

Fren Balatalarında Boraks ve Borik Asitin Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

Experimental Investigating of the Effect of Boric Acid and Borax in Brake Lining

i. MUTLU

K Mara? Sütçü İmam üniversitesi, KM YO, KAHRAMANMARAŞ

İ. ÇEVİK

Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, SAKARYA

C. ÖNER

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, ELAZIĞ

ÖZET: Bu çalışmada, otomotiv fren balatalarında temel katkı elemanı olarak kullanılan asbestin çevre kirliliği ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisini ortadan kaldırmak amacıyla asbestsiz fren balatası üretimi gerçekleştirilmiştir. Bir fren balatasından istenilen temel özellikler, standartlara uygun aşınma direnci, sürtünme katsayısı ve ekonomik olmasıdır. Birçok endüstri alanında kullanılan bor ürünlerinden borik asit ve boraks, asbeste alternatif malzeme olan cam elyafın üretiminde, ısı dayanımını kazandırmak için borcam üretiminde ve aşınmaya karşı sert yüzey oluşturmak için seramik endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu nedenle borik asit ve boraks fren balatası komponenti içerisine katılmıştır. Boraklı, borik asitli, ve borik asitsiz üretilen deney numunelerinin teste tabi tutulması sonucu alınan değerler irdelenerek sürtünme katsayısı (u.), aşınma direnci ve belirli yük değerleri altında ısınma özellikleri incelenerek kıyaslama yapılmıştır. Borik asit ve boraksın fren balatası komponenti içerisine katılması durumunda asbestin özelliklerini karşılayan alternatif malzeme olabileceği anlaşılmıştır.

ABSTRACT: In this study, automotive brake linings are usually composed of various components. Asbestos a basic structure element in a brake lining. The using of asbestos have been decreased because of the environmental pollution and negative health effects. So non-asbestos brake lining was manufactured. The expected properties of a brake lining are the standart value of wear resistant, the friction coefficient and economical manufacturing. Boron and its compounds have been used in different area of industries. Boric acid and borax are used in the manufacturing of glass fiber that is alternative material to supply fiber properties of asbestos, the manufacturing of boroglass to get thermal stability and used in ceramic industries to form hard surface against wear. Therefore, boric acid and borax were added in brake lining component. The example manufacturing that are contained borax and boric acid or not contained were tested. Test results value have been plotted. The friction coefficient (u) and wear resistant have been calculated from graphics. And also heat properties have been investigated. It is seen that, boric acid and borax are alternative material when they are used instead of asbestos.

1. GİRİŞ

Bir taşıtın özelliklerinden en önemlisi emniyet sistemidir. Frenlerde sürtünme prensipleri geçerlidir ve sürtünme yüzeylerine uygulanan basınçtan yararlanır. Fren balatası, sürtünme boyunca kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürür (Chichinadze, 1962). Taşıtın sürüş esnasında emniyetin sağlanmasında fren balatalarına önemli görev düşmektedir.

Balatalar gerek otomotiv sektöründe gerekse diğer alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Asbest takviyeli fren balataları sağlık yönünden sakıncalı olduğu için Avrupa topluluğu ülkelerinde ve gelişmiş ülkelerde yasaklanmıştır. Ülkemizde ise üretici firmalar asbestsiz balata üretimi çalışmalarını başlatmışlar ancak patentli olduğu için yurt dışına patent ücreti ödenmektedir. Bu durumda ülkemizde halen yeterli alt yapı oluşturulamadığı

için henüz kanunî bir yasaklama getirilmemiştir. İleri teknoloji malzemelerinin Türkiye açısından önem değerlendirilmesi yapılmış, asbetsiz balata malzemelerinin polimerik kompozitler içerisinde, Türkiye ithalatında önemli bir yere sahip olduğu Devlet İstatistik Enstitüsü verilerinde görülmüştür (Baykara, 1997).

Uzun yıllar kullanılan asbest esaslı sürtünme malzemeleri sağlık gerekçesiyle asbest kullanımının yasaklanması sonucu yerini asbest içermeyen elyaf takviyeli kompozit balatalara bırakmıştır (Bijwe, 1997). Bu yönde yapılan çalışmalar sonucu son yıllarda otomotiv fren balata özelliklerinden termal stabilité, sürtünme ve aşınma özelliklerini iyileştirmek için içeriklerinde büyük değişiklikler olmuştur (Anderson, 1992).

