



MERMER ATIKLARI KULLANILARAK ÜRETİLEN OTOMOTİV FREN BALATASININ SÜRTÜNME KATSAYISININ FARKLI FREN BALATALARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

MARBLE WASTE USING PRODUCED OF AUTOMOTIVE BRAKE PAD OF FRICTION COEFFICIENT DIFFERENT PAD BRAKE PADS WITH COMPRASION

Mustafa TİMUR^{1*}, Halil KILIÇ²

^{1,2}Teknik Bilimler MYO, Makine Programı, Kırklareli Üniversitesi, 39100, Kırklareli.
mustafatimur@kirlareli.edu.tr, halil.kilic@kirlareli.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 10.05.2012, Kabul Tarihi/Accepted: 12.09.2012
*Yazışılan yazar/Corresponding authour : Mustafa TİMUR

doi: 10.5505/pajes.2013.55264

Özet

Otomotiv frenlerinde kullanılan balatalar birçok maddenin bileşiminden yapılır. Bir fren balatasından istenilen temel özellikler, standartlara uygun aşınma direnci, sürtünme katsayısıdır. Frenleme sırasında sürtünme nedeniyle fren balataları aşırı ısınmaktadır. Aşırı sıcaklık nedeniyle balataların frenleme performansı değişebilmekte veya balatalar mekanik deformasyona uğramaktadır. Bu çalışmada; Türkiye’de mermerin işlenmesi neticesinde ortaya çıkan mermer toz atıklarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için, mermer artıkları öğütülerek toz haline getirilmiştir. Çeşitli katkı maddeleri kullanılarak yeni formülasyonlu fren balataları üretilmiştir. Üretilen fren balatalarının sürtünme performansları farklı firmaların balataları ile karşılaştırılarak sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir. Böylece mermer tozunun frenleme performansına etkisi incelenmiştir. Mermer tozunun frenleme performansında olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Mermer, Mermer tozu, Balata, Sürtünme, Aşınma.

Abstract

Brake linings used in automotive disks are usually composed of various components. Expected properties from a brake lining are appropriate standard value of wear resist, friction coefficient. Brake lining extremely warms up during braking due to friction. The braking performance of brake lining changes and braking lining is subject to mechanical deformation due to excessive temperature. In this study, it is aimed to reevaluate the waste of marble dust in marble processing in Turkey. For this purpose, marble wastes are grinded to produce marble dust. The brake lining, which has new formulation, is produced by using various additive materials. The friction performances of the brake pads produced were compared with those of other firms and the results were show in graphics. Therefore, the effect of marble dust on braking performance is investigated. It is observed that a favorable result in braking performance is obtained using of marble dust.

Keywords: Marble, Marble dust, Brake pad, Friction, Wear.

1 Giriş

Otomobil icat edilene kadar sürtünme malzemeleri ve sürtünme mekanizmaları konusunda çok az gelişme olmuştur. İlk otomobillerde çok farklı sürtünme malzemeleri (balatalar) kullanılmıştır. Uzun yıllar kullanılan asbest esaslı sürtünme malzemeleri sağlık gerekçesiyle asbest kullanımının yasaklanması sonucu yerini asbest içermeyen elyaf takviyeli kompozit balatalara bırakmaktadır [1]-[2].

Fren performansının en önemli göstergesi, frenlemeden sonra sağlanan kısa durma mesafesidir. Bu maksimum yavaşlama ivmesi ile mümkündür. Yüksek frenleme kuvveti, sürtünen yüzeylerin önemli bir kısmını oluşturan balata kalitesi ile ilgilidir [3].

Otomotiv ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan balataların kompozisyonlarında 15-20 adet farklı malzeme mevcuttur. Kaliteli bir balata üretebilmek için bu malzemelerin hangi oranlarda kullanılacağını belirlemek oldukça zordur [4].

