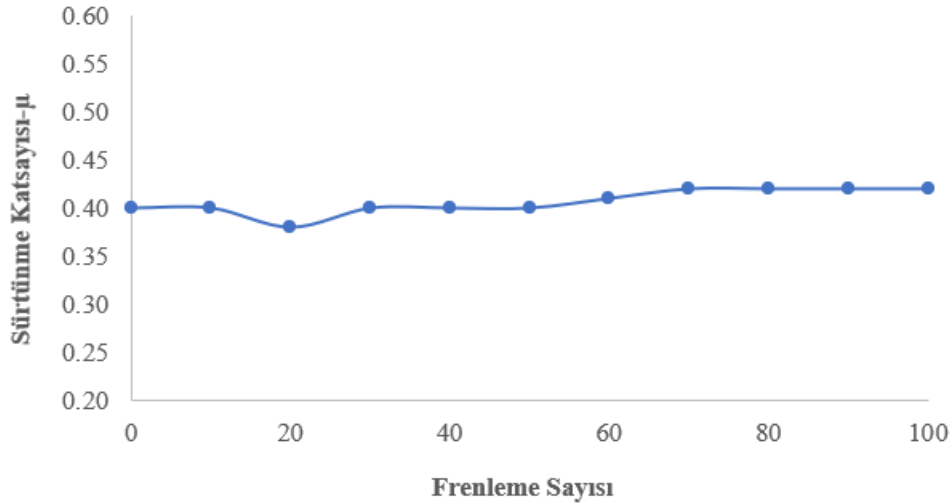
Sürtünme katsayısı ve aşınma değerleri balatanın performansını belirlemektedir. Otomotiv endüstrisinde sürtünme katsayısının yüksek, aşınma oranının ise düşük olması ve farklı sıcaklıklarda sürtünme katsayısının sabit olması istenir (Yavuz, 2023; Sugözü, 2018; Lawal vd., 2019). Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te çalışma kapsamında üretilen balatanın sürtünme test sonuçları yer almaktadır.

50 km/h hızda, 25 kg sürtünme kuvvetinde ve 100 frenleme yapılarak elde edilen sürtünme katsayısı değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde frenleme sayısına bağlı olarak sürtünme katsayısı sürtünme kuvveti ile orantılı olarak düzenli bir şekilde artmıştır. Sürtünme katsayısının sürtünme kuvvetine bağlı olarak artması; balata sürtünme yüzeyinin tamamının disk yüzeyine temas etmesi,

sürtünme tabakası oluşumu ve balatanın disk yüzeyinde oluşturduğu baskı kuvvetinin etkisi olarak söylenebilir (Sugözü ve Sugözü, 2020).



Şekil 3. Frenleme sayısına bağlı olarak Sürtünme Katsayısı ve Sürtünme Kuvveti değişimi