Bir fren balatasının sert çevre ve sürüş şartları altında güvenli sürüş sağlayabilmesi için düzenli sürtünme katsayısı, düşük aşınma oranı, ısı deformasyonu direnci ve konfor şartları olarak düşük ses, titreşimsizlik gibi birçok özellikler istenir. Bu istenen özellikleri sağlamak için reçine, elyaf (fiber), katı yağlayıcı, aşındırıcı parçacıklar, metal talaşları ve dolgu maddeleri gibi malzemeler kullanılır (Handa, Kato, 1996). Balata Üretiminde komponenti % 20-80 oranında mineral esaslı, % 10-60 oranında organik esaslı, % 20-40 oranında bağlayıcı elemanlar, % 10-20 oranında madeni esaslı malzemeler ve renk verici oksitler oluşturmaktadır (Gemalman, 1984).

Otomotiv sürtünme elemanlarında en büyük faktör sürtünme katsayısı olup, taşıt emniyeti bu değerle doğrudan ilgilidir. Bunun yanında sürtünme malzemesinin fiziksel özellikleri de önemlidir (Gemalman, 1987). Yan metalik balata olarak adlandırılan balatalarda metalik fiberler ile mekanik ve sürtünme ve aşınma özellikleri güçlendirilmiştir (Ribs, Liu, 1978). Du-pont firmasının ürettiği endüstriyel ürün olan Kevlar-Aramid fiberlerin kullanıldığı bir çok çalışmada yüksek sıcaklıkta mekanik güçlülük ve kimyasal denge sergilenmiştir (Briscoe ve diğerleri, 1988, Kato ve Magario, 1994). Balatanın mekanik ve kimyasal özelliklerinin dayandığı sıcaklığın indirgenmesi balata gelişiminde önemli bir noktadır (Handa, Kato, 1996). Yüksek sıcaklıkta sürtünmede aniden düşüşün sebebi termal bozulmadır veya sürtünme ısısından dolayı komponent içerisindeki bazı maddelerin eriyip akmasıdır (Jacho, 1978, Lee, 1994).

Otomotiv teknolojisindeki gelişimlere bağlı olarak fren balatası verimleri de geliştirilmiştir. Bu gelişmeler bir çok uygulanabilir ve uygulanamayan kompozisyonlara dayanmaktadır (Jacho, 1973, Liu, 1976). Fren balatası birçok malzemenin bileşimidir. Bileşimdeki maddeler arasındaki ilişki ve balatanın

sürtünme aşınma gibi tribolojik özellikleri açıkça anlaşılabilir (Rhee, 1970, Jacho vd., 1984). Fade olarak adlandırılan, frenleme zayıflaması yani sürtünme katsayısındaki aniden düşüşü engellemek için bakır (Cu) tozu gibi birkaç çeşit metalik tozlar karışıma ilave edilmektedir (Rhee, 1974) Fren balatasındaki her bir bileşenin sürtünme ve aşınma özellikleri birbirinden farklıdır ve fren balatalarında 10'dan daha fazla bileşenle bulunur (Rhee, 1970).

Peryodik sistemin üçüncü grubun başında bulunan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotopundan oluşur. Bor ürünlerini boraks, borik asit ve sodyum perborat oluşturmaktadır. Her üç bor ürününün üretiminde hammaddeler olarak tinal kullanılır. Boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), borik asit ($\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$) ve sodyum perborattan malların üretiminde veya diğer sanayi dallarında kullanılmaktadır. Isıya karşı dayanıklılık, yüzey sertliği ve dayanıklılık gibi özelliklerin istendiği özel camların üretiminde, seramiklerin yüzeylerindeki kaplamalarda boraks, borik asit kullanılmaktadır.

Borik asit ve boratlar selülozik maddelerin ateşe karşı dayanıklılığını sağlarlar, tutuşma sıcaklığına gelmeden selülozdaki su moleküllerini uzaklaştırırlar ve oluşan kömürün yüzeyini kaplayarak daha ileri bir yanmayı engeller. Borlu elyaf kompozitleri tekniğin en son harikaları olarak kabul edilir. Al ve Mg'un bor lifleri ile güçlendirilmeleri ile elde edilen kompozitler mm^2 de 360 kg'lık basınca dayanır. Karbon liflerden daha pahalıdır Ti ve Tungsten tel üzerine bor buharı deposite edilerek elde edilen bu lifler F-16 savaş uçağında %2,1, F-18 savaş uçağında %10 kadar ve uzay araçlarında kullanılmaktadır. Lazer hücumunda ısıyı belirli noktadan uzaklaştırdığı için askeri amaçla kullanılır. Talk pudrasında borik asit %5-10 civarında kullanılır. Bazı balatalarda talk pudrası, dolgu maddesi olarakta kullanılmaktadır. Bor ürünlerinden olan boraks, borik asit ve sodyum perboratın sanayideki kullanımı fiber optik sanayine kadar uzanmaktadır (Bor Ltd, 2002)