Asbest esaslı sürtünme malzemelerinin zararlı etkileri ve yüksek sıcaklıklara çok duyarlı olmaları; bilim adamlarını yüksek sıcaklıklarda daha dayanıklı ve insan sağlığını tehdit etmeyen malzemeler araştırmaya yöneltmiştir. Bu yüzden fren balata içeriklerinde büyük değişiklikler olmuştur [5]. Bazı ülkeler asbesti kaldırarak yerine kullanılabilecek başka mineral arama çabasına girmişlerdir. Yine bu ülkeler, nonasbestos adı altında yeni balata malzemeleri üreterek, yeni ürünlerini piyasaya sunmuşlardır. Fakat bu ürünlerin maliyeti,

normal asbestli balatalara göre üç dört kat fazla olmaktadır. Yeni geliştirilen bu ürünler konusunda bu firmalar çok hassas davranarak bilgi vermekten kaçınmaktadırlar [6].

Farklı fren dizaynları ve tasarlanmış işlemler için balata malzeme seçimi de yapılabilir [7]. Sürtünme esnasında yüzeylerin pürüzlülüğü ve absorpsiyonu sonucu meydana gelen sıcaklık, sürtünme katsayısını önemli ölçüde etkiler, sıcaklığın artması malzemede sürtünme katsayısının düşmesine neden olur ve sistem görev yapmaz hale gelir [8].

Tüm bu kabullerin ışığında balatalar bütün frenleme durumlarında sabit kalan bir sürtünme katsayısına (μ) sahip olmalıdır. Ancak uygulamada hız ve basıncın artmasıyla sıcaklığın yükselmesi sonucu sürtünme katsayısında düşme görülür.

Günümüzde birçok sanayi kuruluşunun sürtünme malzemelerinin verimliliğinin çok iyi performans göstermesi için çok farklı çalışmalar içerisine girdiği gözlenmektedir [2]. Sert ve parlak yüzey (pürüzlülüğün azalması) sürtünen yüzeylerin birbiri üzerinde daha kolay kaymalarına sebep olmaktadır. Bu nedenle yeni balatalar yapım aşamasında ezilme, kesme, aşınma, ısı ve suya dayanıklılık gibi testlerden geçirilmekte ve kullanım esnasında, balataların yukarıda açıklanan olumsuzluklar nedeni ile sürüş esnasında meydana getireceği olumsuz etkilerin minimuma düşürülmesi amaçlanmaktadır [9].

Taşıt hareket halinde iken kinetik enerjiye sahiptir. Taşıtın hızını azaltabilmek için sahip olduğu enerjiyi başka bir enerji

şekline dönüştürmesi gerekir. Taşıtın kinetik enerjisi frenleme süresince sürtünme yoluyla ısı enerjisine çevrilir[10]. Frenler, hareket enerjisini absorbe ederek, ısıya çevirir ve bu ısıyı da atmosfere yayarlar. Fren sistemleri çıkabileceğinden daha fazla ısıya maruz kalırsa fren balatalarındaki sürtünme katsayısı düşer ve frenlerin durdurma kabiliyetleri azalır [11]-[12].

Frenlerde sürtünmenin önemi bilinmektedir. Bu nedenle sürtünme gereçlerinin istenilen özelliklerde bulunmaları gerekmektedir. Sürtünme gereci düşükten, çok yüksek sıcaklıklara kadar sürekli değişebilen çalışma sıcaklıklarında ve yüksek hızlarda çalışmaktadır. Fren balatalarında gereç ne olursa olsun yüksek bir sürtünme katsayısı, üzerine uygulanan frenleme kuvvetlerine karşı dayanıklılık, iyi aşınma direnci ve sürtünme yüzeyine iyi oturma ilk bakışta istenilen özellikler olarak karşımıza çıkmaktadır [13].

Literatürde balatalardan istenen özellikler aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Her çalışma şartlarında sabit sürtünme performansı,
- Sürtünme katsayısının sıcaklık, fren basıncı ve hızdan bağımsız olması veya sürtünme davranışındaki değişimin az olması,
- Yüksek sıcaklık direnci,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- İyi korozyon direnci,
- Yüksek mekanik mukavemet,
- Düşük gürültü seviyesi,
- Hava koşullarından etkilenmeme,
- Balata malzemesinin sağlığa zararsız olması,
- Yüksek aşınma mukavemeti ve karşı malzemede düşük aşınma istenmektedir,

2 Materyal ve Metot

Sürtünme katsayısı test cihazının üretimi ve (A) kodlu piyasadan alınan balataların deneyleri Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv Öğretmenliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerin TS 555 ve TS 9076'da belirtilen şartlara uygun olarak yapılabilmesi için tasarlanan ve Şekil 1'de resmi verilen sürtünme katsayısı test cihazı, taşıtların disk frenlerinde kullanılan balataların sürtünme katsayısını etkileyecek farklı devir, sıcaklık, basınç gibi faktörleri oluşturarak sürtünme katsayısını tespit edebilmektedir. Fren balatası test cihazı ile sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı-zaman, sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturmak mümkündür.