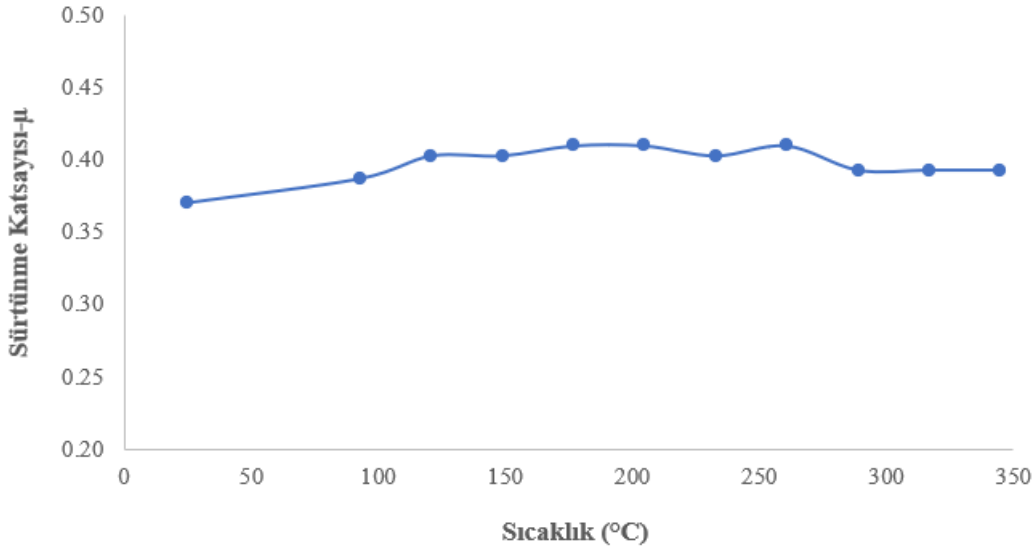


Şekil 4. Frenleme sayısına bağlı olarak Sürtünme Katsayısı değişimi

Şekil 4, 50 km/h hız, 30 kg sürtünme kuvveti altında 100 frenleme yapılarak elde edilen sürtünme katsayısı değişimini göstermektedir. Şekil incelendiğinde 20 frenlemeden sonra sürtünme katsayısında artış görülmüştür. 20 frenleme sonrası balata yüzeyinin disk yüzeyine tamamen temas etmesine bağlı olarak sürtünme tabakası oluşmuş ve sürtünme katsayısını arttırmıştır (Sugözü ve Sugözü, 2020; Sugözü ve Sugözü, 2020; Egeonu vd., 2015). Sürtünme kuvveti arttıkça balatanın disk yüzeyine baskı kuvveti artmakta bu durum sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır (Sugözü ve Sugözü, 2020; Egeonu vd., 2015). 20 frenlemeye kadar balata ile disk yüzey örtüşmesine bağlı olarak sürtünme katsayısı alışma süreci sergilemiş, 20 frenlemeden sonra balatanın disk yüzeyi ile örtüşmesine bağlı olarak sürtünme katsayısı şekillenmiştir (Sugözü ve Sugözü, 2020). 70 frenlemeden sonra balata ile disk yüzeyinin tamamen örtüşmesine bağlı olarak sürtünme katsayısı stabil bir hal almıştır.

Şekil 5, 50 km/h hız, 25 kg sürtünme kuvveti ve 100 frenleme yapılarak elde edilen sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimini göstermektedir. Balata yüzeyinin disk yüzeyine tamamen örtüşmesine

bağlı olarak sürtünme katsayısı sıcaklık şekillenmiştir (Sugözü, 2018; Lawal vd., 2019; Sugözü ve Sugözü, 2020; Sugözü ve Sugözü, 2020). Fren balatalarında sürtünme katsayısı sıcaklık ile orantılı bir şekilde değişim göstermektedir (Sugözü, 2018; Lawal vd., 2019; Sugözü ve Sugözü, 2020; Sugözü ve Sugözü, 2020; Egeonu vd., 2015). Sürtünme katsayısı arttıkça disk yüzeyindeki sürtünme kuvvetine bağlı olarak sıcaklıkta artmaktadır. Oluşan sıcaklık artışına bağlı olarak sürtünme katsayısının yükselmesi daha sonra stabil bir şekil alması istenen durumdur. Sürtünme katsayısı eğrilerindeki dalgalanmalar, temas sırasında disk yüzeyindeki temas alanlarının iç kısmına doğru sıcaklığın sürekli değişmesinden kaynaklanmaktadır. Bu etki sürtünme katsayısının sürekli olarak azalmasına ve artmasına neden olmaktadır (Yavuz, 2023; Sugözü, 2018; Lawal vd., 2019; Sugözü ve Sugözü, 2020; Sugözü ve Sugözü, 2020; Egeonu vd., 2015). Çalışma kapsamında üretilen fren balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0.40 olarak bulunmuş ve F sürtünme sınıfına dahil olduğu saptanmıştır (SAE J866, 2019).



Şekil 5. Sürtünme Katsayısı sıcaklık değişimi

Tablo 4. Balatanın deney öncesi ve sonrası fiziksel özellikleri

	Ağırlık (g)	Kalınlık (mm)
Deney öncesi	17,07	7,65
Deney sonrası	17,00	7,58
Fark	0,07	0,07

Aşınma testi sonrası balata kalınlığı ve ağırlığı ölçülmüş, aşınma miktarı belirlenmiştir. Test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Sürtünme testi sonrası balata ağırlığında %0.40, balata kalınlığında ise %0.90 azalma meydana gelmiştir. Kalınlaşma değeri her durumda balata kalınlığının %1'inden fazla olmamalıdır (TSE 555, 2019). Deney sonrası balata kalınlaşma değeri %1 standart değer aralığındadır.

Güvenlik ve frenleme performansı, malzeme aşınma oranından doğrudan etkilenebilir. Dolayısıyla, aşınma testleri fren balatası performansını belirlemek için kullanılan en önemli testler arasındadır. Tribolojik sistemler aşınma ve sürtünme ile oluşan teknik sistemlerdir. Frenleme tribolojik bir olaydır, dolayısıyla fren balatası performansının değerlendirilmesinde aşınma-sürtünme testi oldukça önemlidir (Akıncıoğlu vd., 2021).

Dinamometre testi temelde simülasyon testi olarak tanımlanabilir. SAE J661 ve TSE 555 standartları göz önüne alınarak gerçekleşen testte fren balatasının farklı sıcaklık ve frenleme sayıları karşısında sürtünme katsayısındaki değişim incelenmektedir. Şekillerden de görüldüğü üzere; değişken parametreler karşısında sürtünme katsayısı kararlı bir yapı sergilemiştir. Artan sıcaklık ile malzeme

matrisine bağlı olarak sürtünme katsayısı değişkenlik göstermektedir (Sugözü, 2018; Lawal vd., 2019; Sugözü ve Sugözü, 2020; Sugözü ve Sugözü, 2020). Grafikler incelendiğinde artan sıcaklık ile sürtünme katsayısında kabul edilebilir düzeyde azalma meydana gelmekte sonrasında ise stabil bir şekilde devam etmektedir. Bu durum, fren balatasının sahip olduğu kompozit matris yapısının kararlılığını göstermektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, özel çalışma koşullarına sahip askeri tanklarda kullanılmak üzere oluşturulan balata formülasyonu sıcak basım yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen fren balatasının frenleme karakteristiği ve performansı kimyasal ve fiziksel testler ile belirlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