Bu çalışmada elyaf yapıya sahip fiber malzeme kullanılmamıştır. Asbeste alternatif olan fiber malzemeler balata maliyetini oldukça artırmaktadır ve yurtdışına bağımlılığı beraberinde getirmektedir. Hazırlanan deney numunelerinde seramik katkı olarak alümine (Al_2O_3), metal olarak toz bakır (Cu), binder olarak fenolformaldehit reçine, inorganik dolgu olarak (BaSO_4), katı yağlayıcı olarak grafit, sürtünme tozu olarak cashew dust, ayrıca ısı direnci artırmada ve aşınmaya karşı reçineye yardımcı olabileceği dikkate alınarak karışıma borik asit ve boraks ilave edilmiştir. Sürtünme katsayısı ve aşınma oranının komponentteki bileşenlerin

oranına dayandığı bilinmektedir. Deneyler esnasında sürtünme katsayısı, aşınma oranı ve sıcaklık zaman grafikleri çıkarılarak borik asit ve boraks katkısız, boraks katkılı ve bonk asit katkılı üretilen numuneler ayrıca fırınlama işleminden geçirilerek aralarındaki farklar gözlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Balatanın Üretimi

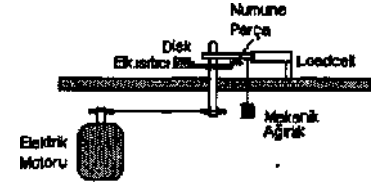
Üretilen numune balatalar Yüksel Balataçılık, Konya tesislerinde Üretilmiştir. Üretim esnasında malzeme oranları belirlemede hesaplama kolaylığı için kütle oran esas alınmıştır (Çizelge 1). Belirlenen oranlarda hazırlanan karışımın homojenliğini sağlamak için yüksek hızlı mikserde karıştırılan malzeme içerisinde elyaf yapı olmadığı için komprime (preform) aşamasında bütünlük sergileyemeyerek kırılmıştır. Malzemenin dağılması için karıştırma aşamasında % 3 alkollü su, toplam karışım kütle oranında % 4'ü oranında su pulverize olarak karışına püskürtülmüştür. 100 kg/cm² basınçta komprimesi yapılan karışım 150°C sıcaklıkta 150 kg/cm² basınçtaki pişirme kalıbında mm kalınlık basma 1 dakika pişirme süresi dikkate alınarak sistemin ilk %60'luk kısmında 30 saniye aralıkla havalandırılması yapılarak pişirilmiştir. Üretilen numunelere, bakır partikülleri büyüklüğü 225-300 um aralığında %20 ve 300-425 /im aralığında %15 oranında katılmıştır. Bakırın ısı iletim katsayısının yüksek olması sayesinde sürtünme yüzeyinde oluşan sıcaklığın bölgeden uzaklaştırılması ve homojen dağılım ile sürtünme katsayısını artırması hedeflendi. Bakır partikül oranının % 20 civarında olması durumunda sürtünme katsayısının düzleştiği belirtildiği için bu oranlar seçilmiştir (Handa, 1996). Üretilen deney numunelerinde yoğunluk 1,9 gr/cm³ hedeflenmiştir.

Numunelerde boraks ve borik asit oranı % 10 olarak alınmıştır. Balata tozu, boraks ve borik asit oranlarından doğan farklılıklar barit (BaSO₄) ile

tamamlanmış ve tüm numunelerde fenolik reçine %20, Al₂O₃, cashew dust ve grafit %5 olarak alınmıştır. Numunelerden " N " kodlu olanlar hiçbir fundama işlemi görmemişlerdir, " F " kodlu olanlar ise normal atmosferde 200°C'de 8 saat süre ile fırınlama işleminden geçirilmiştir.