Şekil 1: Fren balatası test cihazı.

Test cihazının üzerinde taşıt fren sisteminin mekanik kısmı bulunmaktadır. Mekanik sistemde disk, diskin hareketini sağlamak için elektrik motoru, kaliper, kaliperde fren balatalarının yerleştirileceği balata sacı kullanılmıştır. Söz

konusu test cihazının mekanik sistemi test cihazını oluşturan tezgâh üzerinde bulunmaktadır. Sistemde frenleme sağlanabilmesi için balata üzerinde oluşacak olan pedal kuvvetini oluşturan basınç hidrolik sistemle sağlanmaktadır.

Numune balata ile diskin bu dairesel dönme hareketi, yük kolunun ucuna yerleştirilmiş olan bir mil ile yük hücresinin yük algılama ucundan algılanan değerler fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneline aktarılmaktadır. Böylece dönme sırasında balata ile fren diski arasındaki sürtünme kuvveti F_s değeri elde edilmiş olmaktadır [14].

Mermer tozu katkılı numuneler sürtünme deneyi için Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv Öğretmenliği laboratuvarında bulunan sürtünme cihazında test edilmiştir.

Farklı içeriğe sahip deney numunelerinin üretimi esnasında malzeme oranlarını belirlemede kütesel oran esas alınmıştır. Her bir formüldeki balata içeriğini oluşturan bağlayıcı, sürtünme malzemesi ve diğer katkı malzemeleri 0,001g hassasiyetinde tartılmış, sonra bu karışımın homojenliğini sağlamak için numune içeriği mikserde uygun sürede karıştırılmıştır. Daha sonra toz karışım 1x1 inch'lik kare kalıpta 15 Mpa basınç altında soğuk preslenmiştir. Şekil 2'de numune tabletlerinin elde edilmesinde kullanılan soğuk presleme kalıbı ve imal edilen balata malzemesi gösterilmiştir. Karışımlar, daha önce yapılmış olan komprime kalıplarına, uygun miktarda doldurulmuştur.



Şekil 2: a) Soğuk presleme kalıbı.

b) Mermer tozu kullanılarak imal edilen balata.

Bu çalışmada mermer tozu katkılı fren balata numunelerinin üretiminde soğuk preslemeden sonra sıcak presleme yönteminden yararlanılmıştır. Sıcak presleme yöntemi ile hazırlanan toz karışımları mukavemet kazanmıştır. Soğuk presleme sonrasında numuneler 150 bar basınç ve 180 °C'de 10 dk süre ile sıcak preslenmiştir. Şekil 3'de soğuk/sıcak presleme cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3: Soğuk/Sıcak pres cihazı.

Mermer tozu katkılı balataların deney öncesi ve deney sonrasında kalınlık ölçüleri ve ağırlıkları alınmıştır. Sürtünme deneyinin ardından numunelere ölçme ve tartma işlemi uygulanmıştır. İşlem öncesinde balatalar üzerindeki yabancı

maddelerden arındırılması için etil alkol ile yıkanmış ve kurutulmuştur.

Mermer tozu katkılı fren balatalarının sıcaklık-sürtünme katsayısı değişimini belirlemek için 1,05 MPa basınçta deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler 90 dk. süresince yapılmış, disk hızı 1400 dev/dk. da tutulmuş sıcaklık 50 °C'den 400 °C'ye yükselene kadar 1 sn aralıklarla ölçümler yapılmıştır [15].

3 Farklı Firmalar Tarafından Üretilen Fren Balataları

Üretimini tamamladığımız mermer tozu katkılı (MG) fren balatasının deney sonuçlarının tutarlılığını kıyaslamak amacıyla TS 555 standartlarına sahip farklı balata firmalarından elde ettiğimiz balatalar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yaptığımız balata firmalarının isimleri kullanılmayıp sadece harflendirme yapılmıştır.