- Üretilen fren balatalarının yoğunluk değerleri standart aralıkta bulunmuştur.
- Fren balatalarında kalınlaşma balata kalınlığının %1'inden fazla olmamalıdır, çalışma kapsamında üretilen balatanın kalınlaşma test sonucu 0.07 mm bulunmuştur. Standart değerde olduğu belirlenmiştir.
- Dinamometre testleri sonucu farklı frenleme sayısı ve sıcaklık değerlerinde sürtünme katsayısının sabit kaldığı belirlenmiştir.
- Artan sıcaklık karşısında balatanın kompozit matrisinin kararlı bir yapı sergilediği belirlenmiştir.
- Sürtünme testi sonrası balata ağırlığında %0.40 balata kalınlığında ise %0.90 azalma meydana geldiği ve standart aralıkta olduğu belirlenmiştir.
- Çalışma kapsamında üretilen fren balatasının ortalama sürtünme katsayısının 0.40, sürtünme sınıfının ise F olduğu belirlenmiştir.

Üretilen fren balata formülasyonunun farklı arazi ve uygun olmayan yol şartlarında askeri araç olarak kullanılan yüksek ağırlıklı tanklar için uygun olduğu belirlenmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

Abutu, J., Lawal, S.A., Ndaliman, M.B., Lafia-Araga, R.A., Adedipe, O. & Choudhury, I.A. (2018). Production and Characterization of Brake Pad Developed From Coconut Shell Reinforcement Material Using Central Composite Design. *SN Applied Sciences*, 1(82). Doi: 10.1007/s42452-018-0084-x.

Akincioğlu, G., Akincioğlu, S., Öktem, H. & Uygur, İ. (2021). Brake Pad Performance Characteristic Assessment Methods. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 5(1), 67-78. Doi: 10.30939/ijastech..848266.

Chauhan, V., Bijwe, J. & Darpe, A. (2021). Functionalization of Alumina Particles to Improve the Performance of Eco-Friendly Brake-Pads, *Friction*, 9, 1213–1226.

Egeonu, D., Oluah, C. & Okolo, P. (2015). Production of Eco-Friendly Brake Pad Using Raw Materials Sourced Locally In Nsukka. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 5(11), 47-54.

Jeganmohan, S., & Sugozi, B. (2020). Usage of Powder Pinusbrutia Cone and Colemanite Combination in Brake Friction Composites as Friction Modifier. *Materials Today: Proceedings*, 27(3), 2072-2075.

- Krishnan, G. S., Kumar, S., Suresh, G., Akash, N., Kumar, V. S. & David, J.P. (2021). Role of Metal Composite Alloys in Non-Asbestos Brake Friction Materials-A Solution for Copper Replacement. *Materials Today: Proceedings*, 45, 926-929.
- Lawal, S.S., Ademoh, N.A., Bala, K.C. & Abdulrahman, A.S. (2019). A Review of the Compositions, Processing, Materials and Properties of Brake Pad Production. *Journal of Physics:Conference Series*, 1378. Doi: 10.1088/1742-6596/1378/3/032103.
- SAE J661, (2021). Brake Lining Quality Test Procedure, SAE International, Warrendale, USA.
- SAE J866, (2019). Friction Coefficient Identification and Environmental Marking System for Brake Linings, SAE International, Warrendale, USA.
- Sugözü, B. (2018). Investigation of Ulexite Usage in Automotive Brake Friction Materials. *Turkish Journal of Engineering*, 2 (3), 125-129. Doi: 10.31127/tuje.403215.
- Sugözü, B. & Sugözü, İ. (2020). Investigation of the Use of a New Binder Material in Automotive Brake Pad. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 4(4), 258-263.
- Sugözü, B. & Sugözü, İ. (2020). Investigation of Usage of Milled Pine Cone in Brake Pads. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 4(4), 253-257.
- TSE 555, (2019). Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar- Sürtünmeli Frenler için Balatalar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ünaldı, M. & Kuş, R. (2018). The Determination of The Effect of Mixture Proportions and Production Parameters on Density and Porosity Features of Miscanthus Reinforced Brake Pads by Taguchi Method. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 7(1), 48-57.
- Yavuz, H. (2023). An Experimental Case Study on The Comparison of The Use of Micronized Quartz and Alumina in Brake Pads. *Turkish Journal of Nature and Science*, 12 (3) ,9-14. Doi: 10.46810/tdfd.1291333.
- Yavuz, H. & Bayrakçeken, H. (2022). Investigation of Friction and Wear Behavior of Composite Brake Pads Produced with Huntite Mineral. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 6 (1) ,9-16. Doi: 10.30939/ijastech..1022247.
- Yılmaz, A.C. (2022). Effects of Fly Ash Introduction on Friction and Wear Characteristics of Brake Pads. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 11(3), 96-103. Doi: 10.18245/ijaet.1108124.