2.2 Deney Düzenegi

Üretimi yapılan balatanın aşınma, sürtünme katsayısı gibi özelliklerini belirlemek amacıyla daha önce bu konuda yapılmış olan çalışmalar dikkate alınarak deneysel çalışmanın amacına uygun olarak deney seti üretilmiştir (Şekil 1). Deneylerin bu konudaki belirtilen standartlara uygun olarak yapılabilmesi için deney düzenegine bir takım aparatlar ve ölçü aletleri konulmuştur. Deney düzeneginde, elektrik motorundan alınan dairesel hareket kayış kasnak vasıtasıyla mile aktarılmıştır. Dikey konumdaki mile yatay konumda yataklanılan diskin bağlandığı kol üzerine, numune parçanın yerleştirilmesi için açılan yuvaya numune balata yerleştirilmiştir. Bu kola mekanik ağırlık asılmak suretiyle mekanik yük uygulanmıştır. Dönme sırasında balata ile fren diski arasındaki sürtünme kuvvetini ölçmek için loadcell kullanılmıştır. Bununla diskin dönmesi sırasında fren balatasına uygulanan basınçtan doğan sürtünme kuvveti yüzünden balatanın da disk ile beraber dönme isteği dikkate alınarak bu döndürme kuvveti elektronik olarak ölçülmüştür.

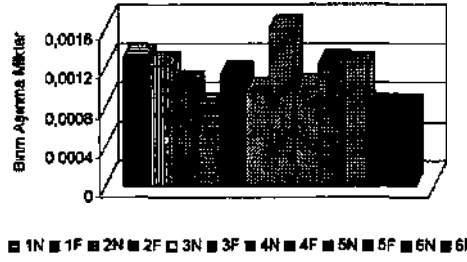


Şekil 1 Deney Düzenegi

Çizelge 1 Karışımındaki malzeme oranları (% kütle oranları)

Malzeme	Bakır tozu	Boraks	Bonk asit	F.reçine	AUOİ	Cashew	Grafit	Bant
1N/1F	20	-	-	20	5	5	5	45
2N/2F	20	-	10	20	5	5	5	35
3N/3F	20	10	-	20	5	5	5	35
4N/4F	15	-	-	20	5	5	5	50
5N/5F	15	-	10	20	5	5	5	40
6N/6F	15	10	-	20	5	5	5	40

Disk ile balata yüzeyi arasındaki yüzey basıncına bağlı olarak sürtünme kuvveti dolayısıyla döndürme momenti de değişmektedir. Balatanın sürtünme yüzeyine 2 mm derinlikte, numune parçanın ağırlık merkezine denk gelecek noktaya delik açılarak ısıçift yerleştirilerek deney sırasında balatanın sıcaklık değişimi kaydedilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2 Birim alana düşen aşınma miktarı (mg/mm³)

2.3 Deney Şartları

Deney aşamasında Türk Standartları esas alınmıştır. Standartlarda belirtilen 1050 ve 3000 kp'lik balata yüzey basıncının sağlanması için yük kolu üzerine uygun büyüklükte ağırlık asılmıştır. Çalışmaların hepsi 6 m/s hızda yapılmıştır.

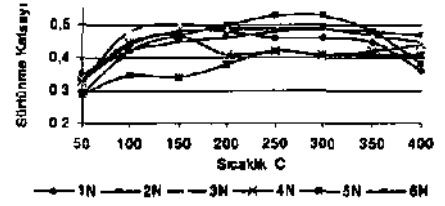
Numune malzemeler, alıştırma aşamasında 20-45 dakika değişen sürelerde yüzeyin % 95'i temas edinceye kadar 700 kPa basınç altında çalıştırılmıştır. Alınan değerler, TS'de belirtildiği gibi aynı karışım özelliklerine sahip üretilen beş farklı numuneden alınan değerlerin aritmetik ortalamasıdır. Soğuk sürtünme katsayısı belirlemede 1050 kPa, sıcak sürtünme katsayısı belirlemede 3000 kPa basınç altında 50°C sıcaklıktan 400°C sıcaklığa kadar 50°C aralıkla kaydedilmiştir. Diskin ısınması gerektiğinde diskin yüzeyine yakın yerleştirilen sıcaklık ayarlı elektrikli ısıtıcı çalıştırılmıştır. Aşınma deneyinde 1050 kPa basınç altında 2000 m sürtünmeye işlemine tabi tutulmuştur. Deneyde piyasadan temin edilen Tofaş marka otomobil disk'i kullanıldı. Disk, numune değişimlerinde 320 numara zımpara ile zımparalandı.