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 yayınlanmayıp patent alma yolu seçilmiştir [16].



Şekil 4: Disk fren balatası.

3.1 Deney Numuneleri

Üretilen MG kodlu asbestsiz organik balatalar (NAO-nonasbestos organic) grubunda olup polimerik bağlayıcı ve üretim metoduna göre presleme yoluyla üretilmiştir.

Numune balatalar iki farklı grup olarak planlanmıştır. Birinci grupta modifiye edilmiş mermer ve granit tozu ile birlikte belirlenen diğer bileşenler seçilmiş "MG" kodlu balatalar. İkinci grupta ise firmalardan alınan "A" kodlu balatalar olarak gruplandırılmıştır.

Tablo 1: Mermer tozu kullanılan numunelerin %'de oranları (Kütlesel).

| MG | MG-2 | MG-6 | MG-10 | MG-14 |
|--------------------------------|------|------|-------|-------|
| Reçine | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Bakır | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Al ₂ O ₃ | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Cashew | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Grafit | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Pirinç Tozu | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Granit | 2 | 6 | 10 | 14 |
| Mermer Tozu | 55 | 51 | 47 | 43 |
| TOPLAM | 100 | 100 | 100 | 100 |

3.2 Deneysel Çalışma ve Bulgular

Deneylerde içeriği değiştirilerek üretilen MG kodlu ve piyasadan alınan A kodlu balatalar kullanılmış olup ve içerikten üçer adet deney numunesi kullanılarak aritmetik ortalamaya değerler alınmıştır.

Üretilen MG kodlu balatalarda kütle oran esas alınmıştır. Dolgu malzemesi olarak barit yerine mermer tozu ve aşınma direncini arttırmak için granit kullanılmıştır.

Üretilen ve firmalardan alınan numunelerin deney şartları aşağıda verilmiştir,

1. Tüm deneylerde deney başlangıç sıcaklığı 40 °C olarak alınmıştır.
2. Bütün numuneler 0,7 MPa basınç altında sürekli sürtünmeye tabi tutularak balata yüzeyinin % 95'i fren diskine temas edinceye kadar alıştırma işlemi yapılmıştır. Bu işlemler esnasında TS 9076'da belirtildiği gibi zımparalama, temizleme ve soğutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.
3. Sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi 1,05 MPa basınç altında ve 40 °C'den 400 °C sıcaklığa kadar 90 dk. süresince her saniyedeki değerler bilgi kütüğüne kaydedilerek belirlenmiştir.
4. Balataların aşınma miktarının belirlenmesinde deneyler 1,05 MPa basınç altında 1400 dev/dk.'da yapılmıştır. Bu deney sonunda her bir numune balata hassas terazide tartılarak kütle kaybı tespit edilmiştir.

4 Bulgular

Farklı firmalardan alınan birçok balata ile yapılan testler sonucunda, üretilen balataların sürtünme karakteristiklerine benzer olan 4 tanesi ile frenleme karakteristiği ve sürtünme katsayısı gibi özellikler kıyaslanmıştır.

Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak kullanılan barite ilave olarak granit ve barit yerine mermer tozu ve granit farklı oranlarda kullanılarak üretilen MG kodlu balatalar ile piyasadan alınan A kodlu balataların fren performansına etkileri incelenerek karşılaştırılmıştır.

Üretilen numuneler içerisine muhtelif oranlarda mermer tozu, granit tozu ve barit katmak suretiyle farklı karakteristik özelliklere sahip yeni formüllü fren balatası numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler benzer işletme şartlarından geçirilerek bu faktörlerin balata karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada her içerik için deneyler üç kez tekrarlanmıştır ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır.

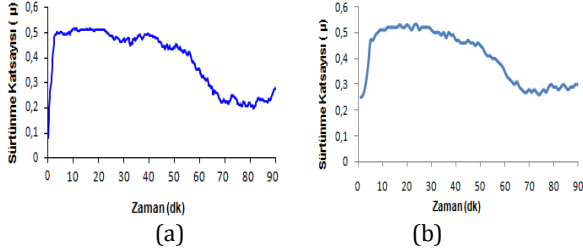
Mermer tozu ve granit katkılı numuneler "MG" harfleriyle, diğer firmalardan hazır alınan balatalar ise "A" harfleri ile simgelenmiştir. MG kodlu numune simgelerinde bulunan sayı ise katılan granitin % oranını ifade etmektedir.