3. BULGULAR

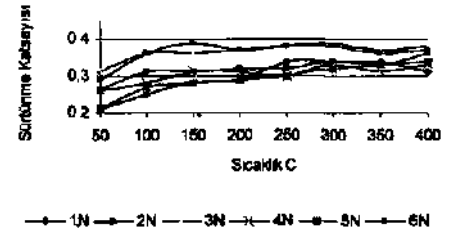
Deneyler sırasında elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktararak grafikleri çizdirilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi birim alana düşen aşınma

miktarında borik asit ve boraks katkılı olan numuneler daha az aşınma göstermiştir

Bunlarda kendi içerisinde fırınlama işlemine tabi tutulanlarda az aşınma olmuştur. 4N kodlu numunenin aşınmasının diğerlerinden oldukça yüksek çıktığı bu durumun bağlayıcı elemana yardımcı olan boraks ve borik asitin olmaması ayrıca kompozisyondaki bakırın partikül büyüklüğünün 300-425µm ölçüsünde olması parçacık kopması halinde kütlesel kaybı daha da artırmıştır. 200°C'de 8 saat süre ile fırınlama işlemi yapılan numunelerde ise parçacıklar arasında bağlayıcı elemanın daha fazla yayılarak tutuculuğunun artmasına ve malzemede bulunan uçucu maddelerin uzaklaştırılmasına bağlanmaktadır (Şekil 3-4).



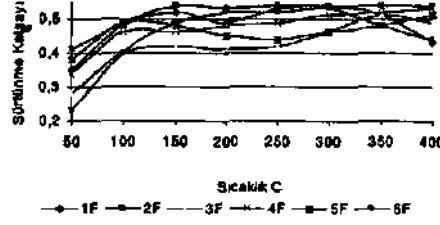
Şekil 3 1050 kp'da sürtünme katsayısı



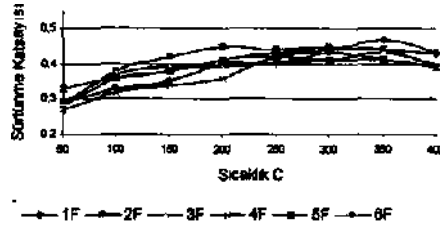
Şekil 4 3000 kp'da sürtünme katsayısı

Elde edilen değerler, grafiğe aktarıldığında 1050 kp'de (soğuk) ve 300kp'de (sıcak) sürtünme katsayılarının belirlenmesinde 50°C'den başlatılarak 400°C ye kadar 50°C aralıklarla alınan değerlerde % 20 bakır tozu katkılı numunelerden %10 borik asit veya boraks katkılı olan numunelerin daha yüksek ve stabil sürtünme katsayısı verdiği gözlemlenmiştir. Söz konusu numuneler sıcaklık artışıyla sürtünme katsayısında daha çabuk yükselme göstererek sürtünme katsayısındaki stabilite daha uzun kalmış, frenleme zayıflaması (fade) daha geç başlamıştır. Ayrıca daha üst değerlerde sürtünme katsayıları gözlenmiştir. Fırınlı malzemelerde sürtünme katsayısının uzun süre stabil kalması fırınlama

işleminin aşınmada olduğu gibi sürtünme katsayısında da etkili bir işlem olduğu görülmüştür. Sıcak ve soğuk sürtünme katsayısını belirlemede alınan değerlerden elde edilen grafikler birbirini desteklemektedir (Şekil 5-6) Bu sonuçları literatürden bir çok çalışmanın desteklemesi ile birlikte Handa ve arkadaşının çalışmalarıyla da paralel sonuçlar vermiştir (Handa, 1996).



Şekil 5 1050 kp'da sürtünme katsayısı (fırınlanmış)



Şekil 6 3000 kp'da sürtünme katsayısı (fırınlanmış)

Bu sonuçlara Uave olarak imalat aşamasında komprimenin dağılmaması için harmanlama sırasında karışıma Uave edilen alkollü su buharlaştığında tamamıyla dışarı atılmadığı için numuneler içerisinde minik kabarcıklar oluşmuştur. Bu oluşan kabarcıklar sonucu numunelerin kırılgan olduğu görülmüştür. Numunelerin kırılgan olması kenarlarının kırılmasına ve aşınma testlerinde küresel kayıplara sebep olmaktadır.

4. SONUÇLAR

Yaptığımız çalışmada, otomotiv fren balatalarında bor türevlerinin kullanılmasının, yeni balataların gelişiminde aşınmaya karşı direnç oluşturduğu, ayrıca bakır tozu ile birlikte borik asit ve boraksın kullanılması durumunda sürtünme katsayısının düzgünleştiği ortaya konmuştur.

Fırınlama işleminin de önemli derecede verimi etkilediği görülmüştür. Bu çalışmanın, yukarıdaki sonuçlar dikkate alındığında mevcut çalışmaların ötesinde bu sahaya ışık tutabilecek nitelikte olduğu görülmektedir. Ayrıca bu yapıyı zenginleştirmek amacıyla, bağlayıcı malzemenin, yani fenolik reçinenin oranında değişiklikler düşünülebilir. Fiber malzeme olarak %5 oranında cam elyafın katılması kırılganlığı engelleyebilir. Borik asit katkı numunelerin deneylerinden sonra disk üzerinde yapılan zımparalama işlemi sırasında disk üzerinde fenolik reçine ve bonk asit reaksiyonlarından kaynaklandığı düşünülen yapışkan maddenin kaldığı görülmüştür. Bu durum disk yüzeyinin camlaşma eğilimini artırmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, test düzeneğinin hazırlanmasında bizlere yardımcı olan Dursun ÇOBANOĞLU'na ve üretim aşamasında yardımcı olan Yüksel Balataçılık firmasının sahibi Veis İBAOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Anderson, A E, 1992, Friction And Wear Of Automotive Brakes, Friction, Lubrication And Wear Technology ASM Handbook. Vol 18, 1st Ed, USA
- Baykara, T, Özbek, S, Kuban, B, 1997, Hen Malzeme Bıkm ve Teknolojileri Ulusal Strateji ve Politika Oluşturma Çalışmaları, Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, Cilt 1, 583-596
- Bijwe, J, 1997, Composites As A Friction Material: Recent Developments In Non-Asbestos Fiber Reinforced Friction Materials-A Review, Polymer Composites, 18, 3, 378-396
- Bor LTD, Bor Ortamları, www.boraxtr.com, 2002
- Briscoe, J B, Ramizer, I, Twedak, P J, 1988, "Friction of Aramid Fiber Composites", in Disk Brakes for Commercial Vehicles, I Mech E., pp 15-29, London
- Chichmadze, A V, 1962, "Temperature Distribution in Disk Brake", Friction and Wear in Machinery, 15, pp 259-275,
- Gemalmaz, N, 1984, "Sürtünme Malzemelerinin Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi F B E, s 3-4, Ankara
- Gemalmaz, N, 1987, "Ankara'da Pilot Bölge Seçilen Kızılay Kavşağında Taşıtların Fren sistemlerinden Abla Tozlarında Asbest Analizi ve Sonuçları", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, s 79-80, Ankara

- Handa, Y. Karo, T, 1996, ' Effects of Cu Powder, BaSO₄ and Cashew Dust on the Wear and Friction Characteristic of Automotive Brake Pads", *Tribology Transactions*, Vol 39, pp 346-353
- Jacho, M G, 1973 /Simulation and Characterization of Used Brake Friction Materials and Rotors," SAE Paper No 730191
- Jacho, M G ,1978, "Physical and Chemical Changes of Organic Disk Pads in Service" *Wear*, 46, pp, 163-175
- Jacho, M G, Tsang, P S, Rhee, S K. 1984, "Automotive Friction Materials Evolution During the Past Decade", *Wear*, 100, pp 503-515
- Kato, T, Magano, A, 1994, "The Wear of Aramid Fiber Reinforced Composites Brake Pads 'The Role of Aramid Fiber,'" *Tribology Transactions*, Vol 37,3, pp 559-565
- Lee, K., Barber, JR, 1994, "An Experimental Investigation of Frequency Excited Thermoelastic Instability in Automotive Disk Brake Under a Drag Brake Application," *ASME Jour of Tribology* , 116, pp 409-414
- Liu, T, Rhee SK, 1976, ' High Temperature Wear of Asbestos Reinforced Friction Materials ", *Wear*, 37, pp, 291-297
- Liu, T, Rhee, S K., 1978, ' High Temperature Wear of Semimetallic Disk Brake Pads", *Wear*, 46, pp, 213-218
- Rhee, S K., 1970, " Wear Equation for Polymers Sliding Against Metal Surfaces", *Wear*, 16, pp, 431-445
- Rhee, SK, 1974, "Friction Coefficient of Automotive Friction Materials-Its Sensitivity to Load , Speed, and Temperature," SAE Paper No 740415
- Ribsch, T A Rhee, S K., 1978. "Microstructural Change in Semimetallic Disk Brake Pads Created by Low Temperature Dynamometer Testing", *Wear*, Vol 46, pp 203-212