Firmalardan alınıp deneylerde kullanılan balataların standart komponentleri bilinmektedir. Ancak firmalar ticari önem taşıdığından dolayı patent alma yoluna gitmişler ve balataların içeriklerindeki % kütle oranlarını gizli tutmuşlardır.

Bu nedenle firmalardan alınan ve üretimi yapılan balataların sadece sürtünme katsayısı-zaman grafikleri çizilerek karşılaştırılmıştır.

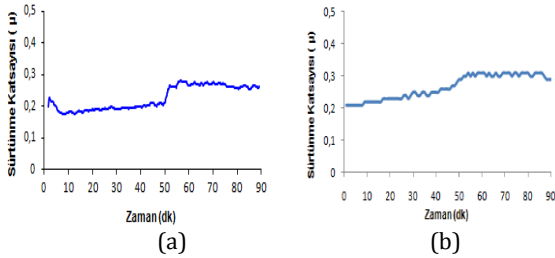
Deneyel çalışmalar sonucu oluşturulan grafikler Şekil 6, 7, 8'de verilmiştir. Şekil 6, 7 ve 8'de numunelerin sürtünme katsayısı-zaman grafiği görülmektedir. Zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişiminde sürtünme katsayısı değerleri 0,1 ile 0,6 arasında değişikliğe uğramıştır. Sürtünme katsayısı yüksek olan numunenin sürtünme yüzeyi yüksek olduğundan sıcaklık değeri de düşüktür. MG-2 kodlu numunenin 20 dk'ya kadar sürtünme katsayısında yükselme meydana gelirken 20 dk. sonra sürtünme katsayısında sıcaklığın artışıyla birlikte bir düşme olmuştur (Şekil 5). MG-2 kodlu numune sıcaklık artışıyla birlikte ilk 25 dakika optimum ve kararlı bir sürtünme sergilemiştir, daha sonra sıcaklığın artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısında bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir.

MG-2; A-1 kodlu numuneler MG-6;A-2, MG-10; A-3 ve MG-14; A-4 kodlu numunelere göre daha fazla dalgalanma göstermiştir. MG-2;A1 kodlu numuneler sürtünme tabakası oluşumunun tamamlanmasıyla birlikte yavaş yavaş düşme eğilimi göstermiştir (Şekil 5). Bu safhada henüz sıcaklık ~200 °C - 300 °C arasındadır.

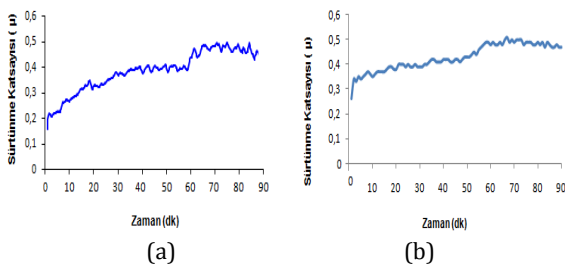


Şekil 5: a) Üretilen MG-2 numunesi, b) A-1 firmasından temin edilen numune.

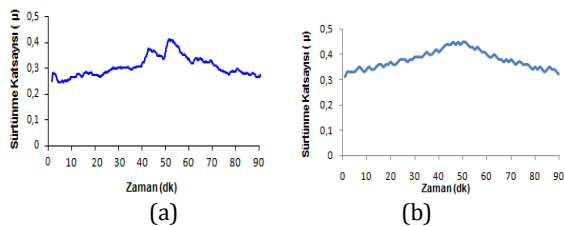
Sürtünme katsayısı değişimi için benzer grafikte, MG-6;A-2, MG-10;A-3 ve MG-14;A-4 kodlu numunelerin sürtünme katsayısı değişimi incelendiğinde, numunelerin sürtünme yüzey tabakası oluşumunda benzer karakteristik özellikler gösterdiği incelenmiştir (Şekil 6,7,8). Sürtünme katsayısındaki bu azalmanın sebebi; sürtünme tabakasını oluşturan alaşımın yani komponenti meydana getiren malzemelerin birbirleri ile iyi uyum sağlamadığı ve zamanla sıcaklığın artmasına bağlı olarak da yüzey pürüzlülük dayanımındaki azalma ile açıklanabilir. Aşağıdaki grafikler farklı firmalardan elde edilen balataların ve üretimini tamamladığımız mermer tozu katkılı balataların sürtünme katsayısı değerlerini göstermektedir.



Şekil 6: a) Üretilen MG-6 numunesi, b) A-2 firmasından temin edilen numune.



Şekil 7: a) Üretilen MG-10 numunesi, b) A-3 firmasından temin edilen numune.



Şekil 8: a) Üretilen MG-14 numunesi, b) A-4 firmasından temin edilen numune.

5 Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada mermer tozunun katkılı otomotiv fren balatası üretilmiş, kullanılabilirliği araştırılmış ve farklı firmalardan alınan balatalarla sürtünme katsayısı - zaman grafikleri karşılaştırılmıştır.

Mermer tozu ve farklı firmaların numunelerin ortalama sürtünme katsayısı 0,30-0,53 arasında gerçekleşmiştir. Bu değerler Türk Standartları TS 555'e göre kabul edilebilir değerler olduğu gözükmemektedir.

Üretilen numunelerde dolgu malzemesi olarak barit yerine mermer tozu kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak kullanılan mermer tozunun A kodlu balatalara göre dengeli bir yapı sergileyerek boyut değişiminin düşük oranda kalmasında olumlu etkisi olmuştur.

Sonuç olarak mermer tozu ile üretilen balataların sürtünme performanslarının olumlu sonuç verdiği ve mermer tozunun diğer firmalardan alınan balatalarla karşılaştırıldığında dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği mümkündür. Bu çalışmada 400 °C'ye kadar olan testlerde mermer tozunun kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Bununla ilgili ileride içerikleri farklı çalışmalar yapılabilir. Özellikle silisce zengin içerikli mineral atıkların dolgu malzemesi olarak kullanılacağı yeni çalışmaların yürütülmesi uygun olacaktır.

6 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] Mutlu, İ. "Seramik Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin Deneysel İncelenmesi", *Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Kasım, 2002.*
- [3] Anderson, A.E., Peterson, M., Winer, W.O. (Eds.), "Wear of brake material", *Wear Control Handbook*, pp. 843-858, New York, 1997.
- [4] Gopal, P., Dharani, L. R., Blum, F. D. "Hybrid phenolic friction composites containing Kevlar pulp. Part I. Enhancement of friction and wear performance", *Wear* 193, 199-206, 1996.
- [5] McLellan, R.G. *IMEchE C451* (88), 9-13, 1998.
- [6] Rhee, S. K. "Wear of Metal Reinforced Phenolic Resin", *Wear*, 18, pp. 471-477, 1977.
- [7] Anderson, A.E. *ASM handbook, "Friction, Lubrication, and Wear Technology Vol."18 ASM International*, pp. 569-577, 1992.
- [8] Uygur, M. E. "Balata Üretim Teknolojisi", 1. Ulusal Toz Metalurjisi Kongresi, *Bildiriler Kitapçığı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1996.*
- [9] Gemalmayan, N. "Sürtünme Malzemelerinin Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi", *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Müh. Mimar. Fak., Ankara, 1984.*
- [10] Ayar, H. "Disk Fren Balatalarında Bileşimin Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1991.*
- [11] Reinsch, E. W. "Sintered Metal Brake Linings For Automotive Applications", *Delco-Moraine Division, General Motors Corp Dayton, Chapter 2*, pp. 9-21, Ohio, 1970.

- [12] Boz, M. "Toz Metalurjisi ile Üretilmiş Bronz Esaslı Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1999.
- [13] Anlaş, İ. Şasi temel ders kitabı, M. E. B. yayınları, İstanbul, 1988.
- [14] Timur M. "Otomotivde Kullanılan Sürtünme Malzemelerinin Sürtünme Katsayısını Tespit Eden Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı", Y. Lisans Tezi, 2007.
- [15] Kılıç, H. "Mermer Atıklarının Otomotiv Fren Balata Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Y. Lisans Tezi, 2010.
- [16] Dönmez, A.G. "Asbest Dışı Elyafarla Üretilen Balata Malzemelerinin Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.